



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**ESTUDIO DE BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS POR
ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CANTÓN PASTAZA EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL PASTAZA – ESPOCH**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: CARLOS ANTHONY CHÁVEZ CAMPOS

PABLO ALBERTO GARÓFALO VÉLIZ

DIRECTORA: Dra. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN. PhD

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, **Carlos Anthony Chávez Campos & Pablo Alberto Garófalo Véliz**

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

Nosotros, CARLOS ANTHONY CHÁVEZ CAMPOS y PABLO ALBERTO GARÓFALO VÉLIZ, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 26 de abril de 2022



Carlos Anthony Chávez Campos

160045875-4



Pablo Alberto Garófalo Véliz

172428516-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTUDIO DE BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS POR ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CANTÓN PASTAZA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PASTAZA - ESPOCH**, realizado por los señores: CARLOS ANTHONY CHÁVEZ CAMPOS y PABLO ALBERTO GARÓFALO VÉLIZ, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2022-04-26
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION	 _____	2022-04-26
Dr. Julio Cesar Idrovo Novillo PhD. MIEMBRO DE TRIBUNA	 _____	2022-04-26

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Carlos Chávez y Rosa Campos, que todo lo que soy es gracias a su esfuerzo y amor incondicional. A mi hijo Anthony Gabriel Chávez Jaramillo quien es mi motor de vida y las ganas de continuar esforzándome por ser una mejor persona. A mi acompañante de vida Diana, por ser un pilar fundamental en mi vida. A Ligia Paredes y Manuel J, por directa e indirectamente darme su apoyo en este proceso académico y a toda mi familia y amigos, que con su ayuda, consejo, motivación y palabras de aliento han aportado con este logro.

Anthony

Me gustaría dedicar esta Tesis a toda mi familia, pero en especial a mi padre Pedro Pablo Garófalo que estuvo brindándome todo su apoyo durante toda la carrera, por su comprensión y ayuda en momentos buenos y sobre todo en los momentos no tan buenos, quiero decirle que lo que hoy soy es gracias a él, a su amor incondicional, ejemplo y motivación. Para mi esposa Nataly Rivadeneira, a ella especialmente le dedico esta Tesis. Por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, por ser tal y como es, porque la amo. Es la persona que directamente ha estado más involucrada en el proceso de este trabajo realizado.

Pablo

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a Dios que ha permitido que todo esto sea posible, a nuestros padres, familiares y amigos por el apoyo incondicional, agradecer a la Facultad de Ciencias - ESPOCH por brindarnos los conocimientos necesarios para podernos desenvolver académica y laboralmente... Agradecemos al grupo de investigación GAIBAQ y todos sus colaboradores por ser un apoyo y guía en el proceso de esta investigación.

Anthony & Pablo

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Tipo de suelo y localización del área de estudio.....	4
1.2. Contaminación por plaguicidas	4
1.2.1. Evolución de plaguicidas en el suelo	6
1.3. Metales pesados en los suelos	7
1.3.1. Cadmio	7
1.3.2. Mercurio	8
1.4. Métodos de determinación de metales pesados.....	8
1.4.1. Métodos usados	8
1.4.1.1. Espectroscopía de absorción atómica	8
1.4.1.2. Espectroscopía de emisión atómica	8
1.4.1.3. Fluorescencia de rayos x por reflexión total.....	9
1.4.1.4. Voltamperometría de redisolución anódica	9
1.4.2. Métodos nuevos	9
1.4.2.1. Biosensor óptico basado en Sol-Gel y Fluorescencia	9
1.4.2.2. Preconcentrado usando 4-morfolina ditiocarbamato	10
1.5. Propiedades físico químicas del suelo	10
1.5.1. Potencial de hidrógeno	10
1.5.2. Conductividad eléctrica	10
1.5.3. Materia orgánica.....	10
1.5.4. Textura del suelo.....	11
1.5.5. Densidad real y aparente.....	13

1.6.	Transferencia de contaminantes de suelo a biomasa.....	14
1.6.1.	<i>Absorción por las plantas</i>	14
1.6.2.	<i>Factores BCF y TF en cultivos</i>	16
1.6.2.1.	<i>Factor de bioconcentración.....</i>	16
1.6.2.2.	<i>Factor de traslocación.....</i>	17
1.7.	Cultivos de ciclo corto.....	17
1.7.1.	<i>Cebolla Blanca (<i>Allium fistulosum</i>).....</i>	17
1.7.1.1.	<i>Siembra.....</i>	18
1.7.1.2.	<i>Cuidados.....</i>	18
1.7.1.3.	<i>Cosecha</i>	18
1.8.	Enmiendas orgánicas.....	18
1.8.1.	<i>Gallinaza</i>	18
1.9.	Límites permisibles	19
1.9.1.	<i>Criterios de calidad del suelo</i>	19
1.9.2.	<i>Guía de parámetros mínimos para valoración de la calidad inicial del suelo según uso del suelo.....</i>	20
1.9.3.	<i>Límites permisibles en suelos con criterios de remediación</i>	22
1.9.4.	<i>Propiedades comerciales de cebolla de rama (<i>Allium fistulosum</i> L.).....</i>	22
1.9.5.	<i>Límites permisibles en raíces.....</i>	23

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	24
2.1.	Materiales, equipos y reactivos	24
2.1.1.	<i>Materiales.....</i>	24
2.1.2.	<i>Equipos.....</i>	24
2.1.3.	<i>Reactivos.....</i>	25
2.2.	Técnicas y métodos	26
2.2.1.	<i>Localización del lugar de estudio</i>	26
2.2.1.1.	<i>Descripción geográfica.....</i>	26
2.2.1.2.	<i>Método de muestreo.....</i>	26
2.2.1.3.	<i>Preparación de las muestras.....</i>	27
2.2.2.	<i>Análisis físico químico del suelo</i>	27

2.2.2.1.	<i>Determinación de la densidad real</i>	27
2.2.2.2.	<i>Determinación de la densidad aparente</i>	28
2.2.2.3.	<i>Determinación de la textura</i>	29
2.2.2.4.	<i>Determinación del pH</i>	30
2.2.2.5.	<i>Determinación de la conductividad eléctrica (CE)</i>	30
2.2.2.6.	<i>Determinación de materia orgánica</i>	31
2.2.2.7.	<i>Digestión de muestras de suelo para la medición de fósforo (P) y potasio (K)</i>	32
2.2.2.8.	<i>Determinación de macronutrientes (Carbono y Nitrógeno)</i>	33
2.2.2.9.	<i>Digestión ácida por el método de calcinación por vía húmeda para la determinación de metales pesados</i>	34
2.2.3.	<i>Análisis de biomasa</i>	35
2.2.3.1.	<i>Determinación de pH</i>	35
2.2.3.2.	<i>Determinación de conductividad eléctrica</i>	35
2.2.3.3.	<i>Digestión de biomasa para medición de K y P</i>	36
2.2.3.4.	<i>Determinación de fósforo (P) en suelo y biomasa</i>	37
2.2.3.5.	<i>Determinación de potasio (K) en suelo y biomasa</i>	39
2.2.4.	<i>Análisis de gallinaza</i>	40
2.2.4.1.	<i>Determinación de aniones</i>	40
2.2.4.2.	<i>Determinación de polifenoles solubles</i>	43
2.2.4.3.	<i>Índice de germinación</i>	44
2.2.5.	<i>Análisis de agua de riego</i>	46
2.2.5.1.	<i>Determinación de pH y conductividad eléctrica</i>	46
2.2.5.2.	<i>Determinación de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos</i>	46
2.2.6.	<i>Determinación de metales pesados por Espectrofotometría de Absorción atómica por llama</i>	47
2.2.6.1.	<i>Determinación de Cadmio</i>	48
2.2.6.2.	<i>Determinación de Mercurio</i>	48

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.1.	Resultados del diseño experimental	50
3.1.1.	<i>Distribución de las parcelas</i>	50
3.1.2.	<i>Dosificación de tratamientos</i>	51

3.1.2.1.	<i>Dosis de gallinaza y fertilizante inorgánico</i>	51
3.1.2.2.	<i>Fertilizante inorgánico</i>	51
3.1.3.	<i>Plantación</i>	52
3.1.4.	<i>Riego</i>	52
3.1.5.	<i>Control de plagas y fortalecimiento de las plantas</i>	53
3.1.1.	<i>Muestreos</i>	53
3.1.1.1.	<i>Muestreo de suelo</i>	53
3.1.1.2.	<i>Muestreo de plantas</i>	53
3.1.1.3.	<i>Muestreo de agua</i>	54
3.1.2.	<i>Datos climatológicos</i>	54
3.2.	Resultados de análisis físico químicos del suelo	54
3.2.1.	<i>Potencial de hidrógeno</i>	56
3.2.2.	<i>Conductividad eléctrica</i>	57
3.2.3.	<i>Materia orgánica</i>	57
3.3.	Resultados de macronutrientes del suelo	58
3.3.1.	<i>Determinación de Carbono y Nitrógeno</i>	58
3.3.2.	<i>Determinación de Potasio y Fósforo</i>	59
3.4.	Resultados de análisis de enmienda	60
3.4.1.	<i>Resultados de análisis de gallinaza</i>	60
3.4.2.	<i>Resultados de aniones en gallinaza</i>	61
3.5.	Resultados de características comerciales de cebolla	62
3.6.	Resultados de metales pesados en el suelo	63
3.6.1.	<i>Determinación de Mercurio en suelo</i>	63
3.6.2.	<i>Determinación de Cadmio en suelo</i>	64
3.7.	Resultados de Factores de Bioacumulación y Traslocación	64
3.7.1.	<i>Resultados de factores de bioacumulación</i>	64
3.7.2.	<i>Resultados de factores de traslocación</i>	65
3.8.	Resultados comparativos en planta y tratamiento	66
3.8.1.	<i>Medias de mercurio en partes de la planta</i>	66
3.8.2.	<i>Medias de cadmio en partes de la planta</i>	67
3.8.3.	<i>Medias de fósforo en partes de la planta</i>	68
3.8.4.	<i>Medias de potasio en partes de la planta</i>	69
3.8.5.	<i>Medias de carbono en partes de la planta</i>	70
3.8.6.	<i>Medias de nitrógeno en partes de la planta</i>	71

CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	74
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación de plaguicidas según la OMS	5
Tabla 2-1:	Plaguicidas prohibidos en el Ecuador	5
Tabla 3-1:	Clasificación de fracciones del suelo	12
Tabla 4-1:	Representación de clases de texturas por triángulo de textura del suelo	13
Tabla 5-1:	Densidad aparente según la textura	13
Tabla 6-1:	Densidad real de algunos constituyentes de suelos	14
Tabla 7-1:	Metales clasificados en grupos según su potencial de riesgo para la cadena alimentaria a través de la absorción de plantas.....	15
Tabla 8-1:	Criterios de calidad del suelo	19
Tabla 9-1:	Parámetros mínimos para valoración de la calidad inicial del suelo según uso del suelo.....	20
Tabla 10-1:	Valores máximos permisibles de criterios de remediación.....	22
Tabla 11-1:	Características comerciales de cebolla de rama	22
Tabla 12-1:	Límites permisibles para Cadmio y Plomo en raíces vegetales	23
Tabla 1-3:	Tipos de tratamiento para cultivos de cebolla	50
Tabla 2-3:	Codificación y descripción de cada tratamiento según su réplica	50
Tabla 3-3:	Codificación y descripción de cada tratamiento según su réplica	51
Tabla 4-3:	Cantidad de enmienda orgánica seca y fertilizante aplicado	52
Tabla 5-3:	Análisis de agua de riego	52
Tabla 6-3:	Datos climatológicos durante la experimentación	54
Tabla 7-3:	Resultados de análisis físico químicos de muestras de suelo S0	54
Tabla 8-3:	Resultado de análisis físico-químicos de suelo S1 y S2	55
Tabla 9-3:	Resultado de macronutrientes del suelo	58
Tabla 10-3:	Resultado de análisis de enmienda de gallinaza	60
Tabla 11-3:	Resultado de aniones en gallinaza.....	61
Tabla 12-3:	Resultado de parámetros morfológicos	62
Tabla 13-3:	Resultado de metales pesados de suelo	63
Tabla 14-3:	Resultado de factores de bioacumulación en raíces de cebolla	64
Tabla 15-3:	Resultado de factores de bioacumulación en parte aérea de cebolla.....	65
Tabla 16-3:	Resultado de factores de traslocación en parte aérea de cebolla.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Relación en tamaño de partículas de arena, limo y arcilla.	11
Figura 2-1.	Triángulo de texturas del suelo.	12
Figura 3-1.	Determinación de densidad real.	23
Figura 1-2.	Determinación de densidad real.	28
Figura 2-2.	Determinación de densidad aparente.	28
Figura 3-2.	Determinación de textura de suelo.	29
Figura 4-2.	Determinación de pH.	30
Figura 5-2.	Determinación de conductividad eléctrica.	31
Figura 6-2.	Determinación de materia orgánica.	32
Figura 7-2.	Digestión de muestras de suelo para medición de fósforo (P) y potasio (K).	33
Figura 8-2.	Determinación de Carbono y Nitrógeno.	34
Figura 9-2.	Digestión de muestras de suelo.	34
Figura 10-2.	Almacenamiento de muestras digeridas de suelo.	35
Figura 11-2.	Determinación de pH y CE de biomasa.	36
Figura 12-2.	Digestión de muestras vegetales.	36
Figura 13-2.	Determinación de fósforo en equipo de espectroscopía uv-vis.	38
Figura 14-2.	Estándares para curva de calibración de fósforo.	38
Figura 15-2.	Muestras de suelo y biomasa para análisis de fósforo.	39
Figura 16-2.	Determinación de K en muestras de suelo y biomasa.	39
Figura 17-2.	Preparación de extractos de enmiendas.	44
Figura 18-2.	Determinación de polifenoles solubles.	44
Figura 19-2.	Inicio de índice de germinación en gallinaza.	45
Figura 20-2.	Final de índice de germinación en gallinaza.	45
Figura 21-2.	Determinación de pH y CE en muestra de agua de riego.	46
Figura 22-2.	Determinación de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.	47
Figura 23-2.	Espectrofotómetro de absorción atómica por llama.	48
Figura 1.3.	Reconocimiento de la zona de estudio.	15
Figura 2.3.	Recolección de muestras de suelo con barreno.	15
Figura 3.3.	Empaque de 1 kg de muestra con su respectiva codificación.	15
Figura 4.3.	Muestras de suelo recolectadas y etiquetadas para transporte al laboratorio.	15
Figura 5.3.	Recolección de biomasa vegetal de cebolla.	15
Figura 6.3.	Pesaje en el predio de cultivos para parámetros morfológicas.	16
Figura 7.3.	Pesaje de enmiendas orgánicas y fertilizantes inorgánicos para dosificación.	16
Figura 8.3.	Dosificación de suelos según su tratamiento correspondiente.	16

Figura 9.3.	Construcción de caballones en cada parcela.....	16
Figura 10.3.	Siembra de cebolla.....	16
Figura 11.3.	Fumigación para control de plagas.....	16
Figura 12.3.	Control periódico de sembrío.....	16
Figura 13.3.	Secado de muestras de suelo.....	17
Figura 15.3.	Tamizado de muestras de suelo.....	17
Figura 16.3.	Separación y clasificación de partes vegetales.....	17
Figura 17.3.	Secado de biomasa vegetal.....	17
Figura 18.3.	Molienda y triturado de biomasa vegetal.....	17
Figura 19.3.	Preparación de muestras para medir densidad real y pesaje del picnómetro.....	18
Figura 20.3.	Preparación de muestras de suelo para determinar textura.....	18
Figura 21.3.	Pesaje de muestras de suelo para determinar C y N.....	18
Figura 22.3.	Preparación de muestras de suelo para determinar pH y conductividad eléctrica.	18
Figura 23.3.	Pesaje de muestra vegetal para determinar pH y CE.....	18
Figura 24.3.	Crisesoles etapa inicial y final para determinar porcentaje de materia orgánica...18	
Figura 25.3.	Digestiones ácidas de muestras de suelo con ácido nítrico.....	19
Figura 26.3.	Digestiones ácidas de muestras vegetales con ácido sulfúrico.....	19
Figura 27.3.	Filtrado de digestiones ácidas en tubos Falcon.....	19
Figura 28.3.	Preparación de soluciones madre para estándares de P y K.....	19
Figura 29.3.	Análisis de cadmio y mercurio.....	19
Figura 30.3.	Resultados de análisis de metales pesados y macronutrientes en suelo y biomasa vegetal.....	19

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Medias de mercurio con relación a las partes de la planta y tratamiento.	66
Gráfico 2-3. Medias de cadmio con relación a las partes de la planta y tratamiento.....	67
Gráfico 3-3. Medias de fósforo con relación a las partes de la planta y tratamiento.....	68
Gráfico 4-3. Medias de potasio con relación a las partes de la planta y tratamiento.....	69
Gráfico 5-3. Medias de carbono con relación a las partes de la planta y tratamiento.....	70
Gráfico 6-3. Medias de nitrógeno con relación a las partes de la planta y tratamiento.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y BIOMASA VEGETAL.

ANEXO B: DOSIFICACIÓN DEL SUELO, SIEMBRA Y CONTROL DE PLAGAS.

ANEXO C: PRE TRATAMIENTO DE MUESTRAS DE SUELO Y BIOMASA VEGETAL.

ANEXO D: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO.

ANEXO E: DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS Y MACRONUTRIENTES EN SUELO Y BIOMASA POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON ATOMIZACIÓN POR LLAMA.

ANEXO F: CERTIFICADOS DE CALIDAD DE ESTÁNDARES DE METALES PESADOS.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

As	Arsénico
BCF	Factor de bioconcentración
Cd	Cadmio
CE	Conductividad eléctrica
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Da	Densidad aparente
Dr	Densidad real
EAA	Espectrofotometría de absorción atómica
FAO	Organización de las naciones unidas
ICP	Plasma de acoplamiento inductivo
IG	Índice de germinación
K	Potasio
KCl	Cloruro de potasio
Mn	Manganeso
MO	Materia orgánica
Mo	Molibdeno
MP	Metales pesados
N	Nitrógeno
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Plomo
PEA	Población económicamente activa
pH	Potencial de hidrógeno
Sc	Escandio
Sn	Estaño
TF	Factor de traslocación
TXRF	Fluorescencia de rayos x por reflexión total
Zn	Zinc

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar el proceso de bioacumulación de metales pesados por actividades agrícolas en el cantón Pastaza, mediante la variabilidad y efectos de la bioacumulación en los tratamientos en estudio y la evaluación del riesgo para el ecosistema, por la cual se determinó las concentraciones de mercurio y cadmio en muestras de suelo y biomasa de la especie *Allium fistulosum* mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica por llama. Se utilizó un muestreo probabilístico aleatorio simple en tres tipos de tratamiento: sin tratamiento, fertilizante químico y gallinaza. Los parámetros de análisis fueron pH, conductividad eléctrica, densidad real, densidad aparente, textura y materia orgánica, además se determinó niveles de macro y micronutrientes. En la biomasa se determinó metales pesados, propiedades morfológicas y se evaluó la acumulación y transporte de MP (Metales Pesados) mediante los factores de bioacumulación (BCF) y traslocación (TF). Los resultados se ingresaron en el software SPSS 22 realizando análisis de varianza ANOVA y prueba de TUKEY-B. Se logró evaluar el mercurio, mientras que, el cadmio se detectó a niveles despreciables. El mercurio entra en los límites permisibles de la legislación para uso de suelos agrícolas, pero existe un incremento de la concentración del metal después de la cosecha sobrepasando el límite. Se determinó mediante el factor de BCF que la cebolla es excluyente de los MP, mientras que el factor TF afirmó que existe un transporte del mercurio en la planta el cual la hoja estaba siendo receptado. Se concluye que el suelo no presenta mayor problema de contaminación por metales pesados, con la inexistencia de un riesgo ambiental. Se recomienda la utilización de una mejor enmienda orgánica para obtener mejores resultados de acumulación lo más neutral posible al suelo y la utilización de equipos más sensibles al momento de determinar metales pesados.

Palabras clave: <METALES PESADOS>, <BIOMASA>, <BIOACUMULACIÓN>, <TRASLOCACIÓN>, <MERCURIO>, <CADMIO>, <RIESGO AMBIENTAL>, <CONTAMINACIÓN>.


 DB.R.A.I.
Ing. Cristhian Castillo

0959-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The aim of the research was to study the heavy metals bioaccumulation process due to agricultural activities in the Pastaza county, through the variability and effects of heavy metals bioaccumulation in the treatments to be studied and the risk evaluation for the ecosystem, by which the concentrations of mercury and cadmium in soil and biomass samples of the *Allium fistulosum* species were determined by means of the flame atomic absorption spectrophotometry method. A simple random probability sampling was used in three types of treatment: no treatment, chemical fertilizer and poultry manure. The parameters for the analysis were pH, electrical conductivity, real density, bulk density, texture and organic matter; in addition, macro and micronutrient levels were also determined. Regarding biomass, heavy metals, morphological properties as well as the accumulation and transport of heavy metals were evaluated by means of bioaccumulation (BCF) and translocation (TF) factors. The results were registered into SPSS 22 software, performing an ANOVA analysis of variance and a TUKEY-B test. It was possible to evaluate the mercury, while cadmium was detected at slight levels. Mercury is under the permissible limits established by the legislation for the use of agricultural soils, but there is an increase in the metal concentration after harvesting, this exceeds the permissible limit. The use of the BCF factor determined that the onion is MP-excluding, while the TF factor confirmed the transport of mercury in the plant by the leaf. It is concluded that the soil does not reflect an important contamination problem caused by heavy metals which represents environmental risk. It is recommended to use improved organic amendment in order to obtain better accumulation results as neutral as possible for the soil, as well as the use of more sensitive equipment when determining heavy metals.

Keywords: <HEAVY METALS>, <BIOMASS>, <BIOACCUMULATION>, <TRANSLOCATION>, <MERCURY>, <CADMIUM>, <ENVIRONMENTAL RISK>, <POLLUTION>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesántez Mg.

0603289877

INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país pequeño con mayor densidad poblacional a nivel de América del Sur, que limita con Colombia y Perú, con una superficie total de 277 mil km² y con 17,08 millones de habitantes (2008). A pesar de ser un país limitado en su extensión consta de 24 formaciones bioclimáticas con diversa vegetación y elevada biodiversidad por lo que le ha convertido en un gran exportador de alimentos como también de consumo interno, siendo un sector estratégico para la economía del país. Ecuador además cuenta con diversos productos de su agro-biodiversidad y microclimas, que podrían sustentar otras actividades agroindustriales de exportación. (FAO, 2005, pp.1-3). La importancia que ha tenido la agricultura en el país ha sido significativa al hecho de que a lo largo de la historia económica y social del Ecuador cubre actualmente el 95% de la demanda interna de los alimentos que consume la población, generando así 25% de empleo a la población económicamente activa (PEA). Después del petróleo es un generador de divisas, en la parte comercial del sector es favorable y su aporte al PIB es relevante (Pino et al., 2018: p.7).

En los territorios amazónicos del Ecuador se encuentran diversos pueblos indígenas que se han servido durante muchos años de las riquezas que la naturaleza ha logrado brindarles, usando territorios desde antes de la conformación de los estados nacionales. Pero la vida de los pueblos indígenas se altera por procesos relacionados al desarrollo, como son la minería, decisiones políticas, explotación de recursos, urbanización, modernización, etc. Por lo cual actualmente muchos pueblos han optado por la agricultura, encontrando beneficio al suelo para poder sobrevivir y a la vez comercializar sus productos con la esperanza de un sustento económico aceptable. Ahora se vive una agricultura desenfadada que perjudica al recurso suelo por la excesiva y descontrolada utilización de productos químicos que contienen metales pesados (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn, etc.) causando no solo problemas edáficos, sino también al recurso hídrico y atmosférico, identificando como un problema ambiental de suma importancia en la actualidad.

Señalado esto, la contaminación edáfica por sistemas agrícolas poco o nada amigables con el medio ambiente han causado un impacto ambiental negativo notable, y la preocupación de la población, por lo tanto; ¿Puede verse afectado el ecosistema a causa de la contaminación del suelo agrícola con metales pesados depositados por malas prácticas?, y ¿Qué solución se puede dar a dicho problema en la zona agrícola de la Amazonía ecuatoriana provincia de Pastaza cantón Pastaza?

