



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD EN LAS CONCENTRACIONES DE  
METALES PESADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE POLVO DE ROCA  
CALIZA EN SUELOS HORTÍCOLAS EN LA PARROQUIA SAN JOAQUÍN,  
CUENCA-ECUADOR”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: JOEL SEBASTIÁN PINEDA NAREA  
JOSÉ ANTONIO ZHININ CHIMBO  
TUTOR: DR. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, Ph.D.

Cuenca - Ecuador  
2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Joel Sebastián Pineda Narea con documento de identificación N° 0106675515 y José Antonio Zhinin Chimbo con documento de identificación N° 0105661177; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 01 de marzo del 2024

Atentamente,



---

Joel Sebastián Pineda Narea

0106675515



---

José Antonio Zhinin Chimbo

0105661177

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Joel Sebastián Pineda Narea con documento de identificación N° 0106675515 y José Antonio Zhinin Chimbo con documento de identificación N° 0105661177, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “Análisis de la variabilidad en las concentraciones de metales pesados mediante la aplicación de polvo de roca caliza en suelos hortícolas en la parroquia San Joaquín, Cuenca-Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de marzo del 2024

Atentamente,

---

Joel Sebastián Pineda Narea

0106675515

---

José Antonio Zhinin Chimbo

0105661177

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Braulio Amaya Pinos con documento de identificación N° 0103444923, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD EN LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE POLVO DE ROCA CALIZA EN SUELOS HORTÍCOLAS EN LA PARROQUIA SAN JOAQUÍN, CUENCA-ECUADOR”, realizado por Joel Sebastián Pineda Narea con documento de identificación N° 0106675515 y por José Antonio Zhinin Chimbo con documento de identificación N° 0105661177, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de marzo del 2024



---

Dr. Jorge Braulio Amaya Pinos, Ph.D.

0103444923

## DEDICATORIA

*Primero que nada, quiero dar gracias a Dios y la Virgen del Cisne por mantenerme firme y brindarme de sabiduría para culminar esta etapa tan especial e importante de mi vida.*

*Quiero agradecer a mis padres José y Zoila a mi hermana Sara y a mi tío Sebastián por siempre brindarme su apoyo incondicional, por todos los consejos y regaños todos absolutamente todos han sido de gran ayuda para llegar hasta esta meta. Muchas Gracias Familia.*

*Por último, quiero agradecer a mis amigos y compañeros que fueron parte de todo este proceso universitario, llevare muy dentro de mi cada una de las experiencias vividas.*

*José Antonio Zhinin*

## DEDICATORIA

*Agradezco profundamente a mi familia por el amor incondicional, el sacrificio y el apoyo continuo que me han brindado en cada paso de este proceso universitario.*

*A mis amigos, quienes han sido mi fuente de alegría, risas y compañía a lo largo de esta travesía, les agradezco por estar siempre presentes, por compartir conmigo las alegrías y las dificultades, por celebrar mis logros. A cada uno de ustedes, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por ser parte fundamental de este viaje.*