Los sistemas de producción agrícola han demostrado que constituyen una fuente importante de contaminantes al suelo como son los metales pesados, facilitando la acumulación y la transferencia en la cadena suelo – planta – consumidor, esto se debe a los procesos de manera intensiva y sin periodos de descanso del suelo sin rotación de cultivos. Algunos metales identificados por la utilización de fertilizantes son: Cd, Cr, Mo, Pb, Zn; en plaguicidas: Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn; mediante compost derivados de residuos sólidos convencionales: Cd, Cu, Ni, Pb,

Zn; y del estiércol: Cu, As, Zn. También se plantea que los fertilizantes fosforados son una fuente de Cd por los contenidos de apatita que además de fósforo contiene cadmio en concentraciones de 8 y 500 mg/kg. (Mahecha et al., 2015: pp.118-122)

Este trabajo de titulación forma parte del grupo de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química (GAIBAQ) de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quienes han estado frente en la investigación como también la elaboración de la enmienda orgánica de compost, elaborado con residuos agroindustriales en la provincia de Chimborazo, con el fin de mitigar la contaminación ambiental de los suelos contaminados de metales pesados. Esto brinda una solución ambiental para aquellos suelos empobrecidos por el uso indiscriminado de pesticidas y técnicas deficientes de agricultura, brindando disponibilidad del uso de nutrientes esenciales para las plantas. Razón por la cual el presente trabajo de titulación es de suma importancia en el campo profesional de un Ingeniero en Biotecnología Ambiental.

OBJETIVOS:

Objetivo General

- Estudiar el proceso de bioacumulación de metales pesados por actividades agrícolas del cantón Pastaza en la estación experimental Pastaza – ESPOCH

Objetivos Específicos

- Cuantificar mediante espectroscopía de absorción atómica los metales pesados presentes en muestras de suelo de la zona de estudio.
- Comparar la variabilidad y efectos de los resultados de la bioacumulación de metales pesados y contenido de nutrientes de las plantas entre diferentes tratamientos empleados en la zona de estudio.
- Evaluar el riesgo de la acumulación de metales pesados para el ecosistema mediante el cálculo de factores BCF y TF en cultivos de cebolla sembrados en la Estación Experimental Pastaza.
- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y morfológicas de la biomasa vegetal cultivada en la Estación Experimental Pastaza.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Tipo de suelo y localización del área de estudio

El estudio y desarrollo práctico se llevó a cabo en los predios de La Estación Experimental Pastaza de la Facultad de Ciencias Pecuarias – ESPOCH, ubicada en el kilómetro 35 de la vía Puyo-Macas, a 1030 msnm aproximadamente.

Según (Martín et al., 2009a, pp.5-10), en un estudio realizado sobre la agro productividad de la provincia de Pastaza, se pronuncia que el suelo de esta zona desde el punto de vista de drenaje y nutrientes, tiene buenas perspectivas; hay un declive que facilita la eliminación del exceso de humedad, pero los contenidos de fósforo y potasio no son suficientes para abastecer los cultivos. Cuando se aplican estos nutrientes, es necesario adicionar un poco de suelo al tronco de la planta para que el fertilizante no se pierda por lavado. Por otra parte, la irregularidad del lugar hace que esta área por la incidencia de precipitaciones y alta disponibilidad de agua tienda a que la materia orgánica alcance niveles mayores al 50%.

(Martín et al., 2009b, pp.5-10), señala también que, la textura del suelo es franco-arcillosa, predominando la fracción limosa, que hace que esta fracción obstruya los poros del suelo, disminuya el contenido de aire y limite la respiración de las plantas a través de las raíces, por lo que son necesarias las medidas fitotécnicas encaminadas a mejorar el drenaje y lograr una distribución espacial de los cultivos de acuerdo con la humedad y posición del relieve.

1.2. Contaminación por plaguicidas

(Sánchez, 1984; citado en Izquierdo, 2017). Afirma que los principales efectos ocasionados por los plaguicidas en el suelo es los cambios de balance, llegando a desequilibrar poblaciones animales, vegetales y microbianas; afectando también elementos biológicos. Además (Forero, 2009; citado en Izquierdo, 2017) señala que los plaguicidas ingresan al suelo mediante tratamientos directos, aéreos o por residuos vegetales, gracias a que el suelo es receptor inmerso al momento de la cosecha. Cabe recalcar que los plaguicidas al llegar al suelo son transportados desde las raíces hacia las plantas, o a la vez continuar su dirección por escorrentía contaminando recursos hídricos; esto debido al pH, temperatura, naturaleza del plaguicida, tipo de suelo y contenido de humedad.

Tabla 1-1. Clasificación de plaguicidas según la OMS

Clasificación toxicológica	Clasificación del peligro	Color de banda	Símbolo de peligro
Ia	Sumamente peligroso	Rojo	Calaveras y tibias
Ib	Muy peligroso	Rojo	Calaveras y tibias
II	Moderadamente peligroso	Amarillo	Cruz de San Andrés
III	Poco peligroso	Azul	
Producto no peligroso	Sin peligro	Verde	

Fuente: OMS, 2009, p. 51.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

Tabla 2-1. Plaguicidas prohibidos en el Ecuador

ACUERDO/ RESOLUCIÓN	PRODUCTOS	JUSTIFICATIVO
Acuerdo Ministerial No 0112. Publicado en el Registro Oficial No 64 con fecha 12 de noviembre de 1992.	1. Aldrin	Por ser nocivos para la salud y haber sido prohibida su fabricación, comercialización o uso en varios países.
	2. Dieldrin	
	3. Endrin	
	4. BHC	
	5. Campheclor / Toxafeno	
	6. Clordimeform	
	7. Chlordano	
	8. DDT	
	9. DBCP	
	10. Lindano	
	11. EDB	
	12. 2, 4, 5 T.	
	13. Amitrole	
	14. Compuestos mercuriales y de Plomo	
	15. Tetracloruro de Carbono	
	16. Leptophos	
	17. Heptachloro	
	18. Chlorobenzilato	
Acuerdo Ministerial No 333.- publicado en el Registro Oficial No	19. Methyl Parathion	Por producir contaminación Ambiental, efectos tóxicos y por haberse cancelado el registro en varios países.
	20. Diethyl Parathion	
	21. Ethyl Parathion	
	22. Mirex	
	23. Dinoseb	
Acuerdo Ministerial No 333.- publicado en el Registro Oficial No	24. Pentaclorofenol	Únicamente para uso industrial, no para uso agrícola.
	25. Arseniato de Cobre	
Acuerdo Ministerial No 333.- publicado en el Registro Oficial No	26. Aldicarb Temik 10% G y 15% G, Restringe el uso, aplicación y	Para evitar la aplicación de este plaguicida en banano y haberse encontrado residuos de Temik en

288 con fecha 30 de septiembre de 1999.	comercialización exclusivamente a flores y exclusivamente mediante el método de “USO RESTRINGIDO Y VENTA APLICADA”.	banano procedente de Ecuador. Por haberse cancelado y prohibido su uso en varios países. Por nocivo para la salud.
Acuerdo Ministerial No 123, publicado en el Registro Oficial No 326 con fecha 15 de mayo del 2001.	27. Zineb solo o en combinación con otros fungicidas	Por ser potencialmente nocivo para la salud humana y estar cancelado y prohibido su uso en algunos países.
Resolución No 015, publicado en el Registro Oficial No 116 con fecha 3 de octubre de 2005.	28. Binapacril 29. Óxido de etileno 30. Bicloruro de etileno	Por riesgos carcinogénicos, constituyendo productos nocivos para la salud humana, animal y el ambiente.
	31. Monocrotofos	Por haber prohibido su uso en varios países, debido a sus propiedades nocivas para la salud y el ambiente.
	32. Dinitro Orto Cresol- DNOC (Trifrina).	Por ser un producto peligroso para la salud humana y el ambiente.
	33. Captafol 34. Fluoroacetamida 35. HCH (mezcla de isómeros) 36. Hexaclorobenceno 37. Paratión 38. Pentaclorofenol y sales y ésteres de pentaclorofenol	

Fuente: AGROCALIDAD, 2020, pp. 1-5.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

1.2.1. Evolución de plaguicidas en el suelo

La aplicación de plaguicidas aplicados se distribuye al ambiente: suelo, aire, animales y plantas, esto dependerá mucho de la concentración en que haya sido aplicado. Los mecanismos que están inmersos en la persistencia y evolución de los plaguicidas son mediante la lixiviación, descomposición microbiana, descomposición química, adsorción, descomposición por las plantas, volatilización y mediante arrastre superficial y por capa freática. Estos mecanismos dependen también de variables como la humedad, pH, temperatura, materia orgánica, tipo de arcilla, intercambio iónico del suelo y por las propiedades fisicoquímicas del compuesto. En general el movimiento en el transporte de los plaguicidas en el suelo o arrastre mecánico, es provocado en gran parte a las precipitaciones atmosféricas que favorecen el movimiento de convección, desplazando por difusión molecular. A la vez que la descomposición por las plantas y organismos son consecuencia de los procesos metabólicos que es producido en las mismas (Sánchez y Sánchez, 1984: p. 27).

1.3. Metales pesados en los suelos

Los metales pesados son en general, tóxicos y además su característica de ser bioacumulativas (no pueden ser eliminados por el cuerpo) provoca que las concentraciones en suelos y aguas permitidas por la legislación vigente sean muy pequeñas. Son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua, los más importantes son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Londoño et al., 2016: pp. 145-153).

Por lo general los metales pesados se encuentran en el medio ambiente naturalmente mediante los procesos pedogenéticos de meteorización a niveles de trazas (<1000 mg kg⁻¹) y en ciertas ocasiones tóxicos. Se pueden expresar por la siguiente fórmula:

$$M_{total} = (M_p + M_a + M_f + M_{ag} + M_{ow} + M_{ip}) - (M_{cr} + M_l)$$

Donde:

“M” es metal pesado, “p” es material principal, “a” es la deposición atmosférica, “f” son las fuentes de fertilizantes, “ag” son fuentes de agroquímicos, “ow” son fuente de desechos orgánicos, “ip” son otros contaminantes inorgánicos, “cr” es la remoción de cultivos, y “l” son la pérdida por lixiviación, volatilización, etc. Con esto se proyecta que la emisión antropogénica hacia la atmósfera, para varios metales pesados es de tres órdenes de magnitud superior a los flujos naturales. Es por ello que al tener mayor movilidad en el suelo existe mayor biodisponibilidad pedogénico (Wuana y Okieimen, 2011a: p. 20).

Referente a los fertilizantes, (Wuana y Okieimen, 2011b: p. 20) pronuncian que algunos metales han sido esenciales en el crecimiento de las plantas, siendo suministrados como complementos. Se añaden por lo general grandes cantidades de fertilizantes a los suelos en sistemas agrícolas intensivos para proporcionar N, P y K; cabe recalcar que estos productos disponen de trazas de metales pesados como son: Cd y Pb que actúan como impurezas lo cual, con la utilización progresiva de los fertilizantes, estas trazas aumentan significativamente su contenido en el suelo señalando así, que tanto el Cd como Hg y Pb son elementos extremadamente tóxicos para el suelo.

1.3.1. Cadmio

El Cd es considerado el más móvil en el ambiente líquido y tiene el poder de bioacumular y persistir en el ambiente con una tasa media de 10 a 30 años, además que se encuentre en aguas superficiales y subterráneas este MP también se acumula en la superficie del suelo (Sánchez et al; citado en Hernández, 2014). El elemento Cd tiene cuatro características más atemorizantes de un tóxico, que son: efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, persistencia en el medio ambiente, bioacumulación y el Cd es obtenido como subproducto por la metalurgia del zinc y del

plomo, a partir de sulfuro de cadmio, desechando óxido de cadmio siendo este muy tóxico (Ramírez, 2002; citado en Hernández, 2014).

1.3.2. Mercurio

Es considerado como un contaminante a escala mundial ya que tiene la facultad de persistir, su capacidad de biomagnificación y acumularse en los organismos y en el medio ambiente. Este elemento se encuentra tanto en suelo-aire-agua; las fuentes del Hg ingresan al ambiente tanto acción natural como antropogénica, recalcando las prácticas agrícolas, como fertilización. Para la remediación del Hg en el suelo se han producido diversas técnicas de remediación entre las más utilizadas físico químicas son la solidificación/estabilización, la inmovilización y la vitrificación. (Caiza, 2018, p. 3).

1.4. Métodos de determinación de metales pesados

1.4.1. Métodos usados

1.4.1.1. Espectroscopía de absorción atómica

Es uno de los métodos más usados actualmente para la determinación de metales pesados, está basada en la obtención de energía radiante de los átomos en estado fundamental. La muestra a analizarse llega al quemador en la cual se produce la atomización pasando por la nube atómica que se forma debido a una emisión electromagnética referente a la longitud de onda de las partículas que presenta una absorción que es proporcional a la concentración de los átomos. La estructura del equipo consta de: fuente de emisión de radiación primaria, sistema de atomización, monocromador, detector y un sistema de salida de datos y registro. Cabe mencionar que este método se puede hacer por cuatro técnicas que son: de llama, de cama de grafito, con cámara de hidruros y por vapor frío (Chávez, 2011a, pp. 9-11).

1.4.1.2. Espectroscopía de emisión atómica

Este método tiene como fundamento el estudio de la radiación emitida por los átomos en toda la región del espectro, esto consiste en que los átomos se excitan y permanecen un tiempo relativamente corto (10^{-6} s), regresando al estado fundamental del átomo, emitiendo la energía sobrante en forma de luz o cuantos luminosos. Una posible dificultad en esta técnica es la interferencia espectral debido a muchas longitudes de onda próximas, como ejemplo el Mn emite a 403 nm y el Sc a 402 nm. Este método se puede hacer por tres técnicas que son: de llama, plasma

de acoplamiento inductivo (ICP) – óptico simultáneo y plasma de acoplamiento inductivo (ICP) – secuencial (Chávez, 2011b, pp. 9-11).

1.4.1.3. Fluorescencia de rayos x por reflexión total

También es conocido como TXRF por sus siglas en inglés, este método es posible analizar simultáneamente Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y As a niveles de (ng/g); unas de las dificultades de este método es que las muestras necesitan ser tratadas químicamente antes de la determinación y la instrumentación suele ser muy costosa. Tiene como principio que “un haz bien colimado emitido por un tubo de rayos-X, se apunta con incidencia de roce en un plano óptico que es donde se pone la muestra a analizar. Arriba de la muestra va un detector que mide la fluorescencia proveniente de la muestra” (Chávez, 2011c, pp. 9-11).

1.4.1.4. Voltamperometría de redisolución anódica

Técnica electroquímica en donde se origina una reacción de transferencia de electrones, haciendo que un electrodo mida su función del potencial. Su principio actúa en el uso de tres electrodos (trabajo, referencia y auxiliar), incrustados en la solución a analizarse, la función del potencial trabajo es aplicar el potencial deseado de manera controlada ayudando con la transferencia de electrones hacia el analítico, la función del electrodo de referencia es vigilar el potencial de los electrodos de trabajo, mientras que por el electrodo auxiliar pasa corriente óptima para equilibrar la corriente observada con el electrodo de trabajo. Una dificultad del método se debe a que las muestras a analizarse deben ser oxidables o reducibles sobre el electrodo, por lo que no puede detectar y cuantificar todos los metales pesados (Chávez, 2011d, pp. 9-11).

1.4.2. Métodos nuevos

1.4.2.1. Biosensor óptico basado en Sol-Gel y Fluorescencia

(Hsiao-Chung et al., 2003; citado en Chávez, 2011) plantean otras técnicas para determinación de metales pesados, con un biosensor de ureasa óptico basado en sol-gel fluorescencia. Se conoce que el biosensor tiene alta sensibilidad al Cd (II) y Cu (II) con un rango analítico de 10 a 230 μM y límite de detección de 10 μM . Los investigadores han probado la técnica en un laboratorio con un potencial de detección de MP de 20-45 μM de iones metálicos.

1.4.2.2. Preconcentrado usando 4-morfolina ditiocarbamato

Con respecto a la eficiencia del espectrofotómetro de absorción atómica los investigadores (Todorovi et al., 2002; citado en Chávez, 2011) han desarrollado un método para mejorar la preconcentración (tratamiento químico) de las muestras a analizarse en el EAA, mencionando que varios MP pueden subsistir en varios estados químicos en el agua por lo que lo hace complejo su análisis, dando solución a la problemática la utilización de 4-morfolina ditiocarbamato en constante comparación con el método tradicional, logrando obtener excelentes resultados para Cd, Zn, Cu, Pb, Fe, Mn, Ni.

1.5. Propiedades físico químicas del suelo

1.5.1. Potencial de hidrógeno

Entre los distintos parámetros en la movilidad de un metal es el pH, el cual en la mayoría de suelos los MP se encuentran más disponibles a un pH ácido ya que son vigorosamente absorbidos, con la excepción de As, Se, Cr y Mo que se mueven mejor en un pH alcalino. Cuando existe alto pH en el suelo se debe a la presencia de carbonatos lo cual da condiciones en que los MP precipiten; el Cd y otros metales quedan adheridos por los carbonatos. En un pH alcalino del suelo se podría deber a un aumento de salinidad, lo cual incrementa la movilidad de metales, los aniones cloruro y sulfato pueden formar compuestos estables con algunos metales como: Cu, Zn, Cd, Hg y Pb (Galán y Romero, 2008a, pp. 48-60).

1.5.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) sirve para medir la cantidad de sales solubles en un determinado suelo, definiéndola como la capacidad de un material para conducir corriente eléctrica, más alto cuando la concentración de sales esté elevada. Hablando de fertilización de un suelo se recomienda que la CE se encuentre baja para facilitar su manejo evitando así problemas de fitotoxicidad. Es por ello que es importante la determinación de la CE para una dosificación óptima evitando elevar la CE final del suelo (Barbaro et al., 2018, pp. 1-11).

1.5.3. Materia orgánica

Los metales forman complejos con la materia orgánica del suelo, la adsorción se estabiliza como en el caso del Cu, pudiendo formar también quelatos demasiado estables como en el Pb y Zn. En algunos casos existe la formación de complejos organometálicos ayudando en la solubilidad,

dispersión y disponibilidad del metal por los organismos dispersos del suelo; consecuentemente dando persistencia a la toxicidad en el suelo (Galán y Romero, 2008b, pp. 48-60).

Complejos formados con la materia orgánica es incrementada mediante el pH debido al incremento de la ionización de los grupos funcionales, ejemplo de un metal es el Cu^{+2} que forma complejos estables con la materia orgánica. (García et al., 2002, pp. 125-138). (Berrow y Burridge, 1990; citado en García et al., 2002) afirma que el porcentaje de materia orgánica ligada al metal depende de las características del elemento, en las enmiendas orgánicas esta fracción puede llegar a ser de un 80-90% para Cd, Zn y Cu y un 50-60% para Pb y Ni.

1.5.4. Textura del suelo

Es el porcentaje de elementos que constituyen el suelo: arena fina, arena media, arena gruesa, limo y arcilla. Se habla de un suelo con una buena textura cuando la unión de estos elementos le da fijación al sistema radicular de las plantas y su nutrición. Normalmente los suelos son separados por tres clases de tamaño llamados: arena, limo y arcilla. Se usa el análisis granulométrico o mecánico para la medición de la granulometría. Las clasificaciones por tamaño tienen un límite de dos micras (0,002 mm) para la fracción de arcilla y se diferencia con la fracción arena. (Rucks et al., 2004a, pp. 1-68)

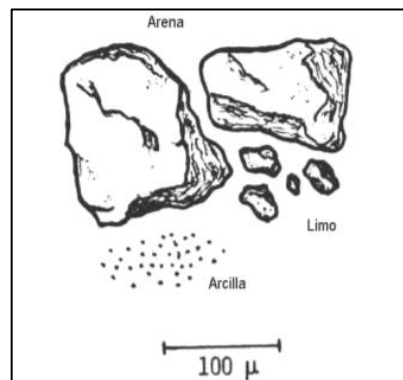


Figura 1-1. Relación en tamaño de partículas de arena, limo y arcilla.

Fuente: Rucks et al., 2004, pp. 1-68.

En la tabla 3-1 se identifican las fracciones del suelo por el Departamento de Agricultura de U.S.A y la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

Tabla 3-1. Clasificación de fracciones del suelo

	Sistema de Depto. de Agricultura de EE. UU	Sistema Internacional
Fracción del suelo	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2.00 – 1.00	-
Arena gruesa	1.00 – 0.50	2.00 – 0.20
Arena media	0.50 – 0.25	-
Arena fina	0.25 – 0.10	0.20 – 0.002
Arena muy fina	0.10 – 0.05	-
Limos	0.05 – 0.002	0.20 – 0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

Fuente: Rucks et al., 2004, pp. 1-68

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

Para determinar las clases textuales del suelo se ocupan algunos métodos, por lo general cada vez más los diagramas triangulares, específicamente un triángulo rectángulo o equilátero; cada lado a un eje graduado de 10 en 10, de 0 a 100, en donde se transporta la cantidad del elemento. Cada lado del triángulo corresponde a arcilla, a limo y arena. En la figura 2-1 se contempla el triángulo de texturas del suelo (Rucks et al., 2004b, pp. 1-68).

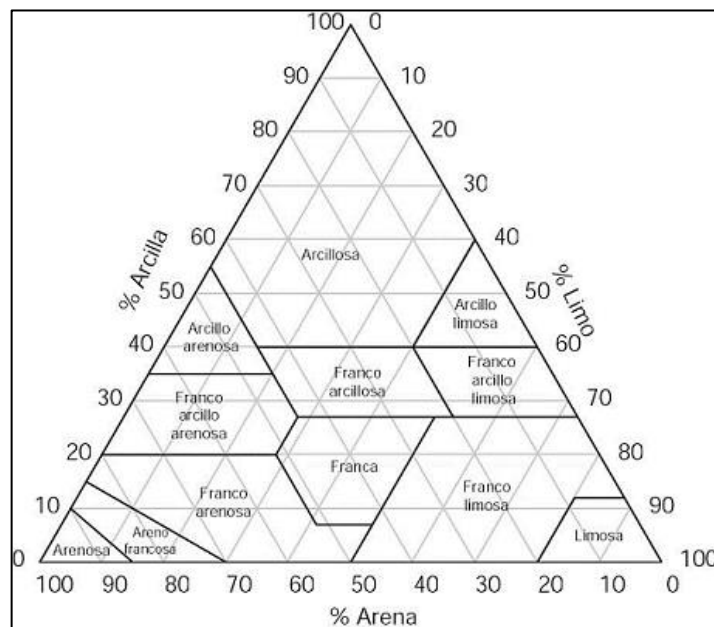


Figura 2-1. Triángulo de texturas del suelo.

Fuente: Rucks et al., 2004, pp. 1-68.

Los nombres y traducción de las clases textuales según el triángulo de textura están especificado en la tabla 4-1.

Tabla 4-1. Representación de clases de texturas por triángulo de textura del suelo

	Términos generales	Clases texturales
Suelos Arenosos	Suelos de textura gruesa	Arenosos
		Arenosos - francos
	Suelos de textura moderadamente gruesa	Franco - arenosos
		Franco – arenosos finos
		Franco arenosos muy finos
Suelos Francos	Suelos de textura media	Franco
		Franco - limoso
		Limoso
	Suelos de textura moderadamente fina	Franco arcilloso
		Franco arcilloso arenoso
		Franco arcilloso limoso
Suelos Arcillosos	Suelos de textura fina	Arcillo arenoso
		Arcillo limoso
		Arcilloso

Fuente: Rucks et al., 2004, pp. 1-68.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

1.5.5. Densidad real y aparente

La densidad aparente nos permite conocer el estado físico del suelo, porque refleja el comportamiento dinámico y porosidad debido a los agentes externos e internos del suelo como es la compactación y dispersión de partículas. Es definida como la relación entre la masas seca al horno del suelo (P_{ss}) y el volumen total (V_t), introduciendo el espacio poroso que ocupan, la cual es expresada con la siguiente ecuación: (Avilés y Mendoza, 2005a, pp. 13-15).

$$Da = \frac{P_{ss}}{V_t}; \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

Según (Pritchett, 1990, citado en Avilés y Mendoza, 2005) la estructura, textura, compactación y materia orgánica son los factores que afectan a la densidad de los suelos. En la tabla 5-1, el autor especifica las densidades aparentes según la textura del suelo.

Tabla 5-1. Densidad aparente según la textura

Textura	Densidad aparente (g/cm^3)
Arenas	1,6 – 1,7
Francos	1,3 – 1,4

Arcillas	1,0 – 1,2
Suelos orgánicos	0,7 – 1,0

Fuente: Pritchett, 1990, citado en Avilés y Mendoza, 2005.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

La densidad real del suelo comprende una relación entre el peso en seco (P_{ss}) y el volumen real de sus partículas (V_p) por lo general expresado en g/cm^3 (Foth, 1897, citado en Avilés y Mendoza, 2005).

Su fórmula es expresada de la siguiente forma:

$$Dr = \frac{P_{ss}}{V_p}; \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

La densidad real según algunos componentes del suelo es expresada en la tabla 6-1.

Tabla 6-1. Densidad real de algunos constituyentes de suelos

Componentes del suelo	Densidad real (g/cm^3)
Humus	1,3 – 1,5
Arcilla	1,2 – 2,6
Cuarzo	2,5 – 2,8
Hematinas	4,9 – 5,3

Fuente: Cairo, 1995, citado en Avilés y Mendoza, 2005.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

1.6. Transferencia de contaminantes de suelo a biomasa

La transferencia de MP del suelo hacia la planta se debe a la bioacumulación que significa un aumento de concentración de un químico en un ser vivo en un determinado tiempo, en comparación de la concentración del producto químico en el ambiente (Angelova et al., 2004, citado en Prieto et al., 2009).