*Sebastián Pineda*

## INDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| <b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....                                     | 1  |
| 1.1 Problema de estudio .....                                   | 1  |
| 1.2 Delimitación .....  | 2  |
| 1.3 Preguntas de investigación .....                            | 4  |
| 1.4 Objetivos: .....  | 4  |
| <b>Objetivo general:</b> .....                                  | 4  |
| <b>Objetivos específicos:</b> .....                             | 4  |
| 1.5 Hipótesis .....   | 4  |
| <b>2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....                           | 4  |
| 2.1 Suelo .....   | 5  |
| 2.2 Agricultura convencional.....                               | 5  |
| 2.3 Agroquímicos .....  | 5  |
| <b>Fertilizantes</b> .....                                      | 5  |
| <b>Residuos de los fertilizantes</b> .....                      | 6  |
| 2.4 Tipo de rocas.....  | 8  |
| <b>2.4.1 Rocas sedimentarias</b> .....                          | 8  |
| 2.5 Polvo de roca .....   | 8  |
| <b>2.5.1 Polvo de roca empleado en la experimentación</b> ..... | 9  |
| <b>2.5.2 Dosis de aplicación</b> .....                          | 9  |
| 2.6 Propiedades del tipo de roca.....                           | 9  |
| <b>3.MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                             | 9  |
| 3.1 Metodología.....  | 9  |
| 3.2 Diseño experimental: .....                                  | 10 |
| 3.3 Implementación del polvo de roca al suelo .....             | 12 |
| 3.4 Determinación de metales pesados en suelos hortícola.....   | 15 |
| 3.5 Equipos y materiales.....                                   | 15 |
| 3.6 Procedimiento .....   | 15 |
| <b>Calcinado al Horno</b> .....                                 | 16 |
| <b>Digestión Acida</b> .....                                    | 16 |
| <b>Espectrometría de absorción atómico IPC</b> .....            | 17 |
| 3.7 Características físico – químico del suelo .....            | 19 |
| <b>Color del suelo</b> .....                                    | 19 |
| <b>Humedad</b> .....  | 19 |
| <b>Textura</b> .....  | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 3.8 Análisis Químico .....   | 21 |
| Potencial de Hidrogeno .....   | 21 |
| 3.9 Protocolos .....   | 21 |
| <b>Instrumentos para el análisis estadístico:</b> .....  | 21 |
| <b>4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....  | 22 |
| 4.1 Análisis preliminar del suelo .....  | 22 |
| 4.3. Indicadores Físicos del suelo .....   | 24 |
| <b>4.3.1 Calcinación</b> .....   | 24 |
| <b>4.3.2 Color de suelo</b> .....  | 25 |
| <b>4.3.3. Textura del suelo</b> .....  | 25 |
| 4.4 Análisis químico del suelo .....   | 29 |
| <b>4.4.1. Determinación del (pH)</b> .....   | 29 |
| 4.5 Resultado de concentraciones de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en suelos<br>hortícola postratamiento. .... | 30 |
| 4.6 Concentraciones promedias de metales pesados en el suelo postratamiento .....                                  | 31 |
| <b>Concentración promedio de plomo (Pb)</b> .....  | 31 |
| <b>Concentración promedio de cadmio (Cd)</b> .....   | 32 |
| <b>Concentración promedio de Arsénico (As)</b> .....   | 32 |
| <b>Concentración promedio de Mercurio (Hg)</b> .....   | 33 |
| 4.7 Estadística descriptiva .....  | 35 |
| 4.8 Prueba de hipótesis .....  | 39 |
| 4.9 Toma de decisión .....   | 40 |
| 4.10 Discusión .....   | 41 |
| <b>5. CONCLUSIÓN</b> .....   | 42 |
| <b>6.BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | 43 |
| <b>ANEXOS</b> .....  | 48 |



## INDICE DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| <i>Ilustración 1: Zona de Estudio (Hacienda en San Joaquín)</i>               | 2  |
| <i>Ilustración 2: Delimitación de la zona de estudio por parcelas</i>         | 3  |
| <i>Ilustración 3: Puntos de muestreo por cada parcela</i>                     | 10 |
| <i>Ilustración 4: Muestras homogeneizadas correspondiente a cada parcela.</i> | 11 |
| <i>Ilustración 5: Polvo de roca</i>   | 12 |
| <i>Ilustración 6: Proceso de secado al aire libre</i>                         | 20 |
| <i>Ilustración 7: Determinación de Color de suelo</i>                         | 25 |
| <i>Ilustración 8: Prueba de contenido de arcilla, limo y arena</i>            | 27 |
| <i>Ilustración 9: Aplicación de la Prueba de contenido</i>                    | 28 |

## INDICE DE GRAFICOS

|   |    |
|---|----|
| <i>Gráfico 1: Dosis aplicadas por cada tratamiento</i>  | 13 |
| <i>Gráfico 2: Concentraciones promedias de los análisis preliminares de Pb, Cd, As y Hg en el suelo</i> | 23 |
| <i>Gráfico 3: Porcentaje de Humedad del suelo</i>   | 24 |
| <i>Gráfico 4: Porcentaje de calcinación del suelo</i>   | 24 |
| <i>Gráfico 5: Concentraciones promedias de Pb en el suelo</i>   | 31 |
| <i>Gráfico 6: Concentraciones promedias de Cd en el suelo</i>   | 32 |
| <i>Gráfico 7: Concentraciones promedias de As en el suelo</i>   | 32 |
| <i>Gráfico 8: Concentraciones promedias de Hg en el suelo</i>   | 33 |
| <i>Gráfico 9: Concentración de Pb, Hg, As y Cd vs Dosis de polvo de roca</i>                            | 33 |
| <i>Gráfico 10: Concentración de Pb, Hg, As y Cd vs Dosis de polvo de roca</i>                           | 34 |
| <i>Gráfico 11: Diagrama de Caja-Bigotes de Pb.</i>  | 36 |
| <i>Gráfico 12: Diagrama de Caja-Bigotes de Cd.</i>  | 37 |
| <i>Gráfico 13: Diagrama de Caja-Bigotes de As.</i>  | 38 |
| <i>Gráfico 14: Diagrama de Caja-Bigotes de Hg.</i>  | 39 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 1: Muestreo de suelo por cada parcela</i>                     | 10 |
| <i>Figura 2: Homogeneización de muestras por cada parcela.</i>          | 11 |
| <i>Figura 3: Muestras homogeneizadas por cada parcela.</i>              | 11 |
| <i>Figura 4: Dosis del bio-restaurador Mineral Natural</i>              | 13 |
| <i>Figura 5: Diseño de bloques al azar, tratamientos y repeticiones</i> | 14 |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <i>Tabla 1: Ficha Técnica del polvo de roca caliza</i>   | 8  |
| <i>Tabla 2: Niveles de Concentración de Metales pesados</i>  | 22 |
| <i>Tabla 3: Concentraciones (ppm) de los promedios de los análisis preliminares</i>                        | 23 |
| <i>Tabla 4: Prueba de Cohesión</i>   | 26 |
| <i>Tabla 5: Prueba de lanzamiento</i>  | 27 |
| <i>Tabla 6: Clases textuales de suelos</i>   | 28 |
| <i>Tabla 7: Resultados Obtenidos de pH</i>   | 29 |
| <i>Tabla 8: Características Físico Químicas del Suelo</i>  | 29 |
| <i>Tabla 9: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 0gr de polvo de roca</i>                 | 30 |
| <i>Tabla 10: Concentraciones de metales pesados con tratamiento a 25gr de polvo de roca</i>                | 30 |
| <i>Tabla 11: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 50gr de polvo de roca.</i>              | 30 |
| <i>Tabla 12: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 75gr de polvo de roca.</i>              | 31 |
| <i>Tabla 13: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 100gr de polvo de roca</i>              | 31 |
| <i>Tabla 14: Estadística descriptiva de las concentraciones de plomo, cadmio, arsénico y mercurio(ppm)</i> | 35 |
| <i>Tabla 15: Valores de la prueba Shapiro-Wilk por RStudio y SPSS Statistics</i>                           | 35 |
| <i>Tabla 16: Análisis de Pb mediante la prueba de Kruskal Wallis</i>                                       | 36 |
| <i>Tabla 17: Análisis Cd mediante la prueba de Kruskal Wallis</i>  | 37 |
| <i>Tabla 18: Análisis de As mediante la prueba de Kruskal Wallis</i>                                       | 38 |
| <i>Tabla 19: Análisis de Hg mediante la prueba de Kruskal Wallis</i>                                       | 39 |
| <i>Tabla 20: Resultado de la prueba de Kruskal Wallis</i>  | 40 |
| <i>Tabla 21: Resumen de la Prueba de Tukey As</i>  | 40 |
| <i>Tabla 22: Resumen de la Prueba de Tukey Pb</i>  | 41 |
| <i>Tabla 23: Resumen de la Prueba de Tukey Cd</i>  | 41 |