Las trazas de metales son importantes en el metabolismo de los seres vivos en particular en los seres humano como son: Cu, Se y Zn. Sin embargo, estos MP al tener alta concentración se vuelve un problema de envenenamiento, esto se produce ya sea por la contención del agua, concentraciones del aire y la vía de la cadena alimenticia (Kabata-Pendias, 2000, citado en Prieto et al., 2009).

1.6.1. Absorción por las plantas

El primer paso para una contaminación en la cadena trófica es la absorción de MP por medio de las plantas. La absorción como la acumulación dependen del movimiento de los MP en

transferencia de la solución del suelo hacia la raíz de la planta. (Kabata-Pendias, 2000, citado en Prieto et al., 2009) proporciona el concepto de bioacumulación en las plantas como: “la agregación de contaminantes; algunos de ellos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros.”

El incremento de la absorción de metales por las plantas depende de la concentración total de metales en el suelo, todo dependerá de la especie de planta que tiene un umbral de absorción de metales, en donde dejará de transferir y almacenar (Cabezas et al., 2004, pp. 1-13).

En la tabla 7-1 se establece los grupos según el potencial de riesgo en la cadena alimentaria.

Tabla 7-1. Metales clasificados en grupos según su potencial de riesgo para la cadena alimentaria a través de la absorción de plantas

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Plata	Mercurio	Boro	Arsénico
Cromo	Plomo	Cobre	Cadmio
Estaño	-	Manganeso	Cobalto
Titanio	-	Molibdeno	Molibdeno
Itrio	-	Níquel	Selenio
Zirconio	-	Zinc	Talio

Fuente: Rodríguez et al., 2019, p. 48.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

El grupo 1 son aquellos metales con bajo riesgo de contaminación, porque no son tan absorbidos por las plantas por su poca solubilidad en el suelo. El grupo 2 son elementos adheridos al suelo y a la vez que pueden ser absorbidos por las plantas no se transportan tan fácil a los tejidos comestibles, por lo que tienen un riesgo mínimo, pero cabe recalcar que puede causar problemas en los animales herbívoros por su ingesta. El grupo 3 son los metales que son absorbidos con facilidad, pero son fitotóxicos a concentraciones que causen daño a la salud. El grupo 4 son aquellos elementos con mucho riesgo de contaminación en la cadena alimenticia, tanto para animales como humanos y no son fitotóxicas.

1.6.2. Factores BCF y TF en cultivos

El Factor BCF calcula la bioconcentración de una sustancia o en este caso metal pesado mediante la concentración en un organismo (planta) y suelo. Y el factor TF que ayuda a determinar la concentración mediante la distribución de la planta de estudio.

1.6.2.1. Factor de bioconcentración

Consiste en la medición de la capacidad de captación de metales en un organismo (planta), mediante la raíz y parte aérea relacionando la concentración del suelo. En plantas la acumulación de metales en biomasa, se plantea que valores mayores a 1 los organismos son potencialmente hiperacumuladora, mientras que las menores a 1 son especies exclusoras. Se señalan dos factores de bioconcentración: (Audet y Charest, 2007, citado en Medina y Montano, 2014).

- Factor de bioconcentración en la raíz de la planta

También llamada *Root accumulation factor* (RAF), en donde se mide la relación de concentración de metales en la raíz con respecto a los metales del suelo. (Yoon, 2006, citado en Medina y Montano, 2014). Las siguientes fórmulas sirven para determinar el cálculo del factor BCF: (Castro et al, 2018, pp. 467 - 485).

$$BCF = \frac{C_{raíz}}{C_{suelo}} \quad \text{ó} \quad BCF = \frac{C_{parte\ aérea}}{C_{suelo}}$$

Donde;

BCF = factor de bioconcentración

C = concentración del metal

- Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta

También conocido como *Shoot accumulation factor* (SAF), relaciona la concentración medible de metales en la parte aérea de la planta con el suelo (Vyslouzilova, 2003, citado en Medina y Montano, 2014).

1.6.2.2. Factor de traslocación

(Zhao, 2002, citado en Medina y Montano, 2014) expone que el factor TF se encarga en medir la concentración del metal en los órganos comestibles o aéreos y raíz de una planta, en donde factores mayores a 1 otorga gran capacidad de transporte de metales desde las raíces hacia los vástagos. (Baker, 1981, citado en Medina y Montano, 2014) afirma que las plantas hiperacumuladoras son las de valores mayores a 1 en la relación de concentración parte aérea / concentración raíz, mientras que las plantas que no son acumuladoras tienden a tener alta concentración de metal en las raíces en las hojas y tallos. Con esto se puede concluir que si la planta tiene un factor mayor a 1 se habla de un buen índice de traslocación por lo que se puede ocupar para fines de fitoextracción, mientras que, si el factor es menor a 1, se asume que la concentración del metal se encuentra en las raíces y puede usarse para fitoestabilización.

La siguiente fórmula sirve para determinar el cálculo del factor TF: (Castro et al, 2018, pp. 467 - 485).

$$TF = \frac{C \text{ parte comestible}}{C \text{ raíz}}$$

Donde;

TF = factor de traslocación

C = concentración del metal

1.7. Cultivos de ciclo corto

Son los cultivos considerados de un ciclo de vida de meses, que no superan un año, esto consiste en que se deben sembrar en cada cosecha para continuar su ciclo, a la vez que su maduración es pronta (Tello, 2015, p. 12).

1.7.1. Cebolla Blanca (*Allium fistulosum*)

Según (Guerrero, 1974, citado en Toalombo, 2012) afirma que en Ecuador la cebolla también llamada de rama, se desarrolla mejor en un clima fresco y temperado, con condiciones óptimas de temperatura de 12 a 24 °C, cabe recalcar que soporta temperaturas mínimas de 2 °C y máximas de 35 °C. (Barco, 2009, citado en Toalombo, 2012) expresa que la cebolla blanca prefiere suelos ricos, con una acidez ligera y textura arenosa con buen drenaje, a la vez que no son aconsejables sembrar en suelos compactos, arcillosos y húmedos.

1.7.1.1. Siembra

(Barco, 2009, citado en Toalombo, 2012) señala la distancia de 50 – 80 cm entre caballones y 30 – 40 cm entre sitios, dependiendo de la fertilidad del suelo. (Dane, 2001, citado en Toalombo, 2012) manifiesta que el suministro de agua en el suelo es muy importante, aunque el cultivo puede soportar sequías.

1.7.1.2. Cuidados

(Carpoica, 1999, citado en Toalombo, 2012) menciona que se debe retirar las malezas que se encuentran alrededor de la planta y los caballones, a la vez que se deben retirar las hojas secas o amarillas. (Pinzón, 2004, citado en Toalombo, 2012) señala que un manejo químico en la cebolla blanca es casi desconocido ya que se controlan manualmente en cada uno de los aporques. Se debe prevenir lastimar la raíz superficial de la planta ya que puede causar la entrada de patógenos que causan enfermedades.

1.7.1.3. Cosecha

(Barco, 2009, citado en Toalombo, 2012) indica que la cosecha de la cebolla blanca se la puede hacer arrancando todas las plantas o a la vez deshijando. El primer corte se lo realiza a los cuatro o seis meses y los posteriores cada tres o cuatro meses.

1.8. Enmiendas orgánicas

Son productos orgánicos, realizados con desechos comunes a la vez que sus procesos son amigables con el medio ambiente, con la funcionalidad de enriquecer suelos pobres en nutrientes y calidad del suelo para cultivar, ayudando así al desarrollo óptimo de plantas sembradas, mejorando propiedades físico químicas, microbiológicas, aireación, materia orgánica, macronutrientes, micronutrientes, etc.

1.8.1. Gallinaza

Se basa en la descomposición de heces y orina de las aves de corral como también del material usado como cama que tiene una mezcla de cascarilla de arroz con cal, es un abono de rápida acción a la vez que es concentrado, rica en nutrientes básicos favorables a la planta. (Yagodin et al., 1986, citado en Cantarero y Martínez, 2002)

(Arévalo et al., 2018, citado en, Casas y Guerra, 2020), señala que la composición de la gallinaza además de lo antes mencionado contiene porciones de alimentos no digeribles, células de descamaciones de la mucosa del aparato digestivo, productos de secreción de las glándulas, microorganismos de la biota intestinal, sales minerales, plumas y un porcentaje ínfimo de material extraño.

Una de sus características es ayudar con la fertilidad de un suelo, brindando de nutrientes principales como: Mg, Fe, Mn, Ca, K, P, Zn, Cu, B y una gran concentración de N, en donde se recomienda ajustar la utilización de fertilizantes nitrogenados para evitar exceso. Además, mejora las características físicas del suelo, facilitando la absorción de humedad, aireación, como el filtraje de nutrientes. Estimula el desarrollo normal y uniforme de las plantas, favorece a los vegetales con una mayor resistencia a microorganismos e insectos, convirtiéndose en una fuente de humus al pasar el tiempo. (Restrepo, 1998, citado en Cantarero y Martínez, 2002)

No hay que confundir gallinaza con pollinaza, por lo que (Casas y Guerra, 2020, pp. 1-15) conceptualiza de la siguiente manera:

- Pollinaza: Excretas de aves de engorde, desde un inicio hacia su comercialización, mezclado con desperdicio de alimento, materiales usados como cama y plumas.
- Gallinaza: Excretas de gallinas ponedoras, en la etapa de producción de huevos o su total desarrollo, mezclado con plumas, desperdicios de comida y puede o no contener material de sus camas.

1.9. Límites permisibles

1.9.1. Criterios de calidad del suelo

Los criterios de calidad son valores o límites analíticos en la localización de un contaminante. Estos valores se reflejan por variaciones geológicas naturales de áreas no desarrolladas o sin la influencia urbana e industrial. En la tabla 8-1 se visualizan los criterios de calidad del suelo con respecto a las sustancias y parámetros generales del estudio.

Tabla 8-1. Criterios de calidad del suelo

Sustancia	Unidades (concentración	Suelo
Parámetros generales	en peso seco)	
Conductividad	µS/cm	200
pH	-	6 a 8
Arsénico	mg/kg	12
Cadmio	mg/kg	0,5
Mercurio	mg/kg	0,1

Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1

Fuente: AM097-A:2015.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

1.9.2. *Guía de parámetros mínimos para valoración de la calidad inicial del suelo según uso del suelo*

En la tabla 9-1 se detallan los parámetros recomendados a evaluar según su uso del suelo, señalado en el acuerdo ministerial 097-A.

Tabla 9-1. Parámetros mínimos para valoración de la calidad inicial del suelo según uso del suelo

Uso del suelo	Parámetros a evaluar por uso del suelo
Agrícola	Metales (bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc). Plaguicidas (organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides). Contenido de materia orgánica en el suelo. Conductividad eléctrica. Nitrógeno total. pH. Espesor de la capa arable.
Forestal	Metales (bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc). Plaguicidas (organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides). Contenido de materia orgánica en el suelo. Conductividad eléctrica. Nitrógeno total. pH. Espesor de la capa arable.
Ganadero	Metales (bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc). pH. Conductividad eléctrica. Detergentes. Espesor de la capa arable

Urbano	<p>Metales (bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc).</p> <p>pH.</p> <p>Conductividad eléctrica.</p> <p>Detergentes.</p>
Recreativo	<p>Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc).</p> <p>Plaguicidas (organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides).</p> <p>pH.</p> <p>Conductividad eléctrica.</p>
Conservación de hábitats	<p>Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc).</p> <p>Contenido de materia orgánica en el suelo.</p> <p>pH.</p> <p>TPH.</p> <p>Detergentes.</p> <p>Espesor de la capa arable</p>
Industrial	<p>Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, cianuro mercurio, zinc, vanadio).</p> <p>PCB's (en el caso de plantas termoeléctricas).</p> <p>Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HAP's).</p> <p>TPH.</p> <p>pH.</p> <p>Conductividad eléctrica. Detergentes</p>
Comercial	<p>Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc).</p> <p>TPH.</p> <p>pH.</p> <p>Conductividad eléctrica</p>
Minero	<p>Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc).</p> <p>Cianuro.</p> <p>TPH.</p> <p>pH.</p>

Fuente: AM097-A:2015.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2021.

1.9.3. Límites permisibles en suelos con criterios de remediación

A continuación, en la tabla 10-1 se establecen los límites permisibles en suelos donde ya se ha realizado un proceso de remediación con la mejor tecnología y condiciones para su adaptación y ejecución.

Tabla 10-1. Valores máximos permisibles de criterios de remediación

Parámetro	Unidades	USO DE SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
Parámetros Generales					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Parámetros inorgánicos					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0,8
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2

Fuente: AM097-A:2015.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

1.9.4. Propiedades comerciales de cebolla de rama (*Allium fistulosum L.*)

En la tabla 11-1 se especifica las características ópticas comerciales según las recomendaciones técnicas para un cultivo en el departamento de Cundinamarca.

Tabla 11-1. Características comerciales de cebolla de rama

	Peso biomasa (kg)	Altura (cm/planta)	Diámetro (cm/planta)
<i>Allium fistulosum L.</i>	1,8 – 2,2	45	1,3

Fuente: Galindo, 2020.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

Para un mejor producto de cosecha el autor indica que un sistema productivo debe garantizar un ambiente seguro e higiénico, con el cumplimiento de las normas, evitando la manipulación de los productos que adjuntan enfermedades contagiosas y restringir el ingreso de animales domésticos a los espacios de cultivo. Se debe implementar un sistema de gestión para riesgos y peligros del proceso productivo, implicado el uso de carteleras e instructivos, botiquín, señalética, entre otros.

Las fases fisiológicas de la cebolla se observan en la figura 3-1 correspondiente en días y sus características principales (Galindo, 2020a, pp. 1-80).

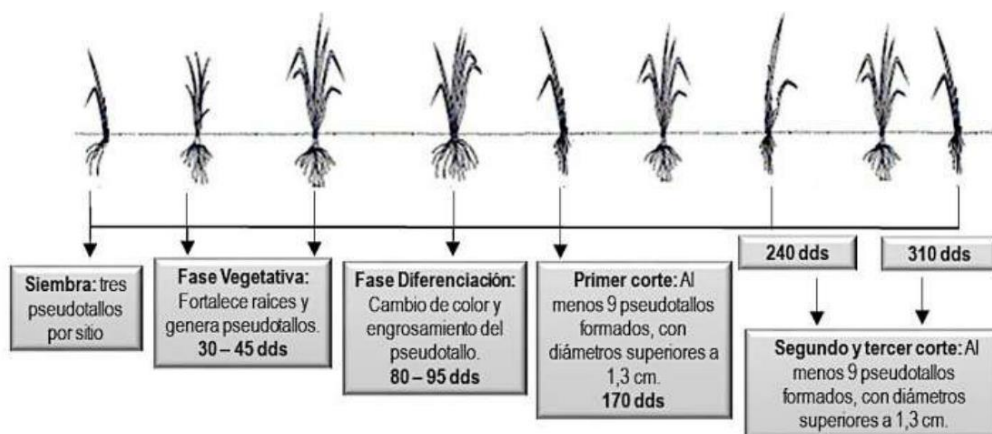


Figura 3-1. Determinación de densidad real.

Realizado por: Galindo, 2020, pp. 1-80.

El aporque se realiza la primera vez entre los 45 a 60 días, lo cual origina el alargamiento y macollamiento del pseudotallo, esto evita también que los pseudotallos se separen entre sí, mientras va ganando peso y diámetro (Galindo, 2020b, pp. 1-80).

1.9.5. Límites permisibles en raíces

En la tabla 12-1 se establecen los límites permisibles en los metales pesados (Cd y Pb) en las raíces vegetales según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN-CODEX 193:2013 con respecto a los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos.

Tabla 12-1. Límites permisibles para Cadmio y Plomo en raíces vegetales

Código de producto	Metal pesado	Nombre	Nivel mg/kg	Notas
VR 0075	Cadmio	Raíces y tubérculos	0,1	Excepto el apio y las patatas
VR 0075	Plomo	Raíces y tubérculos	0,1	Incluido las papas peladas

Fuente: NTE INEN-CODEX 193, 2013.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Materiales, equipos y reactivos

2.1.1. *Materiales*

- Equipo de bioseguridad (mandil, guantes, mascarilla)
- Espátula
- Vidrio reloj
- Probetas de 50 ml, 100 ml y 1000 ml
- Bureta graduada de 50 ml
- Varilla de agitación
- Vasos de precipitación
- Matraz de 100 ml, 125 ml y 150 ml
- Balones de aforo de 50 ml, 100 ml y 1000 ml
- Pipetas volumétricas de 1 ml, 2 ml, 5 ml y 10 ml
- Embudos de vidrio
- Micropipeta
- Tubos falcon de 50 ml
- Frascos para muestras de orina
- Gradillas
- Pissetas
- Papel filtro
- Crisoles

2.1.2. *Equipos*

- Balanza analítica RADWAG AS 2020.R2
- Balanza romana de resorte
- Balanza digital
- Espectrofotómetro visible HACH DR 2800
- pH metro GLP 22 Erison
- Estufa de secado Heraeus D-63450
- Centrífuga de tubos falcon

- Mufla MKLAB MFH-8
- Shaker PSU-10i
- Analizador elemental Eurovector EA3000
- Espectrofotómetro de absorción atómica por llama modelo iCE 3000 Series AA Spectrometer
- Generador de hidruros modelo VP100 Vapour System
- Espectrofotómetro UV-VIS Evolution 220
- Reverberos
- Baño María
- Microbalanza marca mettler toledo modelo wxt S3DU
- Multiparámetro Peak instruments S-620B
- Termohigrómetro
- Barreno
- Potenciómetro

2.1.3. *Reactivos*

- Agua destilada
- Agua ultrapura tipo 1
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)
- Anaranjado de metilo ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{SO}_3\text{Na}$)
- Cloruro de potasio (KCl)
- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Sulfanilamida ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$)
- Ácido nítrico concentrado (HNO_3)
- Sulfato cúprico (CuSO_4)
- Molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)
- Tartrato de antimonio y potasio ($\text{K}_2\text{Sb}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_{12} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$)
- Ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)
- Fosfato potásico (KPO_4H_2)
- Cloruro de sodio (NaCl)
- Ácido gálico ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$)
- Reactivo Folin – Ciocalteu

- Etanol (C₂H₅OH)

2.2. Técnicas y métodos

2.2.1. Localización del lugar de estudio

2.2.1.1. Descripción geográfica

La provincia de Pastaza se encuentra en la zona central de la región amazónica a 76° 40' y 78° 10' de longitud oeste y entre 1° 10' y 2° 35' de latitud sur. Los límites son, al norte: la provincia de Napo y Orellana, al este: la provincia de Morona Santiago, al oeste: la provincia de Tungurahua. La división política se divide en 4 cantones: Pastaza – Mera – Santa Clara – Arajuno y en 21 Parroquias: Puyo – Tarqui – Fátima – Teniente Hugo Ortiz – Diez de Agosto - El Triunfo – Veracruz – Pomona – Canelos – Simón Bolívar – Sarayacu – Montalvo – Rio Tigre – Rio Corrientes – Mera – Shell – Madre Tierra – Santa Clara – San José – Arajuno – Curaray (GADPPZ, 2009a, p. 1).

Los rangos de altitud es la mínima de 162 msnm ubicado al extremo este de la provincia y el máximo de 3194 msnm ubicado en el extremo Oeste de la provincia. Las temperaturas rodean entre 18° y 33° C, con una precipitación anual en un rango de 2000 y 4000 mm (GADPPZ, 2009b, p. 1).

La zona de estudio y experimentación (Estación Experimental Pastaza – ESPOCH), se encuentra en el cantón Pastaza en la parroquia Simón Bolívar.

2.2.1.2. Método de muestreo

El trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental ESPOCH, parroquia de Simón Bolívar, cantón Pastaza de la provincia de Pastaza, en donde se puso en estudio un suelo destinado a la siembra de pastizales como árboles de producción agrícola. El tamaño de la muestra se realizó en base a tres tratamientos: blanco de testigo (suelo So), suelo con fertilizante inorgánico y suelo con fertilizante tradicional (gallinaza), evaluados en un cultivo de ciclo corto (cebolla), con un total de tres muestras por tratamiento, y los análisis se realizaron por triplicado tanto en suelos como en biomasa vegetal.

El área se delimitó con estacas, piola y alambre de púas para evitar que los animales de granja ingresen a los sembríos. Para la primera toma de muestra se aplicó el método de tipo zig-zag en donde se estableció distancias uniformes en puntos equidistantes para divisar todo el terreno de estudio. Se tomaron sub-muestras significativas con ayuda de un barreno hasta formar una

muestra compuesta de aproximadamente 2 kg, se colocó en una funda ziploc con su nomenclatura y se homogenizó in situ (Anexo A, figuras 2, 3 y 4).

La recolección de muestras vegetales se tomó en el ciclo de cultivo en la etapa de cosecha con la precaución de no romper la raíz y tener mediciones exactas. Estas fueron trasladadas en fundas plásticas hacia el laboratorio para realizar sus pesajes, lavado y mediciones que implica los parámetros morfológicos del cultivo.

Para el registro de la humedad y temperatura se colocó un termohigrómetro en el predio el cual diariamente se registró en una ficha de muestreo, además que los datos de las precipitaciones se las obtuvo mediante una página web <http://tiempoytemperatura.es/ecuador/puyo.html#por-dias>.

2.2.1.3. Preparación de las muestras

Todas las muestras de suelo tuvieron un pre tratamiento para sus distintos análisis. Se empezó con el secado de las muestras tanto al aire libre y con la ayuda de una estufa hasta obtener un porcentaje de humedad constante (Anexo C, figura 13), al cabo de 24 horas a una temperatura de 60° C. Se pasó por un tamizado de malla de 2 mm para rescatar suelo de menor diámetro eliminando piedras y cascajos y así sea accesible su manejo en los análisis correspondientes (Anexo C, figura 15).

Para las muestras de biomasa vegetal de la cebolla se realizó cortes específicos, clasificándolas en parte aérea, comestible y raíz (Anexo C, figura 16). Se procedió a secar cada parte por separado hasta obtener un porcentaje de humedad constante (Anexo C, figura 17). Con la ayuda de fundas ziploc se logró un correcto etiquetado con sus distintos códigos para evitar confusiones, finalmente como último paso todas las muestras de biomasa vegetal secas, se las llevó a una molienda y a un triturado fino, los cuales quedaron aptos para sus posteriores análisis físico químicos y digestiones ácidas (Anexo C, figura 18).

2.2.2. Análisis físico químico del suelo

2.2.2.1. Determinación de la densidad real

Se pesó el matraz de aforo de 50 ml vacío previamente tarado y codificado (P1), luego con ayuda de un embudo pequeño se añadió 10 g de muestra seca al aire y se registró el peso del matraz más la muestra (P2), seguidamente se añadió agua destilada hasta la mitad de su capacidad lavando el suelo que haya quedado en el cuello del balón y se agitó por 5 minutos para eliminar el aire retenido en la muestra, a continuación se aforo el balón con agua destilada, se dejó reposar por 30 minutos a fin de asegurar la usencia de burbujas de aire que puedan afectar la medición, y se pesó

(P3), finalmente se lavó el matraz y se registró el último peso aforando el balón con agua destilada (P4) . Para calcular la densidad real se aplicó la siguiente fórmula (Andrades et al., 2015: pp.35- 36):

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



Figura 1-2. Determinación de densidad real.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.2. *Determinación de la densidad aparente*

Se pesó 30 g de muestra seca y con la ayuda de un embudo pequeño se colocó lentamente en una probeta de 50 ml, posteriormente en una superficie plana se midió el volumen que ocupa la muestra. Para calcular la densidad aparente se aplicó la siguiente fórmula (Andrades et al., 2015: pp.35- 36):

D_a (g/ml) = Peso del suelo seco / volumen de suelo que ocupa en la probeta.