# 1.INTRODUCCIÓN

## 1.1 Problema de estudio

Esta investigación está enfocada en analizar las concentraciones de metales pesados en los suelos hortícola, los cuales pueden ser potenciales generadores de problemas al ambiente como por ejemplo en el uso indiscriminado de agroquímicos, específicamente en los fertilizantes, por su potencial impacto en la calidad y seguridad de los alimentos, ejemplo de estos metales como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As) y cromo (Cr) y entre otros, son considerados contaminantes tóxicos que pueden acumularse en los tejidos vegetales y animales, presentando un riesgo para el ecosistema y la salud humana. Y siendo un tema de creciente importancia en contextos de sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria. En este sentido Orsag y Niura (2012), evaluaron su presencia específicamente de Pb, As, Cd, Zn, en suelos agrícolas y de cultivos en 3 microcuencas de Poopó, Bolivia divididas en tres partes; bajo, medio y alto. Donde se muestrearon suelos de parcelas agrícolas y cultivos de fracción comestible de papa, haba, cebada y alfalfa usando el método de ESPECTROFOTOMETRIA de Absorción Atómica, dando como resultado en los suelos agrícolas de las tres microcuencas como contaminados por arsénico, llegando a superar los nivel peligroso (V.Niura.A., 2012).

En complemento, Valdés, Morgado, Guridi y Balbín (2015), han llevado a cabo estudios del riesgo agroambiental por metales pesados (Cu, Ni, Cd, Pb) en suelos con cultivos de *Solanum* y *Oryza sativa L* donde se evaluó el contenido de metales pesados en los diferentes órganos de la papa concretamente tubérculos, hojas y tallos además de sus concentraciones en suelo mediante indicadores bioquímicos-fisiológicos y con la evaluación agroecológica del área. Donde se presentaron altos niveles de metales pesados en sus órganos sin síntomas visibles de fitotoxicidad, así como en los suelos después realizada la cosecha, considerándose como cifras altas. (W.Valdés.C, 2015).

Mendoza-Escalona ,Torres y Merú (2020), analizaron las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza donde se evaluó los riesgos en suelos agrícolas de la localidad de Turén -Venezuela, donde se midió la concentración de As ,Cd, , Co, Zn, Fe, Cu ,Mn, Se y Ni en suelos bajo sistemas de labranza convencional y siembra directa mediante fluorescencia de rayos X. donde los resultados mostraron un contenido de Cu, Co Ni, Cd y Zn mayor en el sistema de siembra directa debido al uso prolongado de los abonos fosfatados además de su contenido de

arcilla. Al final se registraron valores de Cd, Cu y Co por encima de los permitidos por las normas ambientales internacionales. Concluyendo que tanto el sistema de labranza convencional y el de siembra directa, presentan niveles alto metales por el uso continuo de agroquímicos específicamente fertilizantes fosfatados. (B.Mendoza.E, 2020).

Debido a la problemática ambiental asociada a los niveles o concentraciones altas de metales presentes en el suelo agrícola resulta importante el plantear técnicas de mejora y control de los niveles de contaminación en el sector agrícola y hortícola e incluso en buscar nuevos métodos de implementación con el objetivo de mejorar la producción de suelos agrícolas.

El alcance generado a través de esta investigación puede beneficiar directamente a los como por ejemplo en la investigación realizada dentro del área de estudio (agricultores de la Hacienda de San Joaquín) y de manera indirecta a, todos los consumidores que se beneficiarán indirectamente de este estudio, contribuyendo a la producción de alimentos seguros y de calidad, mejorando la confianza del consumidor promoviendo la seguridad alimentaria. Adicionalmente, esta investigación proporciona una base para futuras investigaciones y contribuyendo al conocimiento científico sobre la aplicación de polvo de roca en la variabilidad de metales pesados en suelos. El campo investigativo y académicos pueden utilizar esta información para expandir el campo de estudio y desarrollar nuevas estrategias para la gestión sostenible de suelos contaminados. Este proyecto se enmarca en la línea de investigación de Biorremediación ambiental dentro del grupo de investigación en Biotecnología y Ambiente (INBIAM) y en la línea de investigación de Tecnologías aplicadas a los recursos naturales dentro del grupo de investigación y valoración de la biodiversidad (GIVABI).

## **1.2 Delimitación**

### Zona de Estudio

#### Características:

El estudio se realizó en una Hacienda localizada en la parroquia de San Joaquín, en la ciudad de Cuenca, Ecuador. La zona cuenta con un clima templado y una altitud aproximada de 2591m.s.n.m. parte más baja y -4340 m.s.n.m. en su parte más alta con una altitud de 2° 53.818'S y longitud de 79° 2.583'O. La topografía de la zona es montano, montano alto, montano alto superior y subnivel. (W.Berrezueta.B., 2015).