Figura 2-2. Determinación de densidad aparente.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.3. Determinación de la textura

Se pesó 100 g de suelo seco y tamizado en un vaso de plástico grande previamente codificado, se agregó 10 ml del agente dispersante (solución de 20g de carbonato de sodio, 75 g de hexametáfosfato de sodio en 1,62 L de agua destilada), seguidamente se añadió 200 ml de agua destilada, se mezcló con una varilla de agitación por un minuto y se dejó reposar por 24 horas. Posteriormente todo el contenido se trasvasó a una probeta de 1000 ml lavando la superficie y paredes del vaso con chorros de agua destiladas para que no queden retenidas las partículas de suelo en el recipiente, posteriormente se aforo a 1000 mL, luego con ayuda de la palma de la mano se tapó la boca de la probeta y se agito vigorosamente la suspensión por un minuto, se colocó en una superficie plana y la misma vez que se sumergió el hidrómetro se corrió el cronómetro por 40 segundos para luego efectuar la primera lectura, posterior a ello se tomó la temperatura de la muestra y se registró el dato; para efectuar la segunda lectura, se dejó reposar la muestra por 2 horas y se sumergió nuevamente el hidrómetro y termómetro por 40 segundos. La textura se determinó haciendo uso del triángulo de textura con los % de arena, limo y arcilla. Los resultados fueron determinados con las siguientes fórmulas (Gupta et al., 2012, pp. 42-48):

- % Arena ($> 0,05$ mm) = $100 - ((\text{Primera lectura} / \text{g de muestra}) * 100)$
- % Arcilla ($< 0,002$ mm) = $(\text{Segunda lectura} / \text{g de muestra}) * 100$
- % Limo (0,002 - 0,05 mm) = $100 - (\% \text{ arena} + \% \text{ arcilla})$



Figura 3-2. Determinación de textura de suelo.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.4. Determinación del pH

Para la determinación de pH se pesó 20 g de suelo seco en vasos plásticos, se adicionó 50 ml de agua destilada (proporción 2:5), se agitó la solución durante dos minutos y se dejó reposar 30 minutos. Transcurrido el tiempo se midió el pH en el líquido sobrenadante y se anotó el valor obtenido; previamente a las mediciones de pH el equipo se calibró con las soluciones buffer de pH =4, pH =7 y pH =10. Entre las mediciones se limpió el electrodo y sensor de temperatura con agua destilada para evitar errores (Gupta et al., 2012, pp. 29-32).



Figura 4-2. Determinación de pH.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.5. Determinación de la conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica se midió en un multiparámetro, el cual se calibró con una solución estándar de KCl 0,01N. Para esta determinación se pesó 20g de muestra en vasos plásticos, se adicionó 40 ml de agua destilada (proporción 1:2), luego de esto, se agitó la solución durante 5 minutos, se dejó reposar 30 minutos, después se agitó nuevamente durante 10 minutos y se midió la CE en la solución acuosa (Gupta et al., 2012, pp. 26-29).



Figura 5-2. Determinación de conductividad eléctrica.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.6. *Determinación de materia orgánica*

El contenido de materia orgánica se determinó por el método de calcinación, para ello se codificó la base de los crisoles de 50 y 30 ml con lápiz grafito, se tararon a 105 °C por 2 horas y se pasaron al desecador por 30 minutos hasta alcanzar la temperatura ambiente, seguidamente se pesaron los crisoles y se registró el primer peso (m_1), luego se añadió 5 g de muestra secada en estufa a 105°C por 24 horas, y se registró el segundo peso (m_2), posteriormente las muestras fueron llevadas a la mufla a 430 °C por un tiempo mayor o igual a 16 horas para lograr la oxidación de los compuestos orgánicos, se dejó enfriar la mufla y con la ayuda de una pinza se colocó las muestras en el desecador por 30 minutos, finalmente los crisoles fueron pesados para registrar el último peso (m_3). Para calcular el % de MO se aplicó la siguiente fórmula (Gupta et al., 2012, pp. 35-38).

$$W_{pc} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1}$$



Figura 6-2. Determinación de materia orgánica.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.7. Digestión de muestras de suelo para la medición de fósforo (P) y potasio (K)

Se pesó 0,5g de la muestra de suelo seco y se transfirió a un matraz de 125 mL, luego se añadió con cuidado 10 mL de H_2SO_4 concentrado por las paredes del matraz, girándolo de tal manera que el ácido arrastre los restos de la muestra que pudieron quedar en las paredes del matraz. Se agitó hasta formar una mezcla uniforme y se dejó reposar por 10 minutos agitando en intervalos de 2 minutos. Se colocó un vidrio reloj sobre el matraz y este se calentó con ayuda de un reverbero y se reflujó hasta que el contenido tuvo una coloración amarillenta, posterior a esto se colocó 1 mL de peróxido de hidrógeno gota a gota por las paredes del matraz y se dejó reflujar hasta que el contenido fue transparente. Se retiró de la fuente de calor y se dejó enfriar, posterior a esto se añadió con cuidado 40 mL de agua destilada por las paredes del matraz y se dejó enfriar. Luego, se añadió dos gotas de indicador de fenolftaleína y se agregó una solución de Na(OH) al 0,5 hasta la formación de un color ligeramente rosado que persistió por unos 30 segundos, con el objetivo de neutralizar la muestra. Por último, el contenido del matraz se transfirió a un balón de 100 mL y se aforó, esta solución se conserva para realizar las determinaciones de P y K (Paneque, et al, 2010: pp. 65-66). Cabe mencionar, que todo este procedimiento fue desarrollado en una campana de extracción de gases.



Figura 7-2. Digestión de muestras de suelo para medición de fósforo (P) y potasio (K).

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.8. *Determinación de macronutrientes (Carbono y Nitrógeno)*

El equipo para determinar los macronutrientes es el ANALIZADOR ELEMENTAL DE COMBUSTIÓN DIRECTA marca EUROVECTOR EA3000 mediante la técnica establecida por el Laboratorio de Impactos y Protección Ambiental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, donde se secaron en una estufa a 105°C por 24 horas y se tamizó a la luz de una malla de 0,5 mm, a continuación en una cápsula de estaño de 9 x 5 mm se pesó 0,5 - 1,5 mg de muestra en un microbalanza marca METTLER TOLEDO MODELO WXT S3DU, posteriormente las muestras se encapsularon y se depositaron en el muestreador automático del equipo. Cabe recalcar que los pesos de las muestras fueron registrados para posteriormente introducir en el software.

La curva de calibración se realizó pesando y encapsulando 5 estándares (sustancia con composición definida) de sulfanilamida, los estándares se encontraban de igual forma en un peso similar a las muestras 0,5 – 1,5 mg. Se introdujo los estándares y las muestras a analizarse. El equipo analiza cada muestra en un tiempo aproximado de 10 minutos y refleja el resultado de cada análisis en porcentaje de cada elemento contenidos en la muestra.

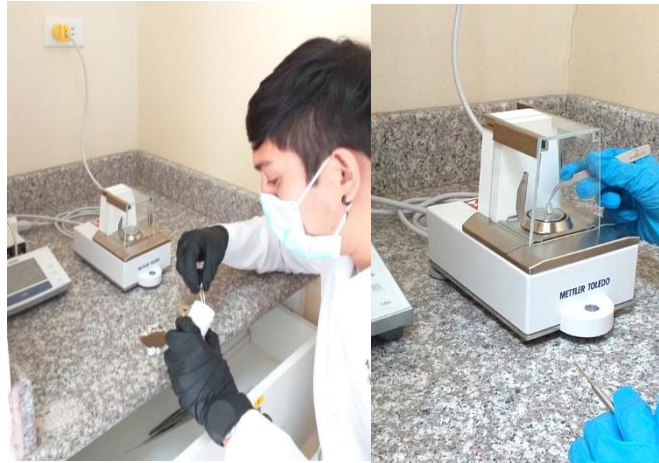


Figura 8-2. Determinación de Carbono y Nitrógeno.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.2.9. Digestión ácida por el método de calcinación por vía húmeda para la determinación de metales pesados

La técnica fue extraída por el laboratorio de Impactos y Protección Ambiental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

La digestión tiene como objetivo la eliminación de la materia orgánica de las muestras del suelo, y es un paso previo a la determinación de MP, para esto se pesó 1,00 g de suelo seco y debidamente tamizado. En un erlenmeyer de 100 ml rotulado debidamente con el código correspondiente y se procedió añadir 10 ml de HNO₃ concentrado, se mezcló y dejó reposar por 30 minutos, se tapó la boquilla con vidrios reloj para disminuir la eliminación de gases y se colocó en un reverbero a una temperatura que no supere los 83 °C, por 4 – 6 horas. Trascurrido este tiempo la muestra pasó de un color café a una tonalidad transparente, dando como concluida la digestión y por ende la eliminación de materia orgánica de la muestra.



Figura 9-2. Digestión de muestras de suelo.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

Una vez terminada la digestión, se dejó enfriar el erlenmeyer y se aforó con agua destilada en un balón de 50 ml, luego se filtró con la ayuda de papel filtro en un tubo falcon y se almacenó en refrigeración hasta su posterior análisis por EAA de llama.



Figura 10-2. Almacenamiento de muestras digeridas de suelo.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.3. *Análisis de biomasa*

2.2.3.1. *Determinación de pH*

Se pesó 3 g de muestra vegetal en un tubo falcon de 50 mL adicionando 30 mL de agua destilada en una relación 1:10, posteriormente se colocaron las muestras en el agitador por 2 horas. Culminado este tiempo se dejó reposar y se midió el pH en el líquido sobrenadante. Cabe recalcar que el pH-metro debe estar debidamente calibrado; por lo que se ocupó las soluciones buffer de pH=4, pH=7 y pH=10. Para cada muestra analizada se limpió el electrodo con abundante agua destilada para evitar errores por la cantidad excesiva de muestras (Gupta et al., 2012).

2.2.3.2. *Determinación de conductividad eléctrica*

Se midió en un multiparámetro, calibrado con una solución estándar de KCl 0,01 N. Se pesó 3 g de muestra en un tubo falcon de 50 ml adicionado agua destilada en una proporción 1:10, posteriormente se colocó en un agitador por 2 horas. Concluido con la agitación se centrifugaron por 4 min a 2000 rpm, se filtró las muestras y se hizo la medición en la solución acuosa (Gupta et al., 2012).



Figura 11-2. Determinación de pH y CE de biomasa.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.3.3. Digestión de biomasa para medición de K y P

Se pesó 0,5 g de la muestra vegetal seca pasando a un matraz de 125 ml, se añadió 12 ml de H_2SO_4 concentrado por las paredes del material, con el fin de arrastrar y dejar caer la muestra pegada en el matraz. Se agregó 0,18 g de $CuSO_4$ que actuó como catalizador en la reacción. Se mezcló hasta encontrar la uniformidad de la mezcla y se dejó reposar por 10 minutos agitando cada 2 minutos. Se colocó un vidrio reloj en la boquilla del matraz para evitar la evaporación agresiva de los gases y se calentó en un reverbero hasta que la muestra cambie de color a transparente o blanquecina determinando que la digestión a culminado. Se dejó enfriar y después se colocó 50 ml de agua destilada por las paredes del matraz, dejando enfriar. Posteriormente la muestra se traspasó a un balón de 100 ml aforando para luego filtrar el contenido y envasar. Esta muestra se la conserva en refrigeración para realizar las determinaciones de K y P (Paneque et al., 2010, pp. 65-66).



Figura 12-2. Digestión de muestras vegetales.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.3.4. Determinación de fósforo (P) en suelo y biomasa

Para la determinación de fósforo total se utilizó el método de espectrofotometría UV-Vis.

Se prepararon dos soluciones A y B; en la solución A se disolvieron 6g de molibdato de amonio en 20 mL de agua destilada, añadiendo así 0,145g de tartrato de antimonio y potasio agitando hasta la disolvencia total, después se agregó 70 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), dejando enfriando y diluyendo para luego aforar a 100 mL. En la preparación de la solución B se pesó 13,2g de ácido ascórbico diluyendo en agua destilada hasta llegar a un aforo de 100 mL de volumen. Para su almacenamiento deben permanecer en refrigeración.

Estas soluciones nos sirven para preparar la solución trabajo en donde se tomó 17,5 mL de la solución A, agregando 400 mL de agua destilada, se mezcló y finalmente se agregó 5 mL de la solución B aforando a un volumen de 500 mL. Cabe recalcar que dicha solución tiene una validez de 24 horas como máximo para su debida aplicación.

Se realizó una curva de calibración preparando una solución estándar de fosfato potásico, monobásico (KPO_4H_2) de 1000 ppm de P en un aforo de 500 mL a partir de esta concentración se preparó un patrón de 20 ppm de P aforado a 50 mL, la cual servirá para realizar 5 estándares a concentraciones: 0,1; 0,4; 0,8; 1,2 y 2 ppm; se tomó 5 mL de cada patrón y se agregó 5 mL de la solución trabajo agitando de 15 a 20 minutos, se midió en el equipo a una longitud de onda de 880 nm anotando la absorbancia para la construcción del gráfico.

Para cada muestra a analizarse se realizó una dilución de 10 mL de muestra con 20 mL de agua destilada para después con una solución de Hidróxido de sodio (NaOH) al 10% neutralizar su pH ácido con la ayuda de la medición constante del potenciómetro o pH-metro y aforar cada muestra a 100 mL. Finalmente se tomó 5 mL de las muestras digestadas y ahora neutralizadas agregando 5 mL de la solución trabajo. Transcurrido el tiempo de reacción (15 minutos) se procedió a leer las muestras en el espectrofotómetro de uv-vis y se registró el resultado en mg/kg. Cabe mencionar que las muestras que tenían un color más fuerte (azul oscuro) después de la reacción se las sometió a diluciones para entrar en el rango de la curva y puedan ser leídas.



Figura 13-2. Determinación de fósforo en equipo de espectroscopía uv-vis.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.



Figura 14-2. Estándares para curva de calibración de fósforo.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

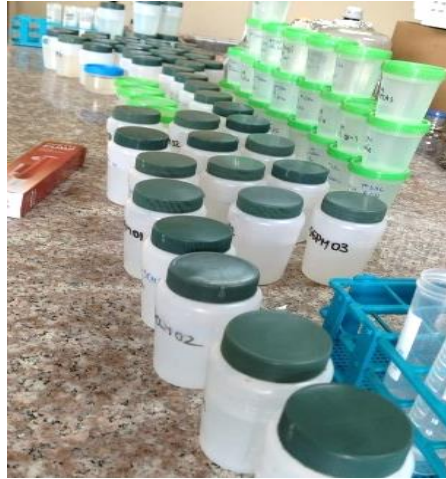


Figura 15-2. Muestras de suelo y biomasa para análisis de fósforo.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.3.5. Determinación de potasio (K) en suelo y biomasa

Se determinó la curva de calibración en el equipo para medir K, mediante espectroscopía de absorción atómica (EAA) por llama, para lo cual se preparó una solución de 20 ppm de K a partir de KCl. De dicha solución se prepararon 5 estándares de: 0,4; 0,8; 1,6; 2 y 4 ppm, para determinar la curva de calibración que se midió desde menor concentración a mayor. Se utilizó agua destilada como “blanco”; mencionando que debe ser el mismo tipo de agua que se ocupó en la preparación de los estándares. Se realizaron diluciones de las muestras a analizarse por su alto nivel de K, llegando unas muestras a sobre pasar los 100 factores de dilución para su detección en el equipo. Se llevó las muestras digeridas y diluidas al fotómetro de llama para el análisis y se guardó las señales producidas para posteriormente realizar los cálculos de %K.



Figura 16-2. Determinación de K en muestras de suelo y biomasa.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.4. Análisis de gallinaza

2.2.4.1. Determinación de aniones

- Determinación de cloruros

Las muestras pretratadas son recogidas para analizar la concentración del ion cloruro soluble en agua contenido en suelos. Para determinar el blanco del indicador se preparó con 50 ml de agua destilada, utilizada para la preparación de la muestra en un matraz Erlenmeyer. Se verificó el pH que esté en un rango de 6 a 8, si el pH estaba debajo de 6 se agregaba bicarbonato de sodio para ajustar, si estaba por encima de 8 se añadía ácido nítrico para ajustar al rango deseado.

Se añadió 1 ml de solución indicadora de cromato de potasio, realizando la titulación con la solución de nitrato de plata hasta que nos cambie de coloración amarillo a rojo y se procedió a registrar el volumen de AgNO_3 como el blanco de ensayo.

Para la estandarización de la solución de AgNO_3 , se pesó 0,330 g de cristal de NaCl, disolviendo y mezclando en 200 ml de agua destilada. Se pipeteó una alícuota de 10 ml de solución de NaCl para estandarización de AgNO_3 y se diluyó a 50 ml de agua destilada. Para las concentraciones más altas se utilizó una alícuota de 50 ml de solución de NaCl para estandarizar AgNO_3 (2 mg Cl^- /ml). Se diluyó a 100 ml con agua destilada, se utilizó 100 ml de solución de NaCl para estandarizar la solución de AgNO_3 más concentrada (5 mg Cl^- /ml).

Se añadió 1 ml de solución indicadora al 5% y se tituló AgNO_3 hasta la aparición del color, esto se realizó por duplicado.

Para el procedimiento de ensayo se pesó 10 g de muestra preparada en una placa Petri, llevándola a una estufa por 3 horas a 110 °C. Después se pesó 100 g de muestra preparada en un recipiente de plástico, se vertió en el vaso de precipitado de 500 ml agregando 300 ml de agua destilada, se agitó vigorosamente por 20 s, se tapó y dejó reposar por una hora, se volvió a agitar antes de filtrar. Posteriormente se recogió el extracto en un Kitasato, se verificó el pH y se realizó un ensayo cualitativo en un tubo de ensayo para determinar el tamaño de alícuota. Se utilizó la misma regla sobre el rango del pH, se pipeteó una alícuota en función del ensayo cualitativo en el matraz de 100 ml y se aforó a 50 ml con agua destilada. Luego se añadió 1 ml de cromato de potasio, se tituló con nitrato de plata hasta el viraje de amarillo a rojo. Si la titulación consumía más de 30 ml se tomaba un alícuota menor y se repetía el proceso. Finalmente se registró el volumen de AgNO_3 empelado hasta llegar al punto final.

Para calcular el contenido de ion cloruro de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$ppm = \frac{ml \text{ AgNO}_3 \text{ utilizando} - B * T * 1000}{M} * D$$

Donde:

T: título, mg Cl⁻/ml de AgNO₃

B: consumo del blanco del indicador

M: gramos de la muestra de suelo titulada

$$\frac{100 \text{ g muestra}}{S} = \frac{300 \text{ ml de agua}}{50 \text{ ml de alícuota}}$$

S: 16,67 g

D: factor de dilución

- Determinación de sulfatos

Por el método gravimétrico en el ensayo se pesó 10 g de muestra preparada en una placa petri llevándola a una estufa por 3 horas a 100 °C. Se pesó 100g de muestra preparada en un recipiente plástico y se vertió en un vaso de precipitado de 500 ml agregando 300 ml de agua destilada agitando por 20 s, se tapó y se dejó reposar por una hora. Se volvió a agitar antes de filtrar. El extracto recogido se pipeteó 60 ml en un vaso de 250 ml, posteriormente se calentó la solución acidificada a ebullición y lentamente se añadió 5 ml de solución caliente de BaCl₂ agitando bien. Se mantuvo la temperatura por debajo del punto de ebullición hasta que el líquido comenzó a clarificarse y los precipitados a sedimentarse completamente. Finalmente se filtró la suspensión de BaSO₄ sobre un papel filtro, se libró la ceniza y se lavó el precipitado con agua caliente hasta que se encuentre libre de cloruros. Se colocó el papel filtro y contenidos en un crisol de porcelana previamente tarado y se procedió a carbonizar lentamente hasta consumir el papel sin dejar arder, esto se lo realizó a 800 °C por una hora.

Para calcular la concentración del ion sulfato se ocupó la siguiente ecuación:

$$\text{Sulfato} \frac{\text{mg}}{\text{kg}} = \frac{W * 411500}{S}$$

Donde:

W: gramos de BaSO₄

S: gramos de muestra utilizada

- Determinación de fosfatos

Se ocupó el método de adiciones estándar. Para ello se pasaron 4 alícuotas del mismo volumen de muestra problema en matraces de 25 mL. A 3 de esos matraces se les añadió cantidades crecientes de la disolución de trabajo. A continuación, se agregaron 10 ml de la disolución de vanado-molibdato y se enrazó con agua destilada. Se dejó reposar por 10 minutos. Posteriormente se calculó las alícuotas de la muestra problema y las adiciones de forma que la concentración estimada de fosfato no exceda de 20 mg/l. Las medidas de absorbancias son: Poner a cero el espectrofotómetro y medir la absorbancia a 420 nm de cada muestra. Construir la curva de calibración con los estándares y se determinó la concentración de fosfatos. Cabe recalcar que se aplicó el factor de dilución correspondiente.

- Determinación de nitratos

Para extraer el nitrato (NO_3^-) intercambiable en el suelo, se empleó una solución de potasio 1 M, en este extracto se puede determinar el nitrato colorimétricamente.

Se procedió a pesar 10 g de suelo, agregando 25 ml de 1 M de KCl, se agitó durante 5 minutos en un agitador magnético, posteriormente se filtró en balones de 100 ml lavando el suelo cinco veces con porciones de 10 ml del KCl, se completó el volumen y se mezcló bien.

Para la solución necesaria se preparó en un recipiente volumétrico de 1 L, pese 1,214 g de NaNO_3 y 1,528 g de NH_4Cl se disolvió 500 ml de agua destilada, se completó el volumen y se mezcló. Esta solución contenía 400 $\mu\text{g/ml}$ de N- NO_3 .

Los estándares fueron a concentraciones de 1, 2, 3, 4 $\mu\text{g/ml}$ con alícuotas de 5, 10, 15, 20 ml respectivamente.

Los patrones y muestras se presentaron al sistema bajo los ajustes de tiempo de toma de muestra de 60 segundos, tiempo de lavado de 60 segundos, tiempo para aire de 1 segundo, registrador de 200 mv y tiempo de estabilización de 15 minutos, la sensibilidad del patrón más concentrada (10 ppm N) es 500 unidades de absorción.

Cabe recalcar que el principio consiste en que el método es automatizado y el nitrato se determinó en el extracto (KCl 1M) después de una reducción a nitrito (NO_2^-). Se pasa el extracto a través de una columna que contiene limaduras de cobre/cadmio. El nitrito se determinó por la reacción de Griess-Ilosvay en el cual el nitrito reacciona con sulfanilamida formando una sal diazo que luego es enlazada con N^{-1} naftilendiamino para formar un compuesto azo con el color rosa.

2.2.4.2. Determinación de polifenoles solubles

La determinación de polifenoles solubles se realizó mediante la metodología brindada por el laboratorio de Impactos y Protección Ambiental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Se pesaron 2 g en un tubo falcon del residuo seco y homogenizado añadiendo 40 ml de agua destilada en proporción 1:20 y se agitó durante 2 horas. Posteriormente se centrifuga a 3000 rpm por 5 minutos. Este extracto servirá para determinar los polifenoles solubles, en donde se cogió 0,25 ml del extracto de la muestra y se aforó a 50 ml en un balón de aforo.

Para realizar la curva de calibración se pesó 1 g de ácido gálico y se llevó a 1 L con agua destilada en un matraz aforado. Esta solución contenía 1000 ppm de ácido gálico. De esta disolución se preparó 60 ppm, con 6 ml de la disolución y se aforó a 100 ml con agua desionizada. Se preparó 5 estándares en matraces aforados de 50 ml, tomando 1, 2, 3, 4 y 5 ml respectivamente y se adicionó 2,5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu. Se homogenizó agitando y después de 3 minutos se añadió 5 ml de una solución acuosa de carbonato sódico al 20%, se movió para eliminar las burbujas generadas y se lleva al aforo con agua destilada. Los estándares tuvieron: 0; 1,2; 2,4; 3,6; 4,8; y 6 ppm de ácido gálico a la vez que se procedió a preparar las muestras problema tomando 0,25 ml de muestra y se aforó en un balón de 50 ml.

Se midió la absorbancia de los patrones y se realizó la curva de calibración con un R^2 de 1,000. Se midió la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm, se calculó la concentración de polifenoles respecto a la recta patrón.

Fórmula para determinar la concentración:

$$\text{Conc} = \text{Abs} * \text{pendiente curva}$$

Cálculo del factor de dilución:

$$\frac{\text{Volumen de extracción (40)}}{\text{Relación muestra (2)}} * \frac{\text{Volumen de enrase (50)}}{\text{Volumen de extracto (0,25)}}$$

Fórmula con factor de dilución:

$$\frac{\text{mg de ácido gálico}}{\text{kg de muestra}} = \frac{\text{Conc} * \text{factor de dilución}}{\text{peso de muestra}}$$



Figura 17-2. Preparación de extractos de enmiendas.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.



Figura 18-2. Determinación de polifenoles solubles.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.4.3. Índice de germinación

La metodología para determinar el índice de germinación fue proporcionada por el laboratorio de Impactos y Protección Ambiental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Se determinó a partir de los porcentajes de semillas germinadas y la longitud de las raíces de semillas de *Lepidium sativum L.*, incubadas sobre un extracto acuoso de gallinaza (Zucconi et al., 1981, pp. 54-57).

Se humedeció el material hasta alcanzar un 60% de humedad y se dejó 30 minutos en reposo. Se procedió a añadir 13,5 ml de agua destilada por gramo de muestra seca para diluir el extracto anterior hasta el 10% y se filtró en un diámetro de poro de 0,45 μm para limpiar el extracto.