*Ilustración 1: Zona de Estudio (Hacienda en San Joaquín)*

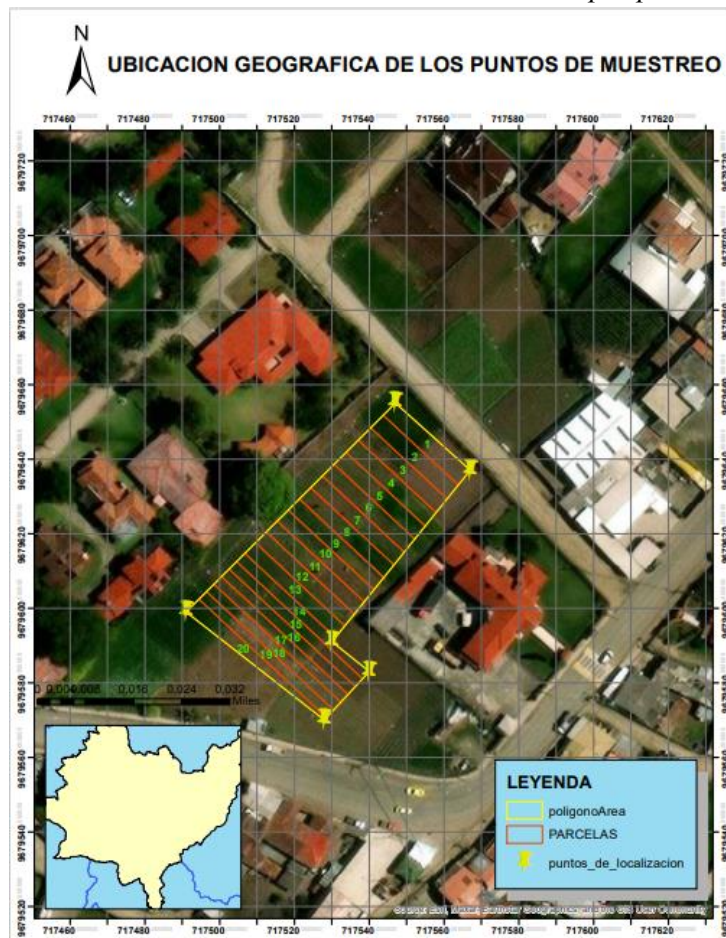


*Elaborado por: Autores*

### **Delimitación del área de estudio**

Se delimito el área de estudio creando 6 puntos de localización y trazando un polígono mediante los softwares Google Earth y ARCGIS respectivamente, obteniendo así la delimitación del área en 20 parcelas de partes iguales con el objetivo de poder realizar el posterior muestreo del suelo como se puede apreciar en la ilustración 2.

*Ilustración 2: Delimitación de la zona de estudio por parcelas*



*Elaborado por: Autores*

Obteniendo 20 parcelas con un área de 132 m<sup>2</sup> cada una y contando con un área total de estudio de 2640m<sup>2</sup>.

### 1.3 Preguntas de investigación

- ¿Por qué es importante determinar las composiciones fisicoquímicas del suelo en la investigación?
- ¿Para qué se va a aplicar polvo de roca en suelos de producción hortícola?
- ¿Cómo se va a representar la variabilidad de las concentraciones de metales pesados?

### 1.4 Objetivos:

#### Objetivo general:

- Analizar la variabilidad de las concentraciones de metales pesados mediante la aplicación de polvo de roca caliza en suelos hortícolas en la parroquia San Joaquín, Cuenca-Ecuador

#### Objetivos específicos:

- Determinar las concentraciones de metales pesados mediante técnicas analíticas de laboratorio (método de la EPA 3051) en suelos hortícola.
- Diagnosticar el efecto del polvo de roca caliza en la concentración de metales pesados en suelos de producción hortícola.
- Representar la variabilidad de las concentraciones de metales pesados mediante método estadístico.

### 1.5 Hipótesis

- **H<sub>1</sub>**: La aplicación de polvo de roca en el suelo tiene un efecto significativo en la variabilidad en las concentraciones de metales pesados.
- **H<sub>0</sub>**: La aplicación de polvo de roca en el suelo no tiene un efecto significativo en la variabilidad en las concentraciones de metales pesados.

## 2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A través del tiempo el desarrollo de la población ha causado un gran crecimiento de los sistemas de producción ya que no puede existir un crecimiento económico – social sin generar impactos a los recursos renovables y no renovables. Esta demanda de alimentos frente a el crecimiento poblacional genera una problemática en la agricultura como la base de la producción a través del suelo y sus labores de cultivos asumiendo nuevos roles con tecnologías más sofisticadas con el fin de generar mayor productividad, sin embargo, la inclusión de agroquímicos, fertilizantes, pesticidas, entre otros, consiguen incrementar

la producción de una forma poco controlada de acuerdo a la calidad de sus productos acompañado del deterioro del suelo agrícola volviéndose vulnerable por el incremento de sales, iones, concentración de metales pesados y disminución de la fertilidad como efectos del uso de agroquímicos de forma descontrolada.

## **2.1 Suelo**

Por definición edafológica el suelo es una capa delgada que se ha llegado a formar lentamente, a través de los siglos, principalmente por la desintegración de las rocas superficiales, acción del agua, viento y cambios de temperatura. Además de restos de animales y plantas que crecen y mueren dentro o sobre el suelo llegando a ser descompuestos por los microorganismos, llegando a transformarse en materia orgánica y mezclándose en el suelo (Montes, s.f.)

## **2.2 Agricultura convencional**

Es un modelo que tiene principalmente seis prácticas fundamentales en campo como la: Aplicación de fertilizantes inorgánicos, labranza intensiva, irrigación, control químico de plagas, manipulación genética de los cultivos y monocultivos. Siendo una forma de agricultura basada en el uso de agroquímicos, maquinaria para la preparación y sostenimiento de cultivos y riego abundante. (N.Clavijo.P, 2013).

## **2.3 Agroquímicos**

Es definida como una sustancia de síntesis química o natural que tiene el objetivo de reducir, controlar o prevenir ciertos factores de carácter bióticos considerados como plagas o enfermedades que pueden interferir en su producción, elaboración, almacenamiento, comercialización o su transporte. (A.Jaraba.C., 2019)

### **Fertilizantes**

Los fertilizantes compuestos en la agricultura tienen el objetivo de suministrar los nutrientes necesarios a las plantas para su desarrollo. Clasificándose en orgánicos o inorgánicos (Calle, 2021).

### **Fertilizantes químicos**

Referida a todos aquellos que contienen elementos químicos esenciales para el crecimiento o desarrollo de las plantas. Los fertilizantes químicos inorgánicos son aquellos que contienen nutrientes en forma de compuestos inorgánicos, como los nitratos, fosfatos, sulfatos y cloruros. (D.Varricchio, 2016).

## **Residuos de los fertilizantes**

Según D. Varricchio (2016) menciona que los residuos de fertilizantes en el suelo pueden acumularse debido al uso en exceso de los fertilizantes químicos en la agricultura. La cantidad de fertilizantes no utilizados por las plantas pueden permanecer en el suelo en forma de residuos, lo que puede dar como resultado una acumulación a largo plazo de nutrientes innecesarios en el suelo. (D.Varricchio, 2016)

### **Categorías principales:**

- Fertilizantes nitrogenados: Son aquellos que contienen nitrógeno, un nutriente principal para el desarrollo o crecimiento de las plantas.
- Fertilizantes fosfatados: Son aquellos con un contenido de fósforo necesario como nutriente esencial para el desarrollo o crecimiento de las plantas.
- Fertilizantes potásicos: Procedente de un mineral extraído conocido como la roca potásica. (S.Doria, 2018).

Los fosfatos, pueden contener metales como el cadmio en concentraciones variables. (L.Roberts.T, 2014). Estos metales pueden provenir de las fuentes naturales de los fertilizantes o de los procesos de fabricación. Cuando se aplican al suelo, algunos de estos pueden acumularse en el suelo con el tiempo, especialmente si se aplican en exceso, lo que puede dar lugar a la generación de residuos de metales en el suelo (J.Huaraca.F., 2020).