Se añadió 1 ml del extracto acuoso en placas petri de 10 cm de diámetro, cubriéndolas con papel filtro y con 8 semillas de *Lepidium sativum* L., se hizo 10 repeticiones. Las semillas se encubaron a 27 °C durante 48 horas en oscuridad. Posteriormente de haber pasado el tiempo se añadió 1 ml de etanol al 50% para parar el crecimiento de las raíces. Se contó el número de semillas germinadas y se midió la longitud de las raíces por placa. Se expresaron ambas en porcentaje respecto del control, hecho con agua destilada.

Los resultados fueron expresados como índice de germinación (IG), obtenido al multiplicar el porcentaje de germinación (G) por el porcentaje de crecimiento de las raíces (L) y dividir por cien.

$$IG = \frac{(\%G)(\%L)}{100}$$



Figura 19-2. Inicio de índice de germinación en gallinaza.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.



Figura 20-2. Final de índice de germinación en gallinaza.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.5. Análisis de agua de riego

2.2.5.1. Determinación de pH y conductividad eléctrica

La determinación de pH y conductividad eléctrica fue medida por un multiparámetro, el cual fue calibrado con una solución estándar de KCl 0,01 N. Para esta determinación se colocó la muestra de agua de riego en 3 vasos plásticos para obtener el valor por triplicado, posteriormente se agitó las muestras mediante el cátodo se midió el pH, se dejó reposar y después de 30 minutos se volvió a agitar para medir la CE en la solución de agua de riego.



Figura 21-2. Determinación de pH y CE en muestra de agua de riego.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.5.2. Determinación de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos

Se ocupó el método de titulación el cual se basa en que los iones hidroxilos presentes en la muestra de agua como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de ácidos estándar. Por lo que la alcalinidad depende del pH del punto final utilizado.

Se determinó la alcalinidad con una solución estándar de un ácido mineral fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia de bicarbonato y el ácido carbónico. Esta titulación se efectuó a temperatura ambiente con indicadores coloreados, el cual se preparó y tituló un blanco del indicador.

Se utilizó el volumen de reactivo suficiente (20 ml o más de una bureta de 50 ml) para obtener una precisión volumétrica relativamente buena, para permitir puntos terminales netos. El volumen que se tomó no consumió más de 25 ml de la solución titulante. Se ajustó la temperatura ambiente. Se tomó con una probeta graduada el volumen de muestra seleccionada y se descargó en un erlenmeyer de 250 ml. Posteriormente se añadió 3 gotas del indicador fenolftaleína y se mezcló suavemente. Cabe recalcar que si no apareció ningún color la alcalinidad a la fenolftaleína es cero;

si aparece un color rosado o violeta se titula con ácido 0,02 N titulando hasta que la muestra se torne incoloro. Y se registró como alcalinidad P.

Se adicionó a la muestra 3 gotas de indicador naranja de metilo, lo que da un color amarillo y se continuó agregando ácido hasta el viraje del indicador a un color rojo salmón. El pH en este punto se aproximó a 4,5. Se anotó el volumen total de ácido gastado como T y si al adicionar fenolftaleína la muestra no cambió de color es porque el pH es menor que 8,3 (González, 2015, pp. 51-53).

$$\frac{mg\ HCO_3}{L} = \frac{ml\ muestra * N * 50 * 1000}{ml\ mezcla}$$

Cabe recalcar que por el pH 6 de la muestra de agua de riego, no existe CO_3 y OH^- ya que el pH debe ser mayor a 8,3 para que sea una muestra de agua alcalina.



Figura 22-2. Determinación de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.6. Determinación de metales pesados por Espectrofotometría de Absorción atómica por llama

Las metodologías para la determinación de metales pesados fueron proporcionadas por el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Los estándares manipulados en la medición fueron de la MARCA SIGMA-ALDRICH.



Figura 23-2. Espectrofotómetro de absorción atómica por llama.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

2.2.6.1. Determinación de Cadmio

A partir del estándar de cadmio de 1000 ppm (mg/L) se preparó la solución madre de 2 ppm aforado en un balón de 100 ml, posteriormente se tomaron alícuotas de 0,5; 1; 1,5; 2,5 y 5 ml para enrazar a 50 ml obteniendo estándares de 0,02; 0,04; 0,06; 0,1 y 0,2 ppm (mg/L).

Los estándares de cadmio se prepararon en balones de aforo con una solución de ácido nítrico al 10%, en donde se colocaron las alícuotas de cadmio desde menor concentración a mayor.

Se colocó la lámpara de cátodo hueco de cadmio, abriendo la válvula de gases aire-acetileno y se estableció la longitud de onda de 228,8 nm, se absorbió el blanco de agua tipo I y los estándares de menor concentración a mayor hasta obtener la curva de calibración con r^2 mayor a 0,996. Después de lograr la mejor curva de calibración se hizo correr las muestras de suelo (S0, S1 y S2), de la cosecha de cebolla (raíz y parte aérea). Por cada 20 muestras analizadas se ingresó una lectura de un estándar para garantizar la fiabilidad de las absorbancias.

2.2.6.2. Determinación de Mercurio

Para la determinación de mercurio en las muestras se ocupó un generador de hidruros con la técnica de vapor frío, para lo cual se prepararon dos soluciones necesarias en el proceso: 1 L de H_2SO_4 al 10% (100 ml de ácido aforado en 1000 ml de H_2O tipo I) y una solución de 0,6% de boro hidruro de sodio ($NaBH_4$) con 0,5% de hidróxido de sodio ($NaOH$) aforado en un balón de 1000 ml.

A partir del estándar de mercurio de 1000 ppm (mg/L) se preparó una solución madre de 1 ppm o 1000 ppb aforado en un balón de 100 ml, posteriormente de esta solución se realizaron los estándares con alícuotas de 0,5; 1; 2; 3 y 4 ml depositados en balones de 100 ml para las

concentraciones de 5; 10; 20; 30 y 40 ppb respectivamente aforados con ácido nítrico al 10%. Para el funcionamiento del generador de hidruros fue necesario la solución de boro hidruro de sodio con hidróxido de sodio y la solución de H_2SO_4 al 10%.

El proceso para el análisis de mercurio fue: encender el equipo de EAA con su ordenador, colocar las soluciones antes mencionadas en los reservorios del generador de hidruros, posteriormente se colocó la lámpara de cátodo hueco de mercurio, se dio paso al gas de argón y se estableció la longitud de onda de 253,7 nm, luego se corrió el blanco de agua tipo I y los 5 estándares desde la concentración menor a la mayor hasta obtener la mejor curva de calibración mayor a 0,996. Y finalmente se corrieron tanto las muestras de suelo (S0, S1 y S2), y de la cosecha de cebolla (raíz y parte aérea). Cabe recalcar que cada 20 muestras analizadas por el equipo se leyó un estándar para garantizar la fiabilidad de las absorbancias.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados del diseño experimental

La experimentación se realizó mediante un cultivo de ciclo corto de cebolla de la zona de estudio, enfocados en tres tratamientos diferentes, véase en la tabla 1-3. Para ello se utilizó una codificación para cada tratamiento por triplicado, indicado en la tabla 2-3.

Tabla 1-3. Tipos de tratamiento para cultivos de cebolla

Características del suelo	Cultivo propio de la zona
	Cebolla
Suelo convencional (gallinaza)	X
Solo suelo	X
Suelo con fertilizante	X

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2021.

Tabla 2-3. Codificación y descripción de cada tratamiento según su réplica

Código	Descripción
SGCP-01	Suelo/ con gallinaza/ cebolla/ Puyo/ primera réplica
SGCP-02	Suelo/ con gallinaza/ cebolla/ Puyo/ segunda réplica
SGCP-03	Suelo/ con gallinaza/ cebolla/ Puyo/ tercera réplica
SCP-01	Suelo/ cebolla/ Puyo/ primera réplica
SCP-02	Suelo/ cebolla/ Puyo/ segunda réplica
SCP-03	Suelo/ cebolla/ Puyo/ tercera réplica
SFCP-01	Suelo/ con fertilizante/ cebolla/ Puyo/ primera réplica
SFCP-02	Suelo/ con fertilizante/ cebolla/ Puyo/ segunda réplica
SFCP-03	Suelo/ con fertilizante/ cebolla/ Puyo/ tercera réplica

S= Control sin ningún tipo de fertilización (Solo suelo), F= Fertilización inorgánica [103010 (10N; 30 P₂O₅; 10 K₂O) + Urea (46%)], G= Fertilizante orgánico tradicional (gallinaza)

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

3.1.1. Distribución de las parcelas

La preparación de las parcelas, mediante triplicado dio un total de 9 parcelas, las cuales estuvieron dimensionadas a 6 m² (2m x 3m) cada una. Separadas en todo su entorno por una banda de terreno sin cultivar de 2 m. En cada parcela se realizó tres caballones de 3 m de longitud, dispuestos

longitudinalmente y con una separación de 50 cm entre ellos, véase en el Anexo B, figura 9. La localización de las parcelas fue distribuida aleatoriamente para reducir los factores externos; estipulado en la tabla 3-3.

Tabla 3-3. Codificación y descripción de cada tratamiento según su réplica

SGCP-02	SFCP-03	SCP-03
SCP-01	SGCP-03	SFCP-02
SGCP-01	SFCP-01	SCP-02

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

3.1.2. *Dosificación de tratamientos*

Al momento de haber realizado los respectivos análisis de contenido de materia orgánica en el suelo inicial que fue de 4,55 %. Se adicionó fertilizantes en función del nitrógeno, los requerimientos de la cebolla fueron de 135,5 kg N/ha equivalente a 13,5 g/m² (Sierra, A., 2007).

3.1.2.1. *Dosis de gallinaza y fertilizante inorgánico*

La dosificación fue realizada en función del N requerido por los cultivos véase el anexo B, figura 8, en donde:

- Gallinaza: 4,452 kg por parcela
- Fertilizantes inorgánicos: 0,127 Kg de urea (46:00:00) + 0,224 Kg de 10:30:10+ 0,075Kg de K₂O (00:00:60) por parcela

3.1.2.2. *Fertilizante inorgánico*

La dosis de aplicación de la fertilización inorgánica se realizó a partir de diferentes fertilizantes que cubrieron las necesidades requeridas de nitrógeno, fósforo y potasio para los dos cultivos de estudio. Se adicionó en una sola dosis al inicio del cultivo, cabe recalcar que no se superó la dosis de nitrógeno inicial establecido para los cultivos de 135,5 kg N/ha. Los fertilizantes inorgánicos que se emplearon fueron:

- 103010 (10N; 30 de P₂O₅; 10 K₂O)
- urea (46%)

En la tabla 4-3 se especifica la cantidad de enmienda orgánica seca y fertilizante que se aplicó por cada parcela.

Tabla 4-3. Cantidad de enmienda orgánica seca y fertilizante aplicado

Tratamiento	Cantidad en Kg
SGCP	G: 4,452 Kg
SCP	-
SFCP	F: 0,127 Kg de urea (46:00:00) + 0,224 Kg de 10:30:10+ 0,075Kg de K ₂ O (00:00:60)

G= Gallinaza, F= Fertilización inorgánica.

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

3.1.3. *Plantación*

El marco de plantación es 5.000 plantas/ha. Por lo que 12 plantas/caballón x 3 caballones/ parcela = 36 plantas/parcela x 9 parcelas = 324 plantas sembradas en todas las parcelas de experimentación. Anexo B, figura 10.

Se plantó un total de:

- Cebolla: 324 plantas de cebolla

3.1.4. *Riego*

El riego se realizó con agua habitualmente empleado para prácticas agrícolas, asegurándonos que no existan arrastres de sales, materia orgánica soluble, etc. En este paso por la zona de estudio los cultivos estuvieron inmersos a la misma agua lluvia, sabiendo que las precipitaciones en la amazonía son altas. Se tomaron muestras de agua de riego para sus respectivos análisis, los cuales se indican a continuación en la tabla 5-3.

Tabla 5-3. Análisis de agua de riego

Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µs/cm)	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	OH ⁻
15,56	6,57	12,06	-	20,83	-

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

La alcalinidad en la mayor parte de aguas naturales superficiales está determinada principalmente por el sistema carbonato, es decir CO₃⁻², HCO₃⁻, OH⁻, H⁺.

Se tiene en cuenta que la calidad del agua suele impactar el pH debido a la alta o baja alcalinidad, el bicarbonato analizado no supera los 207 ppm para que pueda existir una relación con Mg o Ca y el agua se torne alcalina, por lo que el pH analizado oscila en 6,57 siendo moderadamente ácida cercano a la neutralidad. La conductividad de agua de riego ideal debe superar los 0,8 mmhos/cm,

por lo que está por muy debajo del valor con 12,06 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y finalmente la toma de agua no contiene carbonatos y grupos hidroxilos, esto se debe a que el agua es de lluvia y no existe el corrido superficial por el suelo para la toma de muestra.

3.1.5. Control de plagas y fortalecimiento de las plantas

Se empleó plaguicidas y fertilizantes comerciales, usados con gran periodicidad en la zona para los dos cultivos de experimentación Anexo B, figura 11, los cuales fueron:

- Xilotrón (2,5 ml en 6 L) (fortalecimiento de la planta)
- Ranking + Clorpilaq (fungicida e insecticida)
- Karate Zeon (2 ml en 1 L) (insecticida)
- Evergreen (fertilizante foliar)

3.1.1. Muestreos

3.1.1.1. Muestreo de suelo

Se muestreó tres veces en toda la experimentación, la primera fue una muestra compuesta cuando el suelo aún no se encontraba sembrado ni dosificado la cual sirvió para determinar la cantidad de porcentaje de materia orgánica, la muestra dos se la realizó después de que las parcelas fueron dosificadas, la muestra tres se realizó después de la primera cosecha, siguiendo los criterios de toma de muestras especificado en la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, la cual se procedió a tomar las muestras con la ayuda de un barreno limpio, libre de óxido y cualquier contaminante químico tomado de manera al azar que consiste en tomar sub muestras de todo el campo a muestrear, obteniendo una muestra en conjunto o compuesta de aproximadamente 1 kg, que sigue un camino en zig.zag.

El lugar se raspó superficialmente y se limpió el resto vegetal, pero sin la eliminación del suelo, y con ayuda del barreno se obtuvieron muestras de igual volumen y profundidad, se introdujo de forma vertical en los puntos escogidos y a la altura recomendada de 0 a 30 cm Anexo A, figura 2. Estas muestras fueron empacadas y rotuladas según sus códigos en fundas ziploc y llevadas al laboratorio para sus respectivos análisis. Anexo A, figura 3 y 4.

3.1.1.2. Muestreo de plantas

Para el muestreo de biomasa vegetal se utilizó bolsas plásticas con su respectiva rotulación. Se sacó las plantas de cada caballón sin dañar por cada tratamiento triplicado, se pesó las plantas de cada caballón todas juntas obteniendo 3 pesos por repetición en un total de 9 pesos por

tratamiento, se contaron las plantas por caballón, se escogieron 3 muestras al azar en total 81 plantas. La distribución fue de 3 plantas por cada caballón en las fundas rotuladas. Anexo A, figura 5.

3.1.1.3. Muestreo de agua

Se rotularon los frascos con su código, fecha y la hora exacta en que se tomó la muestra. Se enjuagó 3 veces el frasco antes de tomar la muestra, tapado bajo el agua hasta una capacidad de $\frac{3}{4}$ de su capacidad, llevando a la nevera hasta su transporte al laboratorio para sus respectivos análisis de aguas.

3.1.2. Datos climatológicos

En la tabla 6-3 se muestran las mediciones de temperatura, humedad y precipitación de la zona de experimentación de los meses empleados en la parte experimental.

Tabla 6-3. Datos climatológicos durante la experimentación

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (mm)
23/1/2021 – 26/8/2021	24,2	74,7	1967,1

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

Los niveles de humedad se han mantenido en el rango de 50% a 99%, debido a la zona con sus normales características de precipitaciones altas, por lo que el suelo de experimentación se mantuvo húmedo y favoreció en el crecimiento de los cultivos, la temperatura osciló entre 21 a 25°C, prestándose para un crecimiento óptimo.

3.2. Resultados de análisis físico químicos del suelo

En la tabla 7-3 se identifica las características físico químicas de las muestras iniciales del suelo (S0).

Tabla 7-3. Resultados de análisis físico químicos de muestras de suelo S0

Muestra	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	MO (%)	Dr (g/cm^3)	Da (g/cm^3)	Textura
S0	5,36	79,23	55,00	1,580	0,68	Arenosa
S0	5,39	77,87	59,00	1,326	0,71	Arenosa
S0	5,14	75,56	55,00	1,538	0,71	Arenosa

x-med	5,30	77,55	56,33	1,481	0,70	Arenosa
--------------	------	-------	-------	-------	------	---------

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

S0= Muestra de suelo inicial en Puyo, **pH**= Potencial de hidrógeno, **CE**= Conductividad eléctrica, **MO**= Porcentaje de materia orgánica, **Dr**= Densidad real, **Da**= Densidad aparente.

Los valores determinados del suelo inicial de experimentación sirvieron para un mejor entendimiento de las condiciones en las que se encontraba el suelo en estudio. Se realizaron tres muestreos y la determinación por triplicado, para lo cual se determinó la media de las tres.

El pH fue de 5,30 lo que significa que era un suelo ligeramente ácido; la conductividad eléctrica de 77,55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo cual entra en el rango según la legislación de suelos de calidad (límite permisible 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$); el porcentaje de materia orgánica es esencial para comprender el flujo de carbono y nitrógeno en el suelo, la cual en este suelo posee el 56,33 % además que se habla de una textura de suelo arenoso. (Jenkinson, 1988, citado en: Matus et al., 2000) señala que “los suelos arcillosos retienen más materia orgánica que suelos arenosos, a pesar de haber sido sometidos al mismo aporte de materia orgánica”. La densidad real es de 1,481 g/cm^3 y la densidad aparente de 0,70 g/cm^3 . la densidad aparente se encuentra en el rango de suelos orgánicos ricos en humus (0,8 a 0,9 g/cm^3), la densidad real se encuentra bajo los valores normal de un suelo orgánico o arenoso (2,4 g/cm^3 o menor hasta 1,50 g/cm^3).

En la tabla 8-3 se visualizan los resultados obtenidos de análisis físico químicos en las muestras del suelo.

Tabla 8-3. Resultado de análisis físico-químicos de suelo S1 y S2

Tratamiento	pH		CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		MO (%)	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
SCP	5,75 a	4,49 a	140,61 a	431,11 a	65,7 b	47,7 a
SFCP	6,17 b	4,93 ab	753,83 c	198,89 a	65,3 b	54,0 a
SGCP	6,06 ab	5,29 b	456,33 b	440,44 a	58,0 a	55,3 a
F-ANOVA						
Tratamiento	5,649 *	10,288 *	17,155 **	3,529 NS	11,523 **	0,314 NS
Muestreo	51,206 ***		0,408 NS		6,804 *	

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

SCP= Suelo sin tratamiento con cebolla en Puyo, **SFCP**= Suelo con fertilizante inorgánico en cebolla en Puyo, **SGCP**= Suelo con gallinaza en cebolla en Puyo, **pH**= Potencial del hidrógeno, **CE**= Conductividad eléctrica, **MO**= Materia orgánica. **S1**= Suelo antes de la siembra, **S2**= Suelo después de la cosecha.

*** Diferencia significativa con un 99,9 % de confiabilidad

** Diferencia significativa con un 99 % de confiabilidad

* Diferencia significativa con un 95 % de confiabilidad

NS Diferencia no significativa

Los resultados obtenidos en las tablas se realizaron mediante el software SPSS 22. Las pruebas estadísticas aplicadas fueron el análisis de varianza ANOVA para determinar las diferencias entre las medias de cada muestra para una variable y tratamiento correspondiente, seguido por la prueba de Tukey-b para determinar los subconjuntos homogéneos.

3.2.1. *Potencial de hidrógeno*

La aplicación de fertilizante inorgánico y de gallinaza al suelo provoca un incremento en el pH del suelo en comparación con el suelo inicial sin tratamiento (S0) (Tabla 7-3). Después de la cosecha los suelos presentan valores de pH más bajos posiblemente debido a que los suelos fertilizados con urea y fertilizantes complejos (NPK) por lo general son ácidos o neutros, dependiendo de las materias activas de su composición química, además los autores señalan que la urea es uno de los principales fertilizantes comerciales que tienen acción acidificante (Ginés y Mariscal, 2002, pp. 1-9). (González et al., 2003, pp. 373 - 378) también observó una disminución del pH en el suelo sometidos a abonos NPK, el efecto de acidez se contrarrestó en gran medida con una mayor participación de bases y materia orgánica de biomasa producida. La disminución del pH en los tratamientos SCP y SFCP tienen un rango de 4,49 a 4,93; excepto el tratamiento con gallinaza de 5,29 probablemente debido a la dosificación con gallinaza que son utilizados continuamente para enmendar la acidificación producida por productos con amonio (PRIICA, 2016, p. 60). Cabe recalcar que después de la cosecha la disminución del pH se pudo producir debido a los factores que hacen que el suelo tenga valores de pH diversos, como son las precipitaciones, las cuales tienden a acidificar al suelo y desaturarlo con el intercambio de los H^+ del agua de lluvia por los Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc. El experimento sufrió de constantes precipitaciones debido a los datos climatológicos (tabla 6-3).

Los suelos ácidos dan la posibilidad de movimiento de metales y provocan que formen solubles, poniendo en riesgo de contaminación al aumentar su biodisponibilidad. La presencia de aniones como Cl^- con la disminución del pH dan paso a un mayor contenido de metales solubles en el suelo, resultando que el cadmio tenga mayor movilidad, con un pH entre 5,5 a 9,5. Los autores mencionan límites máximos en el suelo en el contenido de metales pesados para la utilización agrícola: Cd con 3 mg/kg pH <7, y Hg con 1,5 mg/kg pH > 7. (García et al., 2002, pp. 125-138).

Los resultados del potencial de hidrógeno (pH) presentan una diferencia significativa entre sí. Según la normativa nacional del Acuerdo Ministerial 097-A para calidad de suelos determina que el intervalo óptimo para cultivos es de 6-8 lo que expresa un suelo próximo a la neutralidad, debido a la mejor disponibilidad de nutrientes. En el muestreo de S1 el suelo con gallinaza y fertilizante inorgánico están en el rango óptimo de la normativa, mientras que el suelo sin tratamiento está fuera del rango. En el muestreo de S2 existen valores fuera del rango óptimo. Los valores de S1 con respecto a S2 son significativamente distintos.

3.2.2. Conductividad eléctrica

La determinación de conductividad eléctrica sirve para conocer el porcentaje de sales presentes en los suelos. Según la normativa vigente en el acuerdo Ministerial 097-A establece el límite permisible para suelos agrícolas de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (AM097-A:2015). Los valores de S1 y S2 presentan diferencias significativas entre sí. La aplicación de fertilizante inorgánico y de gallinaza al suelo provoca un incremento en la CE del suelo en comparación con el suelo inicial sin tratamiento (S0) (Tabla 7-3) debido a la concentración elevada de iones presentes en los fertilizantes (Tabla 11-3). Después de la cosecha los suelos presentan valores de CE más bajos en el suelo con fertilizante inorgánico posiblemente por la absorción de nutrientes por el cultivo y la lixiviación de sales a mayor profundidad del suelo (Cai et al, 2014; citado en Idrovo et al, 2019).

Cabe recalcar que los suelos con gallinaza y fertilizante están por encima de los límites permisibles en CE, al igual que el suelo como blanco (SCP) esto se debe a la topografía del terreno, por el arrastre de elementos por las precipitaciones continuas del lugar, en donde la permanencia del agua en la superficie se mantiene durante varios días y tiene baja infiltración, provocando el desplazamiento de las sales a los tratamientos más bajos en topografía (Babelis y Liotta, pp. 1-3).

3.2.3. Materia orgánica

La materia orgánica cumple un papel importante para las necesidades de las plantas, ya que al transformar y pasar los procesos de formación y degradación – humificación y mineralización de la misma, otorga al suelo disponibilidad de nutrientes y sustancias bioactivas. La materia orgánica mejora la estructura del suelo y su cohesión al aumentar la permeabilidad al agua y aire, por lo que mejora la capacidad hídrica del mismo (Labrador et al., 1993a, pp. 7 - 10).

Favorece de forma directa y equilibrada el aporte de macro y micronutrientes al suelo, cabe recalcar que la materia orgánica no solo se enfoca en este aporte, sino también en la acción indirecta sobre los ciclos de movilización e inmovilización de distintos elementos minerales como el fósforo, nitrógeno, azufre, etc. Aumentan la síntesis de sustancias con nitrógeno en las plantas y beneficia la asimilación de este elemento por el vegetal (Labrador et al., 1993b, pp. 7 - 10).

En el suelo (S1) se encuentra diferencias significativas entre sí, en donde aumenta el porcentaje de materia orgánica en comparación al suelo inicial (tabla 7-3) posiblemente debido a la gallinaza que tiene un porcentaje mayor al 50%. Después de la cosecha se disminuyó el porcentaje probablemente por la mineralización de MO, por lo que la S1 y S2 son significativamente diferentes (Idrovo et al, 2019, pp. 910 – 918).

3.3. Resultados de macronutrientes del suelo

En la tabla 9-3 se muestran los resultados de los macronutrientes existentes en los suelos antes y después de la siembra de experimentación.

Tabla 9-3. Resultado de macronutrientes del suelo

Tratamiento	C (%)		N (%)		P (%)		K (%)		C/N	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
SCP	16,54 a	15,78 b	1,80 a	1,46 a	0,072 a	0,096 a	0,080 a	0,094 c	5,11 a	8,89 a
SFCP	18,30 a	12,93 b	2,06 a	1,36 a	0,145 c	0,095 a	0,148 b	0,061 b	5,17 a	9,16 a
SGCP	17,46 a	7,64 a	1,50 a	1,27 a	0,113 b	0,063 a	0,151 b	0,035 a	5,57 a	12,43 a
F-ANOVA										
Tratamiento	0,432 NS	13,782 **	1,834 NS	0,388 NS	70,907 ***	4,287 NS	15,694 **	40,957 ***	1,186 NS	2,875 NS
Muestreo	12,630 ***		7,502 *		3,997 NS		16,778 **		12,426 ***	

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

SCP= Suelo sin tratamiento con cebolla en Puyo, **SFCP=** Suelo con fertilizante inorgánico en cebolla en Puyo, **SGCP=** Suelo con gallinaza en cebolla en Puyo, **C=** Carbono, **N=** Nitrógeno, **P=** Fósforo, **K=** Potasio, **S1=** suelo antes de la siembra, **S2=** suelo después de la cosecha.

*** Diferencia significativa con un 99,9 % de confiabilidad

** Diferencia significativa con un 99 % de confiabilidad

* Diferencia significativa con un 95 % de confiabilidad

NS Diferencia no significativa

3.3.1. Determinación de Carbono y Nitrógeno

El índice de calidad del suelo se lo determina mediante la relación C/N, en donde se indica el nitrógeno disponible para las plantas. Valores altos involucran que la materia orgánica se está descomponiendo lentamente debido a que el nitrógeno es paralizado por los microorganismos y la planta no puede absorber; valores entre 10 y 14 significa que existe mineralización y rompimiento de tejidos, debido a que los microorganismos aumentan su actividad habiendo nutrientes para ellos y la parte vegetativa. Con respecto a los valores de C/N bajos se deben a que los microorganismos desarrollan mayor eficacia en la desintegración de la materia orgánica (Gamarra et al., 2007. pp. 4-26).

En las muestras de S1 no existe diferencia significativa con valores bajos en los tres tratamientos, donde se establece que los microorganismos tienen eficiencia en la descomposición de la materia, mientras que en la S2 se encuentra en el rango donde existe mineralización y aumenta la actividad

microbiana existiendo la disponibilidad de nutrientes. Los valores entre S1 y S2 no son diferentes entre sí.

(Suárez et al., 2015. pp. 347-361) afirma que “El carbono fijado en el proceso de la fotosíntesis es depositado en el suelo durante el crecimiento de las plantas, y por este medio se proporciona el sustrato de carbono a los organismos del suelo que descomponen física y químicamente la estructura orgánica. Los organismos del suelo (biota), usan los residuos de las plantas y los animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes son liberados dentro del suelo en formas que pueden ser absorbidas por las plantas”.

El amonio y nitratos en el suelo, son de mucha importancia durante la etapa de desarrollo de las plantas. De los nutrimentos que las plantas requieren para su crecimiento, el nitrógeno es requerido con mayor concentración a la que corrientemente se encuentra en forma aprovechable en el suelo. El nitrógeno es asimilable por la planta como NH_4^+ y NO_3^- (Havlin et al., 1999; citado en Suárez et al., 2015).

Los valores de Carbono en la S1 no son significativos, mientras que en la S2 los resultados presentan diferencias significativas. Después de la cosecha existe una disminución de la concentración del carbono, probablemente se debe a la absorción de minerales por parte de la planta para su desarrollo.

Los valores de Nitrógeno antes y después de la cosecha no tienen diferencias significativas. La planta ha absorbido la cantidad necesaria de nitrógeno para su desarrollo existiendo una pequeña disminución en el transcurso del proceso. Se habla de una absorción normal en la etapa de crecimiento de 1,1 a 2,3 kg de N/ha/día (Homeck, 2004, pp. 9 – 10).

3.3.2. Determinación de Potasio y Fósforo

El fósforo no posee una ayuda microbiana como es en el caso del nitrógeno, por lo que este procede únicamente de la meteorización de la roca madre, la cantidad de P presente en el suelo se encuentra en forma de P_2O_5 las cuales rara vez sobrepasa de 0,50% y este puede clasificarse como inorgánico y orgánico (García y Blaya, 2000a. p. 488).

El potasio se encuentra con mayor cantidad en las plantas y se encuentra en escenarios rocosos, se localiza mediante la desintegración y descomposición de las rocas que contienen dicho mineral. Se encuentra en el suelo en forma de silvina, carnalita, silvinita, illita, vermiculita y clorita. Debe tomarse en cuenta también la obtención por desintegración de restos vegetales y animales. Se lo puede encontrar en forma de K_2O que oscila entre 0,20 – 3,30 % dependiendo de la textura. (García y Blaya, 2000b. p. 488).

En conjunto el potasio y el fósforo son elementos principales para las plantas, el crecimiento se ve afectado cuando existe escasez de estos dos elementos, por lo que la valoración físico químico del suelo es esencial para determinar su fertilidad (Reiche, 2011. p. 1).

Todos los valores están contemplados en menor concentración de lo habitual en suelos encontrados. El potasio antes y después de la cosecha tiene diferencias significativas. Los porcentajes de N, P y K se ven disminuidos después de la cosecha debido a la ingesta de planta durante todo su proceso hasta la maduración.

3.4. Resultados de análisis de enmienda

3.4.1. Resultados de análisis de gallinaza

En la tabla 10-3 se identifican los resultados de los análisis de la enmienda de gallinaza

Tabla 10-3. Resultado de análisis de enmienda de gallinaza

Muestra	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	MO (%)	IG (%)	Polifenoles totales (ppm)
Gallinaza	7,42	5,07	68,24	38,09	0,779

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

pH= Potencial de hidrógeno, **CE=** Conductividad eléctrica, **MO=** Materia orgánica, **IG=** Índice de germinación

Según el decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes, expresa como características de carácter general que la conductividad eléctrica que determina la concentración de sales por la presencia de iones de amonio o nitrato formados durante el proceso de compostaje es de $\pm 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$, en donde la muestra de gallinaza obtuvo $5,07 \mu\text{S}/\text{cm}$ el cual entra en los parámetros que deben cumplir los compuestos orgánicos que se ocupan como fertilizantes o abonos. El pH es aceptable con $\pm 1,0$ salvo productos considerados peligrosos que no se admiten tolerancia, el pH arroja 7,42 de neutralidad en la enmienda. Con respecto a la cantidad de materia orgánica en nuestra muestra se expresa un 68,24%, lo cual supera el contenido de MO del 25%, por lo cual es adecuado para su utilización en suelo (BOE, 2013).

El índice de germinación tiene como fin el evaluar la calidad agronómica de la enmienda orgánica (gallinaza), el porcentaje menor corresponde a que no exista germinación por efectos tóxicos de la composición de la enmienda (Carhuacho et al., 2012, pp. 1-12). Los valores superiores al 80% certifican que un producto de abono orgánico sea estable para un uso agrícola (Tortosa, 2013, p.1). En la gallinaza el porcentaje de índice de germinación es 38,09 %, lo que significa que no es una enmienda orgánica estable para la agricultura.

Dependiendo de la estructura de los polifenoles existentes, estos intervienen como antioxidantes que donan hidrógenos y como quelantes de iones metálicos, que previene la creación de metales catalizadores o a la vez inhibiendo los radicales (López, 2016a, pp. 6-7).

Los valores altos de polifenoles totales representan un poder antioxidante como potencial comercial. Por lo que en los análisis de gallinaza ocupada en la muestra analizada experimentación arrojó un valor demasiado bajo de 0,779 mg/L a comparación de valores de (680 o 380 mg/100g) en análisis de identificación de polifenoles indicados en las especies de mora *R. adenotrichos* y *R. glaucus*, en el trabajo de (López, 2016b, p. 7) los cuales fueron concluidos que son valores aceptables de productos antioxidantes por su alta concentración. Se concluye que la gallinaza no es un producto con acción antioxidante por su baja concentración de fenoles.

3.4.2. Resultados de aniones en gallinaza

En la tabla 11-3 se identifican los resultados obtenidos de aniones en las unidades mg/100g de la enmienda de gallinaza.

Tabla 11-3. Resultado de aniones en gallinaza

Tratamiento	Cl ⁻ (mg/100g)	SO ₄ ²⁻ (mg/100g)	PO ₄ ³⁻ (mg/100g)	NO ₃ ⁻ (mg/100g)
Gallinaza	551,00	1020,00	937,50	1325,00
	515,30	1102,10	893,90	1234,20
Suelo	20,50	8,00	1,12	5,60
	21,30	9,20	1,80	6,40

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

Cl⁻= Cloruros, SO₄²⁻= Sulfatos, PO₄³⁻= fosfatos, NO₃⁻= Nitratos

Los resultados de aniones se consideraron de la enmienda orgánica (gallinaza) y el suelo inicial de la experimentación, en donde es notable el incremento de los aniones (Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻ y NO₃⁻) con respecto al suelo, por lo que se determina que la gallinaza contiene un alto porcentaje de sales, lo cual incrementa la conductividad eléctrica del suelo al haber sido agregado directamente. Cabe recalcar que una acumulación excesiva de sales en un suelo agrícola dificulta procesos fisiológicos, vinculados a la absorción de agua y nutrimentos, alteración en la tasa fotosintética y transpiración lo cual engloba en impedir un correcto desarrollo de la planta (Ramírez et al., 2021, pp. 150 – 161).

3.5. Resultados de características comerciales de cebolla

Tabla 12-3. Resultado de parámetros morfológicos

	Peso biomasa (kg/caballón)	N° Plantas	Peso hojas (g)	Diámetro (cm/planta)	Altura (cm/planta)
SCP	0,114 a	11 b	10,182 a	0,567 a	37,94 b
SFCP	0,123 a	7 a	17,036 a	0,867 b	31,56 a
SGCP	0,735 b	12 b	63,753 b	1,251 c	72,89 c
F-ANOVA	38,932 ***	13,231 **	31,541 **	27,178 **	279,963 ***

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

SCP= Suelo sin tratamiento con cebolla en Puyo, **SFCP=** Suelo con fertilizante inorgánico en cebolla en Puyo, **SGCP=** Suelo con gallinaza en cebolla en Puyo

*** Diferencia significativa con un 99,9 % de confiabilidad

** Diferencia significativa con un 99 % de confiabilidad

El peso de la cebolla por caballón se midió en kilogramos, existiendo mayor peso en el SGCP de 0,735 kg el cual es significativamente diferente mientras que el SCP y SFCP presentan valores donde no hay diferencia significativa. Según la tabla 11-1 el rango óptimo está entre 1,8 kg – 2,2 kg de peso en biomasa, concluyendo que existió mejoría en el peso con la gallinaza, pero no benefició al suelo a llegar a los pesos comerciales en esta especie.

La altura se midió en centímetros de un promedio de todas las plantas de cada tratamiento en estudio. La SGCP obtuvo el valor más alto de 72,89 cm, los cuales son significativamente distintos entre sí. Según la tabla 11-1 sobre las características comerciales una altura promedio de una planta de cebolla es de 45 cm para su aceptación en el mercado, por lo cual el SGCP produjo que la planta sobrepase este valor referido, mientras que el suelo sin nada y con fertilizante tienen valores menores a 45 cm.

El diámetro de la planta se determinó en centímetros de un promedio de todas las plantas cosechadas por tratamiento. El valor mayor fue de la SGCP con 1,251 cm, mientras que para el SCP y SFCP fueron de 0,567 cm y 0,867 cm, estos resultados presentan una diferencias significativas entre sí. Según la tabla 11-1 sobre las características comerciales sobre el diámetro de una planta de cebolla es de 1,3 cm para su aceptación en el mercado, por lo cual el SGCP entra en el rango óptimo, mientras que el SCP y SFCP tienen valores menores al comercial.

Con respecto al número de plantas existió una diferencia insignificante entre SCP y SGCP por una planta, donde el valor más alto fue de 12 plantas en caballón perteneciente al suelo con la enmienda, mientras que el suelo con fertilizante produjo 7 plantas en caballón. El peso de las hojas fue mayor en la SGCP con 63,75 g y el valor más bajo fue de la SFCP con 10,18 g.

3.6. Resultados de metales pesados en el suelo

Tabla 13-3. Resultado de metales pesados de suelo

Tratamiento	Hg (ppm)		Cd (ppm)	
	S1	S2	S1	S2
SCP	0,58 a	1,01 a	-	-
SFCP	0,94 a	1,10 a	-	-
SGCP	0,90 a	1,23 a	-	-
F-ANOVA				
Tratamiento	1,449 NS	1,756 NS	-	-
Muestreo	7,580 *		-	-

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2022.

SCP= Suelo sin tratamiento con cebolla en Puyo, **SFCP=** Suelo con fertilizante inorgánico en cebolla en Puyo, **SGCP=** Suelo con gallinaza en cebolla en Puyo, **Hg=** Mercurio, **Cd=** Cadmio. **S1=** suelo antes de la siembra, **S2=** suelo después de la cosecha.

* Diferencia significativa con un 95 % de confiabilidad

NS Diferencia no significativa

3.6.1. Determinación de Mercurio en suelo

Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), en el Anexo 2 del Libro VI (2015) sobre a la norma de calidad ambiental: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados; dispone los límites permisibles de concentración de metales pesados los cuales están señalados en la Tabla 8-1 de este documento. El límite permisible para un suelo agrícola es de 0,8 ppm, para suelo industrial de 10 ppm, para suelo comercial 10 ppm y para residencial de 1 ppm.

Los valores de mercurio en las muestras S1 y S2, no tienen diferencias significativas entre sí. En la comparación entre S1 y S2 existe diferencia significativa, donde el incremento de concentración aumenta en los tres tratamientos después de la cosecha.

Según la normativa el suelo los valores del mercurio en el suelo inicial es apto para la agricultura con un 0,58 ppm, mientras que en el SFCP y SGCP supera el límite con 0,94 ppm y 0,90 ppm respectivamente. Mientras en la S2, el suelo se encontró con un incremento de mercurio donde supera el límite para un uso en suelo agrícola.

3.6.2. *Determinación de Cadmio en suelo*

Para los resultados de cadmio, los valores fueron despreciables, ya que el equipo que ocupamos (espectrofotómetro de absorción atómica por llama), no logró tener mayor detección de los elementos analizados.

Como el suelo S1 y S2 no contiene valores significativos según la legislación ecuatoriana, es un suelo que sirve para uso agrícola.

3.7. **Resultados de Factores de Bioacumulación y Traslocación**

Los factores de bioacumulación y traslocación se manipulan para determinar la presencia de los metales pesados tanto en los suelos como en las partes de la planta desarrollada en el mismo.

El factor de bioacumulación (BCF) identifica la acción de acumular metales pesados en las partes de la planta, por lo general en las raíces. Por lo que se ha determinado los factores de bioacumulación tanto para la raíz como la parte aérea de la cebolla. Se habla de una planta hiperacumuladora cuando tiene un $BCF > 1$ y excluyente cuando el $BCF < 1$.

El factor de traslocación (TF) identifica la acumulación de los metales pesados en los órganos vegetativos a partir de la concentración de la raíz del mismo vegetal; cuando la planta tiene un $TF > 1$ se habla de una eficiencia de transporte del metal, mientras que, cuando el $TF < 1$ el transporte es ineficaz (Castro et al., 2018: p. 472).

3.7.1. *Resultados de factores de bioacumulación*

Tabla 14-3. Resultado de factores de bioacumulación en raíces de cebolla

Tratamiento	Hg	Cd
SCP	0,239 a	0
SFCP	0,349 b	0
SGCP	0,294 ab	0
F ANOVA	8,587 *	-

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2021

SCP= Suelo sin tratamiento con cebolla en Puyo, **SFCP=** Suelo con fertilizante inorgánico en cebolla en Puyo, **SGCP=** Suelo con gallinaza en cebolla en Puyo, **Hg=** Mercurio, **Cd=** Cadmio.

* Diferencia significativa con un 95 % de confiabilidad

Los resultados de factores de bioacumulación en los metales pesados analizados se visualizaron solo en el metal mercurio por la concentración inexistente del cadmio en las muestras problemas muestras.

En las muestras de suelo de tres tratamientos (SCP, SFCP y SGCP) presentan un BCF < 1, lo cual indica que la planta es excluyente de este metal en las raíces. Estos valores tienen diferencias significativas entre sí, sin embargo, las muestras SCP y SGCP no tienen diferencias entre sí al igual que las muestras SFCP y SGCP no existen diferencias con significancia.

Tabla 15-3. Resultado de factores de bioacumulación en parte aérea de cebolla

Tratamiento	Hg	Cd
SCP	0,217 a	0
SFCP	0,474 b	0
SGCP	0,852 c	0
F ANOVA	63,050 ***	-

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2021

SCP= Suelo sin tratamiento con cebolla en Puyo, SFCP= Suelo con fertilizante inorgánico en cebolla en Puyo, SGCP= Suelo con gallinaza en cebolla en Puyo, Hg= Mercurio, Cd= Cadmio.

*** Diferencia significativa con un 99,9 % de confiabilidad

En las muestras de suelo de tres tratamientos (SCP, SFCP y SGCP) presentan un BCF < 1, que indica que la planta es excluyente de este metal en la parte aérea. Cabe recalcar que existe una aproximación al 1 en el suelo con gallinaza con un valor de 0,852. Estos valores tienen diferencias significativas entre sí.

3.7.2. Resultados de factores de traslocación

Tabla 16-3. Resultado de factores de traslocación en parte aérea de cebolla

Tratamiento	Hg	Cd
SCP	3,232 a	0
SFCP	3,574 a	0
SGCP	4,541 a	0
F ANOVA	0,592 NS	-

Realizado por: Chávez, C., Garófalo P, 2021.

SCP= Suelo sin tratamiento con cebolla en Puyo, SFCP= Suelo con fertilizante inorgánico en cebolla en Puyo, SGCP= Suelo con gallinaza en cebolla en Puyo, Hg= Mercurio, Cd= Cadmio.

NS Diferencia no significativa

Los resultados del factor de traslocación en los metales pesados analizados se visualizarán solo en el metal mercurio por la concentración inexistente del cadmio en las muestras de estudio. En los tres suelos de tratamiento los valores presentan un TF > 1 lo cual indica que la planta tiene un proceso eficiente de transporte de mercurio y que la parte aérea lo está receptando.

3.8. Resultados comparativos en planta y tratamiento

Según la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN-CODEX 193 en el año 2013 especifica los límites permisibles para alimentos específicamente en las raíces de las plantas, señalado en la tabla 12-1 del capítulo 1 de este trabajo. Cabe recalcar que no se encuentran límites permisibles para el mercurio. Para cadmio en raíces y tubérculos es de 0,1 ppm (mg/kg).

3.8.1. Medias de mercurio en partes de la planta

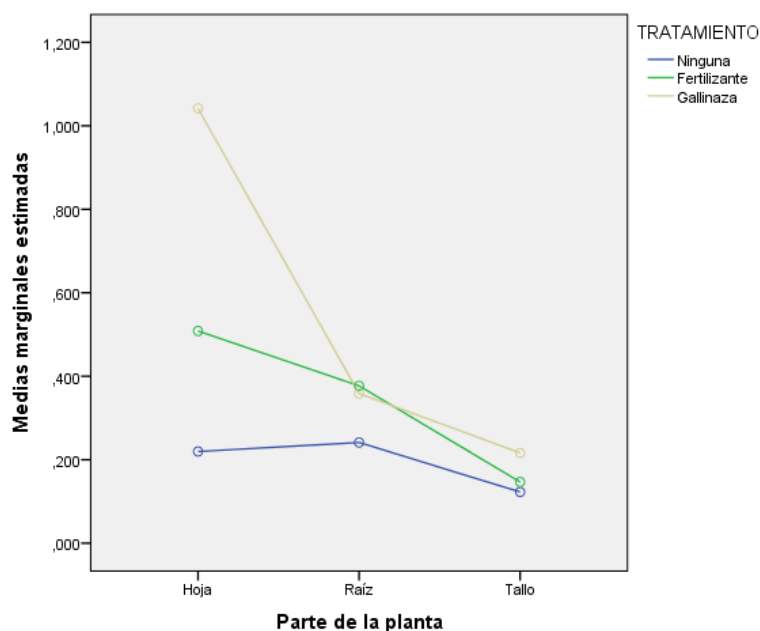


Gráfico 1-3. Medias de mercurio con relación a las partes de la planta y tratamiento.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

El valor medio más alto de mercurio en las hojas se obtuvo en el tratamiento de gallinaza, mientras que la menor concentración del metal se encuentra en la planta sin tratamiento. Con respecto al tallo y la raíz no se encuentran diferencias significativas en todos los tratamientos, existiendo concentraciones bajas. Se concluye que el menor porcentaje de mercurio en la planta fue del suelo sin tratamiento.

3.8.2. Medias de cadmio en partes de la planta

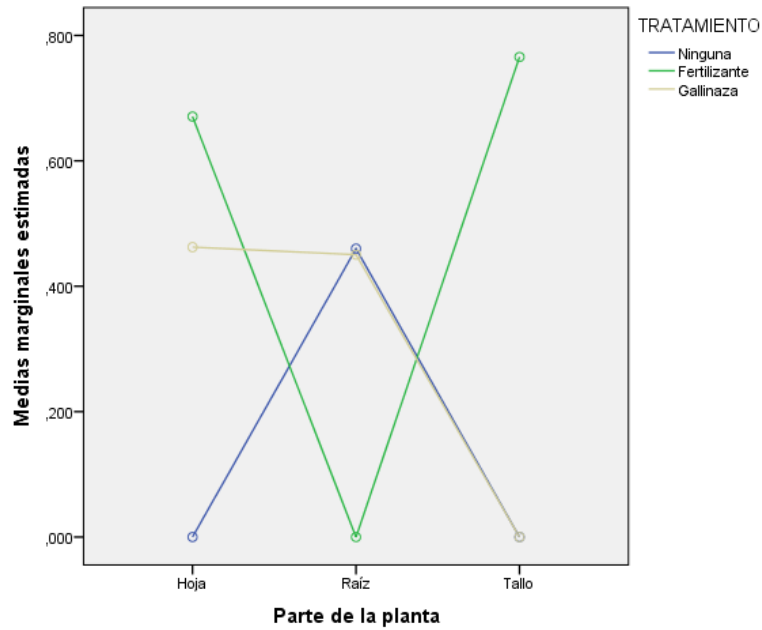


Gráfico 2-3. Medias de cadmio con relación a las partes de la planta y tratamiento.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

El valor medio más alto de cadmio en las hojas se obtuvo en el tratamiento con fertilizante inorgánico, mientras que la menor concentración del metal fue con la planta sin tratamiento. Con respecto a la raíz se encuentran dos valores similares altos en los tratamientos con gallinaza y el suelo solo. En el tallo se encontró el valor más alto de concentración en el tratamiento con fertilizante químico, mientras que la gallinaza y el suelo sin tratamiento se encuentran niveles bajos de concentración de dicho metal.

3.8.3. Medias de fósforo en partes de la planta

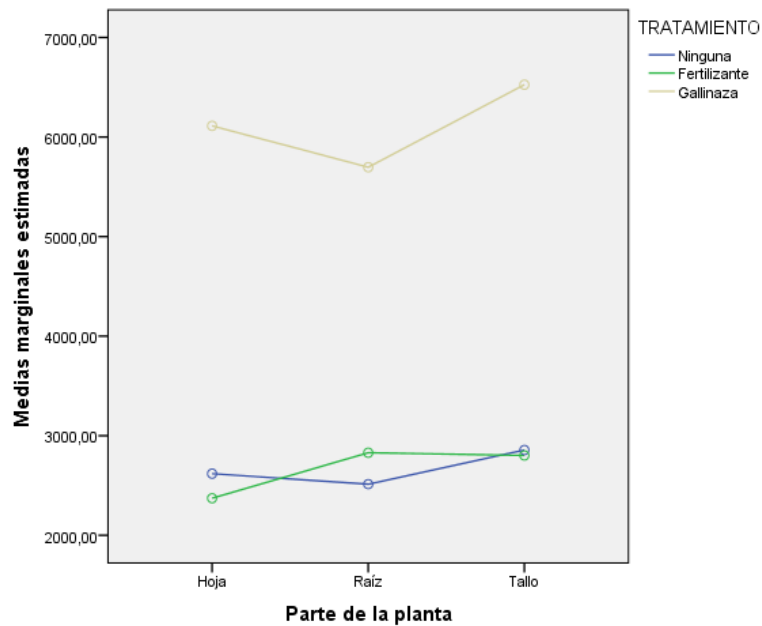


Gráfico 3-3. Medias de fósforo con relación a las partes de la planta y tratamiento.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

El valor medio más alto de concentración de fósforo en las hojas, raíz y tallo se obtuvo en el tratamiento con gallinaza, mientras que los niveles más bajos se deben al tratamiento con fertilizante inorgánico y sin tratamiento. En conclusión, se puede determinar que mayor concentración de fósforo en toda la planta se obtuvo de un suelo dosificado con gallinaza.