### **Fertilizantes nitrogenados**

En los fertilizantes con mayor contenido en nitrógeno, su principal función es dotar de nutrientes necesario y esenciales a las plantas, como son el potasio, nitrógeno y fósforo, así como otros elementos secundarios y micronutrientes. Sin embargo, esta intensificación agrícola en su uso ha generado que su uso sea intensivo como en el caso de la urea donde no se consideran los efectos negativos que pueden llegar a ocasionar en el suelo como elevar su grado de acidificación. (Z.Peñafilel.S, 2019)

### **Presencia de metales pesados**

Por literatura los suelos pueden contener niveles de cadmio altos debido a las rocas de las que se llegaron a formar en su composición y de forma natural llega a ser una de las vías de incorporación o concentración de cadmio a los suelos agrícolas. Siendo estas rocas la materia prima de casi todos los fertilizantes fosfáticos que pueden contener trazas de metales pesados que varían según su diferente origen geográfico y siendo generalmente superiores al promedio de la corteza terrestre. (L.Chancay.A, 2022)



### **Fósforo inorgánico**

Siendo el fósforo presente principalmente en minerales primarios como por ejemplo en las apatitas, donde este fosforo al no ser asimilable por las plantas es insoluble y difícil de solubilizarse o sus procesos de intercambio se realiza a una velocidad más lenta. (L.Constanza.C, 2014)

### **Efectos en el ambiente**

Para Romero (2009) los efectos de estos metales en el ambiente son bastantes graves pudiendo incluso llegar a cambiar la alcalinidad del suelo, basado en su concentración.

### **Plomo (Pb)**

Como ya se mencionó el plomo es la sustancia que puede estar presente en trazas en los fertilizantes fosfatados dependiendo de su origen geológico y estos en el suelo puede llegar a generar problemas directo a las plantas por su toxicidad y posteriormente a su consumo. El problema en el ambiental por este metal pesado es que se transporta de forma cíclica entre las matrices de agua, suelo y aire (Romero, 2009).

### **Mercurio (Hg)**

Las fuentes de liberación de mercurio son principalmente la incineración de residuos o la combustión del carbono. (Gaioli, Amoedo, & Gonzales, 2012). En la superficie terrestre, el mercurio que se llega a acumular en los suelos llega a ser degradado por los microorganismos o se oxida formando  $Hg_2$ . (EPA, 2023).

### **Cadmio (Cd)**

Es uno de los contaminantes de mayor importancia, debido a su movilidad llegando a reducir el crecimiento, la actividad fotosintética, su contenido de clorofilas principalmente por su persistencia, toxicidad y potencial de bioacumulación (Lalanguí, 2013).

### **Arsénico (As)**

Su contaminación está muy extendida pudiendo afectar a la fertilidad del suelo, alterando sus actividades microbianas disminuyéndola, su biodiversidad debido a su toxicidad y los rendimientos de los cultivos por su fácil dispersión (Rangel & Montañez, 2015)

### **Contaminación del suelo por metales pesados**

En conjunto respecto a estos metales mencionados se puede definir como al incremento anormal de sustancias o introducción que pueden ocasionar un efecto negativo sobre los distintos organismos del suelo y con el tiempo y dependiendo de las características del suelo y del metal pueden solubilizarse, tanto al aire como al agua. (L.Loyde.C, 2022)

## 2.4 Tipo de rocas

Conocer el tipo de roca, definirá la composición de micronutrientes y macronutrientes en el suelo, así como también la cantidad de microorganismos activos en el suelo, ligado a la cantidad de materia orgánica que se encuentre en el mismo. Existen varios tipos de roca, generalmente se clasifican en tres grupos: las rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias.

### 2.4.1 Rocas sedimentarias

Según (Orozco, Branch, & Jiménez, 2004) se pueden formar por acumulación de partículas y sedimentos, que se llegan a formar por la meteorización de más rocas, ya sean, metamórficas, sedimentarias, ígneas, o la acumulación de material con origen biológico.