3.8.4. Medias de potasio en partes de la planta

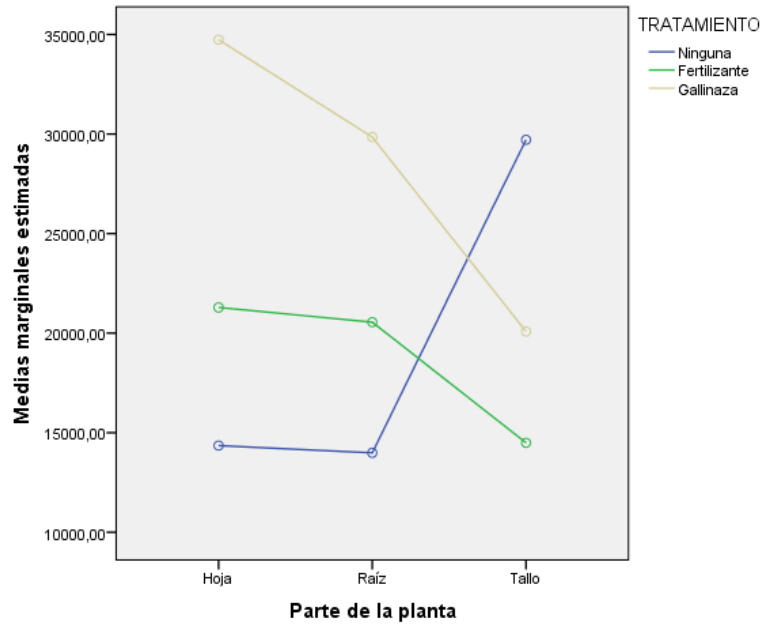


Gráfico 4-3. Medias de potasio con relación a las partes de la planta y tratamiento.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

Los niveles medios más altos de potasio en las hojas se obtuvieron del tratamiento con gallinaza, mientras que el más bajo fue del suelo sin tratamiento. Con respecto a la raíz el valor más alto fue del tratamiento con gallinaza, a diferencia del suelo sin tratamiento que obtuvo un valor más bajo. En el tallo se encuentra el valor más alto en el suelo sin tratamiento, mientras que el valor más bajo se obtuvo en el tratamiento con fertilizante inorgánico. Se concluye que el tratamiento con fertilizante inorgánico obtuvo los valores más bajos de concentración de potasio en las partes de la planta.

3.8.5. Medias de carbono en partes de la planta

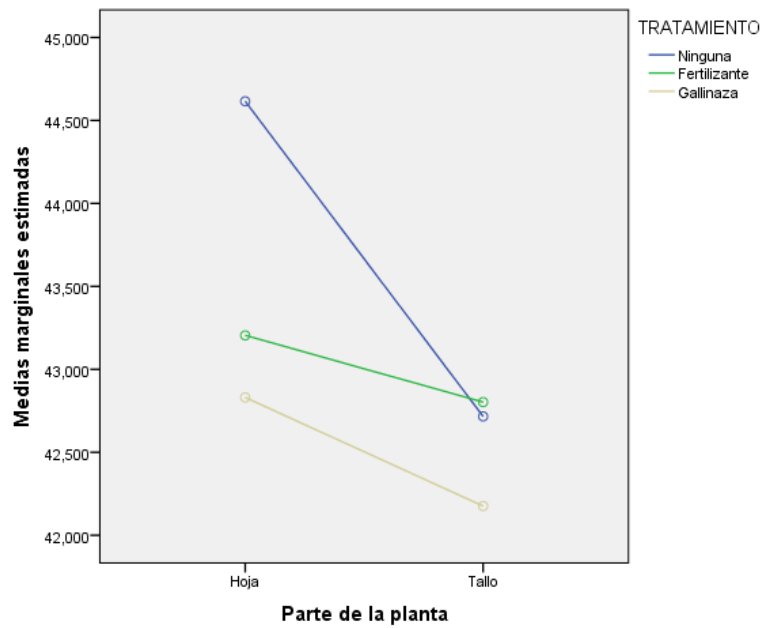


Gráfico 5-3. Medias de carbono con relación a las partes de la planta y tratamiento.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

El valor medio más alto de carbono en las hojas se obtuvo en el suelo sin tratamiento, mientras que el valor más bajo fue en el tratamiento con gallinaza. Con respecto al tallo el valor más bajo fue en el tratamiento con gallinaza. En conclusión, el tratamiento con menor concentración de carbono fue el de gallinaza tanto en hojas y tallo y existe mayor variabilidad en las hojas.

3.8.6. Medias de nitrógeno en partes de la planta

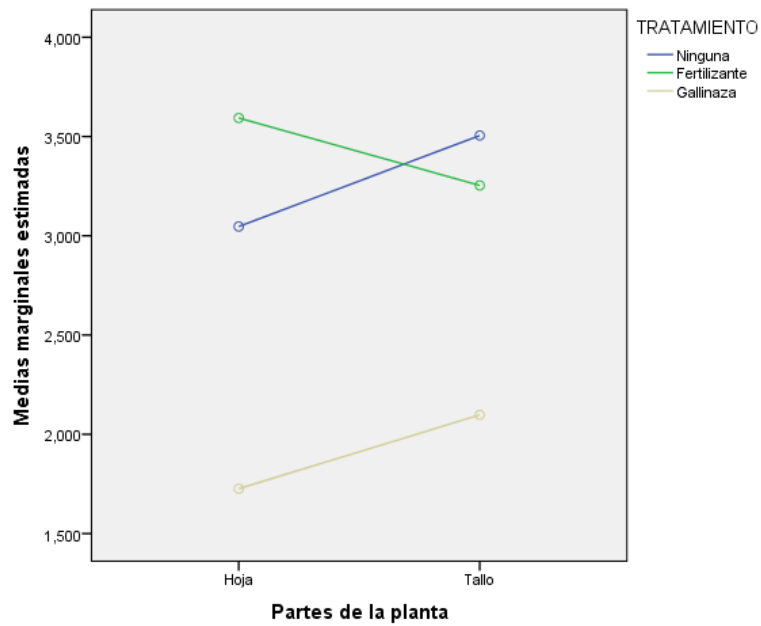


Gráfico 6-3. Medias de nitrógeno con relación a las partes de la planta y tratamiento.

Realizado por: Chávez, C; Garófalo, P. 2022.

El valor más alto de nitrógeno en las hojas de la planta fue en el tratamiento con fertilizante inorgánico, mientras que el valor más bajo fue en el tratamiento con gallinaza. Con respecto al tallo los valores más altos fueron sin tratamiento y con fertilizante inorgánico. En conclusión, se visualiza que el tratamiento con gallinaza es el que menor concentración de nitrógeno tiene en sus partes de la planta.

CONCLUSIONES

- El proceso de bioacumulación de metales pesados en estudio (Hg y Cd) por actividades agrícolas del cantón Pastaza en la estación experimental Pastaza – ESPOCH, se realizó mediante la comparativa de tres parcelas (suelo sin tratamiento, suelo con fertilizante inorgánico y suelo con gallinaza) por triplicado, realizando la siembra, cuidados y cosecha de la planta *Allium fistulosum* más conocida como cebolla blanca. Como primer punto se determinó la concentración de los metales pesados en el suelo, seguido de esto el desarrollo de la planta se ejerció con las técnicas agrícolas comunes de la zona amazónica hasta su cosecha, en este punto se determinaron los MP tanto en el suelo consumido por el vegetal como cada parte del mismo (raíz, tallo y parte aérea) y finalmente se determinó las características físico químicas del suelo para evidenciar los cambios en el proceso de bioacumulación de metales pesados y nutrientes.
- La determinación de los dos metales pesados se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica logrando la detección únicamente del metal mercurio, en el cadmio los valores fueron extremadamente pequeños e incluso indetectables para el equipo. En el mercurio se evidencian valores similares para las muestras S1 en un rango de 0,58 ppm - 0,94 ppm que se encuentran dentro de los límites permisibles de la legislación, mientras que existió un incremento en la concentración de las muestras S2 con un rango de 1,01 ppm – 1,23 ppm, debido a la adición de la enmienda como también la topografía del experimento que provocó desplazamiento de elementos en el suelo, por lo cual según la legislación no es apto para actividades agrícolas.
- Se comparó la variabilidad de los dos metales pesados con respecto a la bioacumulación, donde el mercurio fue el único elemento que pudo ser detectado por el EAA existiendo un incremento de la concentración en el suelo después de la cosecha con respecto a las muestras de suelo antes de la siembra, otorgando un efecto adverso y dificultando la agricultura tradicional por sobrepasar el límite permisible en la concentración del mercurio. El Cadmio tuvo valores despreciables de concentración por lo que está por muy debajo del límite. Las plantas que se trataron con gallinaza tuvieron un ligero incremento en nutrientes favorables para el vegetal, demostrados en las características morfológicas del mismo.
- Se realizó una evaluación de acumulación y transporte de metales pesados en la planta con los diferentes tratamientos, para lo cual se calculó los factores de BCF y TF, con la determinación de las concentraciones de MP en la biomasa, concluyendo que la cebolla en los tres tratamientos es excluyente de dichos metales pesados en las raíces y la parte aérea, sin embargo, presentaron un proceso eficiente de transporte de mercurio la cual la parte aérea la está receptando. Concluyendo que la cebolla no perjudica directamente a los consumidores por MP, por lo que es benéfico para su consumo y distribución.

- Se caracterizó las propiedades físico-químicas de la biomasa donde existió un incremento de P y K en plantas tratadas con gallinaza, como también un aumento de C y N en plantas tratadas sin tratamiento y con fertilizante inorgánico. Las características morfológicas se evaluaron con parámetros comerciales de la cebolla blanca, concluyendo que las plantas tratadas con enmienda de gallinaza tuvieron mejores resultados en características aceptables para el mercado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de una mejor enmienda para mejores resultados en la bioacumulación de metales pesados, como también el desarrollo óptimo de las especies vegetales.
- Se recomienda realizar análisis de metales pesados en equipos más sensibles que el EAA, como por el ejemplo un espectrómetro de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) que determina todos los metales en concentraciones de ppb
- Se recomienda realizar más estudios sobre la problemática del impacto ambiental en los suelos agrícolas debido a malas prácticas agrícolas.
- Se recomienda evaluar el transporte de metales pesados desde su origen hacia todos los elementos vinculados y cercanos a su exposición.

GLOSARIO

Aforar o enrazar: se refiere a la realización de una medición exacta y precisa empleando una marca de aforado en un vidrio con un volumen conocido (Priego, 2021, p.1).

Antropogénico: de origen humano o derivado de la actividad del hombre (GreenFacts, 2021, p.1).

Atomización: es un método importante para obtener polvos/partículas de metales y aleaciones. Cualquier aleación que pueda fundirse puede convertirse en polvo mediante esta tecnología, con la ventaja que se pueden obtener polvos totalmente pulverizados (Campos et al., 2007: p.1).

Biomagnificación: tendencia de algunos productos químicos a acumularse a lo largo de la cadena trófica, exhibiendo concentraciones sucesivamente altas al ascender el nivel trófico. La concentración del producto en el organismo que consume es mayor que la concentración del mismo producto en el organismo consumido (GreenFacts, 2021, p.1).

Cuanto de luz: también llamado fotón, que es la partícula elemental de la luz y las unidades más pequeñas en las que se puede transferir la energía. Son paquetes individuales o partículas de tamaño $h\nu$, donde “h” es la constante de Planck $6,626 \times 10^{-34}$ J.s y “v” es la frecuencia de la luz absorbida o emitida (Khan Academy, 2021).

Difusión molecular: es el mecanismo por el cual se produce el movimiento de una región de concentración a otra de baja concentración, debido a un estímulo físico, de un componente a través de una mezcla, la principal causa de la difusión es la existencia de un gradiente de concentración del componente que difunde (Chero, 2013, pp. 1-22).

Electrodo: se entiende como cada superficie donde se produce un proceso redox, ánodo y cátodo en celdas electroquímicas, un electrodo es una celda electroquímica, que fueron acuñados por Faraday (Salazar, 2021, pp. 1-5).

Emisión electromagnética: se compone de campos eléctricos como magnéticos. Surge de fuentes naturales o producidas por el hombre. La fuerza de esta radiación puede variar de energía baja a energía alta. Incluye las ondas de radio, microondas, luz infrarroja, luz visible, luz ultravioleta, rayos x y rayos gamma (NIH, 2021, p.1).

Energía radiante: es la manera en la que se conoce a toda aquella que deriva de ondas electromagnéticas. La capacidad energética dependerá de la intensidad o la cantidad de partículas de luz (fotones) que inciden sobre una superficie determinada en un periodo de tiempo, también depende de la frecuencia y la longitud de la misma onda electromagnética (WordPress, 2021, p.1).

Enmienda orgánica: son aquellos productos compuestos fundamentalmente por sustancias de origen vegetal, aunque pueden contener excrementos tanto sólidos como líquidos procedentes de animales. Sus nombres se deben a su elaboración como mantillo, estiércol, compost, turba, materia orgánica, etc. Son normalmente ocupados en el campo a razón de varias toneladas por hectáreas otorgando riqueza en la calidad del suelo (Laserna, 2021, p.1).

Estado fundamental: estado de energía más bajo permitido de un átomo, molécula o ion, en otras palabras, que representa la configuración más estable (Greelane, 2019, p.1).

Fitoestabilización: permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces, por precipitación en la zona de la rizosfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita la migración a las aguas subterráneas o al aire (Barton et al., 2005; citado en Delgadillo et al., 2011).

Fitoextracción: es una tecnología o proceso de fitorremediación que se basa en la concentración y traslocación, a través de las raíces, de contaminantes presentes en el suelo hacia diferentes partes cultivables de la planta, dando como resultado la remediación del sitio (Avila, 2017, p. 35).

Fitotoxicidad: palabra que describe el grado de efecto tóxico producido por una mezcla de aspersión o compuesto determinado que causa desordenes fisiológicos en las plantas y que se traduce en alteraciones del aspecto, crecimiento, vigor, desarrollo y productividad de las plantas (Moreno y Peñaranda, 2019, pp. 1-5).

Fluorescencia: efecto descrito por George Gabriel Stokes en 1852. La fluorescencia es una forma de fotoluminiscencia que describe la emisión de fotones por un material después de ser iluminado con luz. La luz emitida es de longitud de onda más larga que la luz excitante. Este efecto se llama el cambio de Stokes (BAIRES, 2017, p.1).

Meteorización: destrucción de rocas sólidas a causa de fuerzas químicas, físicas o biológicas. Tres tipos: meteorización mecánica, química y biológica – orgánica, cada una dependiente de factores físicos, químicos o biológicos (Griem, 2020, p.5).

Pedogenéticos: es el proceso por el cual se crea el suelo, su distribución natural, presente y pasado, con resultados de distintas características y propiedades, algunas de estas de forma permanente, ligados a un rango de tiempo razonable (Sanzano, 2019, pp. 1-12).

Plaguicida: Los plaguicidas, pesticidas o biocidas son tipos de compuestos químicos destinados a repeler, atraer, destruir, prevenir o combatir cualquier especie indeseable de plantas o animales. Se utilizan durante las etapas de producción, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos de origen agrícola, ya sean alimentos para humanos o animales. También se incluyen en los plaguicidas las sustancias que se le administran a los animales de cría para despojarlos de ectoparásitos (Álvarez, 2021, p.1).

Planta hiperacumuladora: la hiperacumulación es una adquisición independiente que ha surgido durante la evolución, que ha generado la habilidad de crecer plantas en suelos metalíferos y acumular extraordinarias cantidades de metales pesados en órganos aéreos a diferentes niveles de concentrados en la mayoría de especies. Se sabe que pueden ser de concentraciones entre 100 – 1000 veces mayores que las presentes en especies no hiperacumuladoras (Acosta, 2016, p.1).

Quelatos: son un complejo de un ion de metal unidos a una molécula orgánica. Los iones metálicos son minerales muy importantes para las plantas, y sus deficiencias resultan en color amarillento de las hojas, crecimiento retardado y cultivos de baja calidad. Son compuestos de

mayor estabilidad y son utilizados en la agricultura como fertilizantes de micronutrientes para suministrar las plantas con hierro, manganeso, zinc y cobre. Los quelatos más comunes utilizados en la agricultura son EDTA, DTPA y EDDHA (Tradecorp, 2021, p.1).

Solidificación/estabilización: es un proceso que se ha utilizado desde finales de los 80's para atrapar contaminantes limitando la movilidad y también disminuyendo su potencial de afectación al medio ambiente y que estos residuos puedan ser dispuestos en rellenos sanitarios (Lara y Melgoza, 2009, pp. 29-38).

Trazas: también llamados oligoelementos son aquellos que, aunque presentes en cantidades muy pequeñas, en los tejidos corporales, son nutrientes esenciales por desempeñar una serie de funciones indispensables para mantener la vida. El inadecuado ingreso produce enfermedades y deterioro en las funciones, mientras que concentraciones muy bajas pueden interferir con las funciones vitales de un organismo (Alarcón, 2009, pp. 107-124).

Vitrificación: es una técnica que sirve para producir cristal amorfo a base de desechos dando inmovilidad y reducción de residuos tóxicos. Cristal de alta durabilidad química y que de acuerdo a las pruebas que se realicen se pueda predecir el comportamiento a largo plazo del material bajo condiciones complejas que prevalecen en un ambiente de depósito o una reutilización del cristal amorfo (Saenz, 2006, pp. 7-8).

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, A. *Plantas hiperacumuladoras de metales pesados* [Blog]. 10 diciembre, 2016. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/12/10/plantas-hiperacumuladoras-de-metales-pesados/>

ACUERDO MINISTERIAL N° 097-A:2015. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.* Disponible en: http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf

ACUERDO MINISTERIAL N° 097-A:2015. *Criterios de calidad de suelo y criterios de remediación* Disponible en: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO ZOOSANITARIO. *Coordinación general de registro de insumos agropecuarios dirección de registro de insumos agrícolas.* Plaguicidas prohibidos en el Ecuador. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/Plaguicidas-prohibidos-en-Ecuador-1.pdf>

ALARCÓN, O. “Los elementos traza”. *Revista médica de la extensión portuguesa ULA* [en línea], 2009, (Venezuela) 4(3), pp. 107-124. [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/31376/articulo3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ÁLVAREZ, D. *Plaguicidas* [Blog]. 15 julio, 2021. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://concepto.de/plaguicidas/>

AVILA, D. Fitoextracción de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos en la región de Atlixco, Puebla (Trabajo de titulación) (maestría). [Tesis] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de ciencias, (Puebla-México). 2017. p. 35 [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/966#:~:text=La%20fitoextracci%C3%B3n%20es%20una%20tecnolog%C3%ADa,resultado%20la%20remediaci%C3%B3n%20del%20sitio>

AVILÉS, E., Y MENDOZA, R. 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 (Trabajo de titulación) (Diplomado). Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. (Managua-Nicaragua). 2005. pp. 13 – 15. [Consulta: 24 septiembre 2021]. Disponible en: <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp35c352.pdf>

BABELIS, G., LIOTTA, M. *Recuperación de suelos salinos*. [en línea]. Artículo de divulgación. pp. 1-3. [Consulta: 16 abril 2022]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-recuperacion_suelos_salinos.pdf

BAIRES TECNOLOGÍA Y EXPERIENCIA. *Introducción a la fluorescencia* [Blog]. 27 junio, 2017. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.bairesac.com/blog/archivo/1815>

BARBARO, L., KARLANIAN, M., MATA, D. *Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas* [Documento técnico] 1ª ed. Argentina: INTA. [Consulta: 23 septiembre 2021]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf

BOLETÍN ESTATAL OFICIAL DEL ESTADO. 2013. Real Decreto 506/2013. Sobre productos fertilizantes. [en línea]. [Consulta: 2 abril 2022]. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/06/28/506>

CABEZAS, J., ALONSO, J., PASTOR, J., SASTRE-CONDE, I., LOBO, M. “Absorción y acumulación de metales pesados en tres especies vegetales en suelos enmendados con lodos de depuradora”. *Environmental Biotechnology and Engineering* [en línea], 2004, (México) 1(1), pp. 1-13. [Consulta: 25 septiembre 2021]. ISBN 970-94112-0-9. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/52285/1/absorcionyacu2004852.pdf>

CAIZA, G. Mercurio en el suelo contaminación y remediación (Trabajo de titulación) (Farmacia). Universidad Complutense. (Madrid-España). 2018. p. 3 [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GISELA%20FERNANDA%20CAIZA%20CAIZA.pdf>

CAMPOS, M., CALDERÓN, R., TORRALBA, J. *Atomización* [Blog]. 2007. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en:

https://portal.uc3m.es/portal/page/portal/grupos_investigacion/tecnologia_polvos/lineas_investigacion/Atomizaci%f3n

CANTARERO, R., Y MARTÍNEZ, O. Evaluación de tres tipos de fertilizantes (gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Variedad NB-6. (Trabajo de diploma) (Diplomado). Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. (Managua-Nicaragua). 2002. pp. 9 – 10 [Consulta: 1 octubre 2021]. Disponible en: <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04c229.pdf>

CARHUANCHO, F., GUERRERO, J., PRIETO, F., RAMIREZ, J. “Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola”. *Simposio de Energía Solar y del Ambiental* [en línea], 2012, (Perú) 1(1), pp. 1-12. [Consulta: 10 abril 2022]. Disponible en: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/16.pdf>

CASAS, S., Y GUERRA, L. “La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización”. *Producción animal* [en línea], 2020, (Cuba) 32(3), pp. 1-15. [Consulta: 1 octubre 2021]. ISSN 2224-7920. Disponible en: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3611>

CASTRO, N., MORENO, R., CALDERÓN, F., MORENO A., TAMARIZ, J. “Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México”. *Ciencias Pecuarias* [en línea], 2018, (México) 9(3), pp. 467 - 485. [Consulta: 30 septiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4358>

CHÁVEZ, C. Detección de metales pesados en agua (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica Facultad, (Tonantzintla-México). 2011. 9 – 11 [Consulta: 23 septiembre 2021]. Disponible en: <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/671/1/ChavezVC.pdf>

CHERO, R. *Difusión molecular* [Blog]. Perú: 05 septiembre, 2013. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/neykmp/difusion-molecular>

DELGADILLO, A., GONZÁLEZ, C., PRIETO, F., VILLAGÓMEZ, J., ACEVEDO, O. “Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación”. *Tropical and subtropical agroecosystems* [en línea], 2011, (México) 14(2), pp. 597-612. [Consulta: 25 noviembre 2021].

ISSN

1870-0462.

Disponible

en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002

GALÁN, E., Y ROMERO, A. “Contaminación de suelos por metales pesados”. *Cristalografía, mineralogía y química agrícola* [en línea], 2008, (España) 1(1), pp. 48-60. [Consulta: 23 septiembre 2021]. Disponible en: http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf

GALINDO, J. *Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca* [en línea]. Bogotá D.C: ConTEXT, 2020. [Consulta: 14 marzo 2022]. Disponible en:

http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/Manuales/05-manual-cebolla-rama-2020-EBOOK.pdf

GAMARRA, C., DÍAZ, M., DE ORTÍZ, M., GALEANO., M., CABRERA., A “Relación carbono – nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo”. *Ciencias Forestales* [en línea], 2007, (México) 9(46), pp. 4-26. [Consulta: 31 marzo 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>

GINÉS, I., Y MARISCAL, I. “Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo”. *Fertiberia* [en línea]. 2002, 1(1), pp.1-9 [Consulta: 16 abril 2022]. Disponible en: https://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf

GONZÁLEZ, P., ORDÓÑEZ, R., ESPEJO, R., PEREGRINI, F “cambios en el pH del perfil de un suelo ácido cultivado y enmendado con diversos materiales para incrementar su fertilidad”. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* [en línea], 2003, (España) 1(6), pp. 373-378. [Consulta: 16 abril 2021]. Disponible en: https://abe.ufl.edu/faculty/carpna/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v6/p373-378.pdf

GARCÍA, C., MORENO, J., HERNÁNDEZ, T., POLO, A. “Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo”. *Ciencia y Medio Ambiente* [en línea], 2002, (España) 1(1), pp. 125-138. [Consulta: 24 septiembre 2021]. Disponible en: <https://digital.csic.es>

GARCÍA, N., BLAYA, N. “El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal”. *Química Agrícola*, 2000, (España) 1(1), p. 488. [Consulta: 31 marzo 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=192882>

GOBIERNO PROVINCIA DE PASTAZA. *Información de la provincia de Pastaza* [blog]. 2019. [Consulta: 29 octubre 2021]. Disponible en: <https://pastaza.gob.ec/pastaza/informacion/informacion-de-la-provincia-de-pastaza/>

GONZÁLEZ, M. Estandarización de las metodologías para el análisis de pH, alcalinidad y turbidez en muestras de agua potable en el laboratorio de la asociación municipal de acueductos comunitarios de dos quebradas (Trabajo de titulación) (Tecnológico). [Programa de tecnología química] Universidad tecnológica de Pereira, Facultad de tecnología, Escuela de tecnología química. (Pereira-Colombia). 2015. pp. 51-53 [Consulta: 19 octubre 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398369.pdf>

GREELANE. *¿Qué es el estado fundamental en química?* [Blog]. 03 julio, 2019. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnolog%C3%ADa-matem%C3%A1ticas/ciencia/definition-of-ground-state-604422/>

GREEN FACTS. *Antropogénico* [Blog]. 30 julio, 2021. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/antropogenico.htm>

GREEN FACTS. *Biomagnificación* [Blog]. 30 julio, 2021. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/biomagnificacion.htm>

GRIEM, W. *Apuntes geología general: ambiente sedimentario* [Blog]. 22 marzo, 2020. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05-2.htm#met>

GUPTA, I., YADUVANSHI, N. & GUPTA, S. *Standard Methods for Analysis of Soil Plant and Water* [en línea]. Daryaganj New Delhi-India: Scientific Publishers, 2012. [Consulta: 8 julio 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=bwQ5DwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

HERNÁNDEZ, F. Determinación de Cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de Alfalfa *Medicago sativa* irrigado con aguas residuales (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (Coahuila-México). 2014. p. 12 [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio\(Cd\)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio(Cd)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1)

HORNECK, D. “Manejo de nutrientes en cebolla”. *Informaciones agronómicas* [en línea], 2004, 1(1), pp. 9-10. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C61408AEFCF139CA5852579A3006D823A/\\$FILE/Manejo%20de%20Nutrientes%20en%20Cebolla.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C61408AEFCF139CA5852579A3006D823A/$FILE/Manejo%20de%20Nutrientes%20en%20Cebolla.pdf)

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* [en línea], 2019, (Ecuador) 1(1), pp. 1-12. [Consulta: 10 abril 2022]. Disponible en: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/16.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DEL CÁNCER. *Radiación electromagnética* [Blog]. 2021. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/radiacion-electromagnetica>

IZQUIERDO, J. Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [Trabajo experimental] Universidad Politécnica Salesiana. (Cuenca-Ecuador). 2017. pp. 9 – 10 [Consulta: 21 septiembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14712/1/UPS-CT007228.pdf>

KHAN ACADEMY. *Modelo de Bohr del átomo de hidrógeno* [Blog]. 2021. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

LABRADOR, J., GUIBERTEAU, A., LOPEZ, L., REYES, J. *La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización.* [en línea]. 3era. Madrid. IG SALJEN S.A. 1993. [Consulta: 25 marzo 2022]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_03.pdf

LARA, R., MELGOZA, R. “Solidificación-Estabilización de Cromo, Níquel y Plomo en una Matriz Sólida de Hormigón Fabricada con Cemento Portland”. *Información tecnológica* [en línea], 2009, (México) 20(1), pp. 29-38. [Consulta: 25 noviembre 2021]. DOI: 10.1612/inf.tecnol.4029it.08

LASERNA, S. *Enmiendas orgánicas* [Blog]. 2021. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.agroes.es/agricultura/abonos/100-enmiendas-organicas>

LÓPEZ, R. Efecto del compost y condiciones agroecológicas sobre la concentración de polifenoles de mora (*Rubus adenotrichos* Schtdl) en dos localidades de Costa Rica (Trabajo de titulación) (licenciatura). [Investigativo] Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Agrarias. Lugar (Heredia-Costa Rica). 2016. 6 – 7 [Consulta: 7 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13662/Tesis%20version%20final%20pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LONDOÑO, L., LONDOÑO, P., MUÑOZ, F. “Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2016, (Colombia) 14(2), pp. 145-153. [Consulta: 21 septiembre 2021]. DOI: 10.18684/BSAA(14)145-153. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307948295_LOS_RIESGOS_DE_LOS_METALES_PESADOS_EN_LA_SALUD_HUMANA_Y_ANIMAL

MAHECHA, J., TRUJILLO, J., TORRES, M. “Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta”. *Orinoquia* [en línea], 2015, (Colombia) 19(1), pp. 118-122. [Consulta: 21 septiembre 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5441176>

MARTÍN, N., Y PÉREZ, G. “Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la amazonía ecuatoriana”. *Cultivos Tropicales* [en línea]. 2009, (Cuba) 30(1), pp.5-10 [Consulta: 21 septiembre 2021]. ISSN 0258-5936. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217899001>

MATUS, F., Y MAIRE, C. “Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno”. *Agricultura técnica* [en línea]. 2000, (Chile) 60(2), pp.1-10 [Consulta: 1 abril 2022]. ISSN 0365-2807. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000200003

MEDINA, M., Y MONTANO, Y. Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero ALIANZA – ANCHAS 2013 (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, Facultad de

ciencias del ambiente, Escuela académico profesional de Ingeniería Ambiental. (Huaraz-Perú). 2014. 22 – 23 [Consulta: 30 septiembre 2021]. Disponible en: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/The ses/Tesis_Medina_y_Montano_2014.pdf

MORENO, A., PEÑARANDA, M. “FITOTOXICIDAD: Más que un culpable, una mirada a los múltiples factores en interacción”. *Metroflor-agro* [en línea], 2019, (Colombia) 1(1), pp. 1-5. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.metroflorcolombia.com/fitotoxicidad-mas-que-un-culpable-una-mirada-a-los-multiples-factores-en-interaccion/>

NTE INEN-CODEX 193:2013. *Norma general para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos.* Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_codex_193.pdf

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *The who recommended classification of pesticides by Hazard and Guidelines to classification.* 1ª ed. Alemania: Cataloguing-in-Publication, 2009. ISBN 978 92 4 154796 3 [Consulta: 21 septiembre 2021]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44271/9789241547963_eng.pdf

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA & CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO. *Nota de Análisis Sectorial Agricultura y Desarrollo Rural.* 1ª ed. Ecuador: SIPAE. [Consulta: 21 septiembre 2021] Disponible en: <http://www.fao.org/3/ak168s/ak168s00.htm>

PINO, S., AGUILAR, H., APOLO, A., SISALEMA, L. “Aporte del sector agropecuario a la economía del Ecuador. Análisis crítico de su evolución en el período de dolarización años 2000 - 2016”. *Espacios* [en línea], 2018, (Ecuador) 39(32), p. 7. [Consulta: 21 septiembre 2021]. ISSN 0798 1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p07.pdf>

PRIEGO, J. *¿Qué es aforar y cómo se realiza?* [Blog]. 29 marzo, 2021. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://aleph.org.mx/que-es-aforar-y-como-se-realiza>

PRIETO, J., GONZÁLEZ, C., ROMÁN, A., PRIETO, F. “Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua”. *Ciencia UAT* [en línea], 2021, (México) 16(1), pp. 150-161. [Consulta: 7 abril 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582021000200150

PROGRAMA REGIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN POR CADENAS DE VALOR AGRÍCOLA. *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras* [Manual]. Primera edición. Milton Toledo-Honduras: Editorial DICTA, 2016. [Consulta: 16 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf;jsessionid=2CCE82223CC153E2F8C2F2572F76BAE?sequence=1>

RAMÍREZ, M., VÁZQUEZ, S., MÉNDEZ, G., MEJÍA, J. “Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México”. *Tropical and subtropical agroecosystems* [en línea], 2009, (México) 10(1), pp. 29-44. [Consulta: 25 septiembre 2021]. ISSN 1870-0462. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>

RODRÍGUEZ, N., MCLAUGHLIN, M., PENNOCK, D. *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. 1ª ed. Roma: Russian Federation. 2019. [Consulta: 14 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

RUCKS, L., GARCÍA, F., KAPLÁN, A., PONCE DE LEÓN, J., HILL, M. *Propiedades físicas del suelo* [Educativo]. 1ª ed. Montevideo-Uruguay: República, 2004. [Consulta: 24 septiembre 2021]. Disponible en: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>

SAENZ, F. Estudio preliminar del proceso de vitrificación de residuos peligrosos por vía térmica (Trabajo de titulación) (maestría). [Tesis] Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. (Bogotá-Colombia). 2006. pp. 7 – 8 [Consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9304/u276944.pdf?sequence=1>

SALAZAR, J. *Definición de los electrodos* [Blog]. 2021. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/167616260/Definicion-de-los-electrodos>

SANZANO, A. “Procesos pedogenéticos fundamentales”. *Cátedra de edafología* [en línea], 2019, (Argentina) 1(1), pp. 1-12. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: https://es.slideshare.net/suelos_IPA/genesis-7-procesos-pedogeneticos-fundamentales-x

SIERRA, A. “Manual de fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Santiago”, *INIA, 1,1* (2002), (Chile).

SÁNCHEZ, M., Y SÁNCHEZ, M. *Los plaguicidas adsorción y evolución en el suelo* [Divulgación]. 1ª ed. Salamanca-España: CeresNet, 1984. [Consulta: 21 septiembre 2021]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/12919/1/plaguicidas.pdf%3B>

SUÁREZ, G., CAMPOS, A., CRUZ, L. “Dinámica del carbono y nitrógeno del suelo en ecosistemas de la costa tropical seca, en la mancha (cicolma), Veracruz, México”. *Tropical and subtropical agroecosystems* [en línea], 2015, (México) 18(3), pp. 347-361. [Consulta: 31 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93944043009.pdf>

TORTOSA, G. *Índice de germinación de Zucchini, la prueba más usada para saber la madurez de un compost* [Blog]. 2013. [Consulta: 10 abril 2022]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/12/test-de-zucchini-o-indice-de-germinacion-de-un-compost-html/>

TELLO, D. *Empresas que provisionan productos de ciclo corto en el país, sus formas de registro y funcionalidad en empresas agrícolas familiares (Trabajo de titulación) (Ingeniería).* Universidad Técnica de Machala, Ciencias empresariales. (Machala-Ecuador). 2015. p. 12. [Consulta: 28 septiembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3584/1/ECUACE-2015-CA-CD00213.pdf>

TOALOMBO, R. *Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos aplicados en el cultivo de cebolla blanca (Allium fistulosum) (Trabajo de investigación) (Ingeniería).* [Tesis] Universidad técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica. (Cevallos-Ecuador). 2012. 18 – 21 [Consulta: 28 septiembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2217>

TRADECORP A ROVENSA COMPANY. *Importancia de los quelatos en la agricultura* [Blog]. 30 agosto, 2021. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://tradecorp.mx/importancia-de-los-quelatos-en-la-agricultura/>

WORDPRESS.ORG. *Energía radiante* [Blog]. 2021. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <https://conceptoabc.com/energia-radiante/>

WUANA, R., Y OKIEIMEN, F. “Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation”. *International Scholarly Research Network* [en línea], 2011, (Nigeria) 2011(1), p. 20. [Consulta: 22 septiembre 2021].

DOI:10.5402/2011/402647.

Disponible

en:

<https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/402647/>

ZUCCONI, F., PERA, M., BERTOLI, M. "Evaluations toxicity in immature compost".
BioCycle, 22, 1 (1981), pp. 54 - 57.


D.B.R.A.I.
Ing. Cristhian Castillo



ANEXOS

ANEXO A. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO Y BIOMASA VEGETAL.



Figura 1.3. Reconocimiento de la zona de estudio.



Figura 2.3. Recolección de muestras de suelo con barreno.



Figura 3.3. Empaque de 1 kg de muestra con su respectiva codificación.



Figura 4.3. Muestras de suelo recolectadas y etiquetadas para transporte al laboratorio.



Figura 5.3. Recolección de biomasa vegetal de cebolla.



Figura 6.3. Pesaje en el predio de cultivos para parámetros morfológicos.

ANEXO B. DOSIFICACIÓN DEL SUELO, SIEMBRA Y CONTROL DE PLAGAS.



Figura 7.3. Pesaje de enmiendas orgánicas y fertilizantes inorgánicos para dosificación.



Figura 8.3. Dosificación de suelos según su tratamiento correspondiente.



Figura 9.3. Construcción de caballones en cada parcela.



Figura 10.3. Siembra de cebolla.



Figura 11.3. Fumigación para control de plagas.



Figura 12.3. Control periódico de sembrío.

ANEXO C. PRE TRATAMIENTO DE MUESTRAS DE SUELO Y BIOMASA VEGETAL.



Figura 13.3. Secado de muestras de suelo.



Figura 15.3. Tamizado de muestras de suelo.



Figura 16.3. Separación y clasificación de partes vegetales.



Figura 17.3. Secado de biomasa vegetal.



Figura 18.3. Molienda y triturado de biomasa vegetal.

ANEXO D. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SUELO.



Figura 19.3. Preparación de muestras para medir densidad real y pesaje del picnómetro.



Figura 20.3. Preparación de muestras de suelo para determinar textura.



Figura 21.3. Pesaje de muestras de suelo para determinar C y N.



Figura 22.3. Preparación de muestras de suelo para determinar pH y conductividad eléctrica.

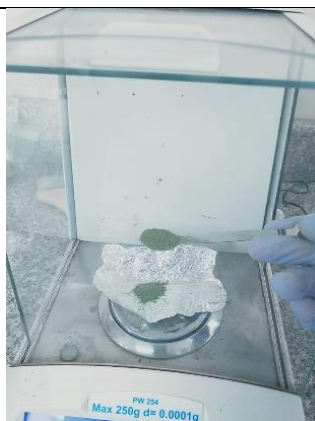


Figura 23.3. Pesaje de muestra vegetal para determinar pH y CE.



Figura 24.3. Crisoles etapa inicial y final para determinar porcentaje de materia orgánica.

ANEXO E. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS Y MACRONUTRIENTES EN SUELO Y BIOMASA POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON ATOMIZACIÓN POR LLAMA.



Figura 25.3. Digestiones ácidas de muestras de suelo con ácido nítrico.



Figura 26.3. Digestiones ácidas de muestras vegetales con ácido sulfúrico.



Figura 27.3. Filtrado de digestiones ácidas en tubos Falcon.



Figura 28.3. Preparación de soluciones madre para estándares de P y K.





Figura 29.3. Análisis de cadmio y mercurio.



Figura 30.3. Resultados de análisis de metales pesados y macronutrientes en suelo y biomasa vegetal.

ANEXO F: CERTIFICADOS DE CALIDAD DE ESTÁNDARES DE METALES PESADOS.

Certificado de Cadmio

Certificate

This certificate is designed in accordance with ISO Guide 31¹⁾.

Object of certification: Cadmium Standard for AAS
Product No.: 51994
Lot: BCCD0987
Composition: Cadmium metal (pure material) in 2% HNO₃ (prepared with HNO₃, suitable for trace analysis and high-purity water, 18.2 MΩcm, 0.22 µm filtered).
Density at 20°C: ρ = 1010.7 kg m⁻³ u(ρ) = 0.5 kg m⁻³
Intended use: Calibration of AAS, ICP, spectrophotometry or any other analytical technique.
Storage and handling: This reference material shall be stored between 5 °C and 30 °C. Before every use of the material the bottle must be shaken well and its temperature has to be 20 °C. If storage of a partially used bottle is necessary, the cap should be tightly sealed and the bottle should be stored at reduced temperature (e.g. refrigerator) to minimize transpiration rate.
Expiry date: MAR 2023
Certificate issue date: 17 JUN 2020
Certification version: 01
Bottle opening date: _____

Certified value traceable to SI unit kg and uncertainty according to ISO Guide 31 ¹⁾ and Eurachem/CITAC Guide ¹²⁾		
Constituent	Certified value at 20°C and expanded uncertainty [U] = k · u, k = 2	
Cadmium	989 mg kg⁻¹ ± 4 mg kg⁻¹	1000 mg L⁻¹ ± 4 mg L⁻¹

1. CONCEPT OF CERTIFICATION AND TRACEABILITY STATEMENT
 To guarantee top reliability of the values for this TraceCERT[®] certified reference material three independent procedures were followed. The values have to agree in the range of their uncertainties, but the impurity content value from the gravimetric preparation has been chosen as certified value¹³⁾.
 1. Gravimetric preparation using pure materials is a practical realization of concentration units, through conversion of masses and mole fraction to mass fraction¹⁴⁾. If the purity of the materials is demonstrated and if contamination and loss of material is strictly prevented this approach allows highest accuracy and small uncertainties. The certified value of TraceCERT[®] reference materials is based on this approach and directly traceable to the SI unit kilogram.
 Therefore comprehensively characterized materials of highest purity are used (see paragraph 2). All balances are certified by DKD and calibrated with OIML Class E2 (up to 12 kg) and F2 (up to 64 kg) weights. The bulk solution was homogenized by overhead tumbling in a PVDF container for at least 6 hours. A peristaltic pump with perfluorinated polymer tubing was used for bottling.
 2. The starting material is measured against a certified reference material (e.g. NIST or BAM) followed by gravimetric preparation using balances calibrated with SI-traceable weights. Consequently the value calculated by this unbroken chain of comparisons is traceable to the reference to which the starting material is compared.
 3. Whenever applicable the bottled TraceCERT[®] calibration solution is compared to a second reference which is independent from the first reference.

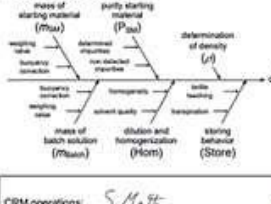
2. PURITY OF STARTING MATERIALS
 For high purity materials (P > 99.9%) the most appropriate way of purity determination is to quantify the impurities (v_i) and to subtract the sum from 100%. Impurities below the detection limit are considered with a contribution of half of the detection limit (DL_i).

$$P = 100\% - \sum v_i - \sum \left(\frac{DL_i}{2} \right)$$

Water containing materials were dried to absolute dryness by individual drying conditions (up to 600°C). When drying is impossible due to decomposition water was determined by high-precision KF-titration at Sigma-Aldrich. High purity water (18.2 MΩcm, 0.22 µm filtered, all metallic traces at ng kg⁻¹-level) and high purity acid for trace analysis were used for preparation.

3. TRACEABILITY MEASUREMENTS
 Only internationally accepted reference materials e.g. from NIST (USA) or BAM (Germany) have been carefully selected to provide the basis for traceability to the SI unit mole. When no such reference is available, an elemental metal or an adequate salt of highest available purity is used to confirm traceability to this pure material (and therefore to the SI unit kg).
 To underpin the certified gravimetric value all traceability measurements are performed with the most accurate and precise analytical technique available. Therefore titrimetric measurement series are applied whenever possible (corrected for trace impurities). When no titrimetric technique is available, the traceability measurements are performed with another analytical technique, e.g. ICP-OES or AAS.
 Reference and applied technique used for traceability measurements of the starting material: NIST SRM 728 / complexometric titration
 bottled solution: BAM 365 / complexometric titration

4. UNCERTAINTY EVALUATION
 All uncertainties are calculated according to Eurachem/CITAC Guide¹²⁾ and reported as combined expanded uncertainties at the 95% confidence level. For gravimetric preparation the uncertainty contributions are illustrated by the following cause-effect diagram¹⁵⁾.



Typical contributions:

- u(m_{SM}) < 0.01%
- u(P_{SM}) < 0.01%
- u(ρ_{SM}) < 0.05%
- u(Hom) < 0.03%
- u(Store) < 0.17%
- u(r) < 0.05%



Combined uncertainty¹⁶⁾:

- u(C_{SM}) < 0.2%

Expanded uncertainty:

- U(C_{SM}) < 0.4%

Certificado de Mercurio

Certificate

This certificate is designed in accordance with ISO Guide 31¹⁾.

Object of certification: Mercury Standard for AAS
Product No.: 16482
Lot: BCCB9030
Composition: Mercury metal (pure material) in 12% HNO₃ (prepared with HNO₃, suitable for trace analysis and high-purity water, 18.2 MΩcm, 0.22 µm filtered).
Density at 20°C: ρ = 1067.5 kg m⁻³ u(ρ) = 0.5 kg m⁻³
Intended use: Calibration of AAS, ICP, spectrophotometry or any other analytical technique.
Storage and handling: This reference material shall be stored between 5 °C and 30 °C. Before every use of the material the bottle must be shaken well and its temperature has to be 20 °C. If storage of a partially used bottle is necessary, the cap should be tightly sealed and the bottle should be stored at reduced temperature (e.g. refrigerator) to minimize transpiration rate.
Expiry date: JUL 2022
Certificate issue date: 16 AUG 2019
Certification version: 01
Bottle opening date: _____

Certified value traceable to SI unit kg and uncertainty according to ISO Guide 31 ¹⁾ and Eurachem/CITAC Guide ¹²⁾		
Constituent	Certified value at 20°C and expanded uncertainty [U] = k · u, k = 2	
Mercury	937 mg kg⁻¹ ± 4 mg kg⁻¹	1'000 mg L⁻¹ ± 4 mg L⁻¹

1. CONCEPT OF CERTIFICATION AND TRACEABILITY STATEMENT
 To guarantee top reliability of the values for this TraceCERT[®] certified reference material three independent procedures were followed. The values have to agree in the range of their uncertainties, but the impurity content value from the gravimetric preparation has been chosen as certified value¹³⁾.
 1. Gravimetric preparation using pure materials is a practical realization of concentration units, through conversion of masses and mole fraction to mass fraction¹⁴⁾. If the purity of the materials is demonstrated and if contamination and loss of material is strictly prevented this approach allows highest accuracy and small uncertainties. The certified value of TraceCERT[®] reference materials is based on this approach and directly traceable to the SI unit kilogram.
 Therefore comprehensively characterized materials of highest purity are used (see paragraph 2). All balances are certified by DKD and calibrated with OIML Class E2 (up to 12 kg) and F2 (up to 64 kg) weights. The bulk solution was homogenized by overhead tumbling in a PVDF container for at least 6 hours. A peristaltic pump with perfluorinated polymer tubing was used for bottling.
 2. The starting material is measured against a certified reference material (e.g. NIST or BAM) followed by gravimetric preparation using balances calibrated with SI-traceable weights. Consequently the value calculated by this unbroken chain of comparisons is traceable to the reference to which the starting material is compared.
 3. Whenever applicable the bottled TraceCERT[®] calibration solution is compared to a second reference which is independent from the first reference.

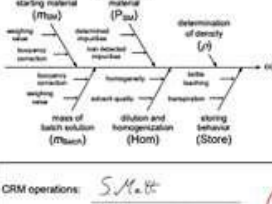
2. PURITY OF STARTING MATERIALS
 For high purity materials (P > 99.9%) the most appropriate way of purity determination is to quantify the impurities (v_i) and to subtract the sum from 100%. Impurities below the detection limit are considered with a contribution of half of the detection limit (DL_i).

$$P = 100\% - \sum v_i - \sum \left(\frac{DL_i}{2} \right)$$

Water containing materials were dried to absolute dryness by individual drying conditions (up to 600°C). When drying is impossible due to decomposition water was determined by high-precision KF-titration at Sigma-Aldrich. High purity water (18.2 MΩcm, 0.22 µm filtered, all metallic traces at ng kg⁻¹-level) and high purity acid for trace analysis were used for preparation.

3. TRACEABILITY MEASUREMENTS
 Only internationally accepted reference materials e.g. from NIST (USA) or BAM (Germany) have been carefully selected to provide the basis for traceability to the SI unit mole. When no such reference is available, an elemental metal or an adequate salt of highest available purity is used to confirm traceability to this pure material (and therefore to the SI unit kg).
 To underpin the certified gravimetric value all traceability measurements are performed with the most accurate and precise analytical technique available. Therefore titrimetric measurement series are applied whenever possible (corrected for trace impurities). When no titrimetric technique is available, the traceability measurements are performed with another analytical technique, e.g. ICP-OES or AAS.
 Reference and applied technique used for traceability measurements of the starting material: NIST SRM 728 / complexometric titration
 bottled solution: BAM 365 / complexometric titration

4. UNCERTAINTY EVALUATION
 All uncertainties are calculated according to Eurachem/CITAC Guide¹²⁾ and reported as combined expanded uncertainties at the 95% confidence level. For gravimetric preparation the uncertainty contributions are illustrated by the following cause-effect diagram¹⁵⁾.



Typical contributions:

- u(m_{SM}) < 0.01%
- u(P_{SM}) < 0.01%
- u(ρ_{SM}) < 0.05%
- u(Hom) < 0.03%
- u(Store) < 0.17%
- u(r) < 0.05%

Combined uncertainty¹⁶⁾:

- u(C_{SM}) < 0.2%

Expanded uncertainty:

- U(C_{SM}) < 0.4%



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: 25 / 05 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Carlos Anthony Chávez Campos Pablo Alberto Garófalo Véliz
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.


D.B.R.A.I.
Ing. Christian Castillo



0959-DBRA-UTP-2022