#### Las rocas carbonaticas sedimentarias

El empleo principal de estas rocas incluye no solo las dolomías sino también las calizas, dependerá de las propiedades mineralógicas, origen geológico y características fisico-químicas. (Ponce & Guambaudo, 2005).

## 2.5 Polvo de roca

Según (Ponce & Guambaudo, 2005) el polvo de roca esta principalmente compuesta por la mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) o carbonato de calcio. La presencia de aragonito debido a su carácter inestable es un indicador de materiales de formación reciente. Composición química: la caliza está compuesta principalmente de carbonato de calcio, pero también puede contener pequeñas cantidades de otros minerales y compuestos como arcillas, cuarzo, feldespato, óxidos de hierro y materia orgánica.

Tabla 1: Ficha Técnica del polvo de roca caliza

| Sample ID | Phases Identified   | Concentration ( $\pm 5$ wt%) |
|-----------|---|------------------------------|
| U210051   | $\text{CaCO}_3$ – Calcite<br>Hexagonal, SG: R-3c (167)<br>PDF# [04-012-0489]  | 97.8%                        |
|           | $\text{SiO}_2$ – Quartz<br>Hexagonal, SG: P3221 (154)<br>PDF# [04-012-0490]   | 0.8%                         |
|           | $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ – Ankerite ??<br>Hexagonal, SG: R-3c (167)<br>PDF# [00-041-0586]          | 0.1%                         |
|           | $\text{ZnCr}_2\text{O}_4$ – Zincochromite ??<br>Cubic, SG: Fd-3m (227)<br>PDF# [04-002-0390]                              | 0.1%                         |
|           | $\text{Na}_{0.31}\text{MnO}_2(\text{H}_2\text{O})_{0.41}$ – Birnessite ??<br>Triclinic, SG: P-1 (2)<br>PDF# [04-013-2200] | <0.1%                        |
|           | Amorphous material **<br>Unidentified phase(s)  | 1.1%<br>n/a                  |

*Fuente:* (Eurofins, 2022)

### **2.5.1 Polvo de roca empleado en la experimentación**

El polvo de roca pertenece al tipo de roca sedimentaria no detrítica, es considerado un fertilizante de origen natural es una opción a los fertilizantes solubles, tiene la capacidad de suministrar al suelo macro y micronutrientes, también denominado como un bio-restaurador mineral de liberación lenta que puede ser utilizado como fuente alternativa a la fertilización convencional o química (Enciso & Duarte, 2016).

De acuerdo con Enciso y colaboradores (2016), presentaron resultados positivos a nivel de campo al utilizar dosis elevadas de este bio-restaurador mineral o polvo de roca al ser un fertilizante no sintético obtenido de roca finamente triturada y con contenido de minerales y oligoelementos.

### **2.5.2 Dosis de aplicación**

Respecto a un estudio realizado En 2019 se evaluaron los efectos de fertilización con harina de roca en parámetros morfológicos para el crecimiento de la planta Moringa mediante un diseño experimental de (BCA) con diferentes tratamientos donde se elevaban sus dosis Donde se evaluó el índice de calidad con variables determinadas como el diámetro, la biomasa radicular, altura, n° de hoja, etc. (A.Rizo.H, 2019)

## **2.6 Propiedades del tipo de roca**

Conocer el tipo de roca, definirá la composición de micronutrientes y macronutrientes en el suelo, así como también la cantidad de microorganismos activos en el suelo, ligado a la cantidad de materia orgánica su pH y capacidad de Interacción del CIC en el suelo Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (FAO, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), 2023).

### **Reacciones químicas del proceso:**

Los carbonatos llegan a garantizar en los suelos valores altos de pH, provocando que metales como el Cd presentan una tendencia a quedar o ser adsorbido por estos carbonatos. (Edafología, 2018)

## **3.MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Metodología**

#### **Experimental y deductiva**

Caracterizado por su amplio nivel experimental y deductivo en donde se incluirá la selección de las áreas de estudio, la determinación de muestras, distribución de los tratamientos experimentales, análisis de las variables, planteamiento de la hipótesis,

recopilación o recogida de datos, análisis de datos y conclusiones a partir del análisis de los resultados experimentales.

### 3.2 Diseño experimental:

#### Recolección de muestras

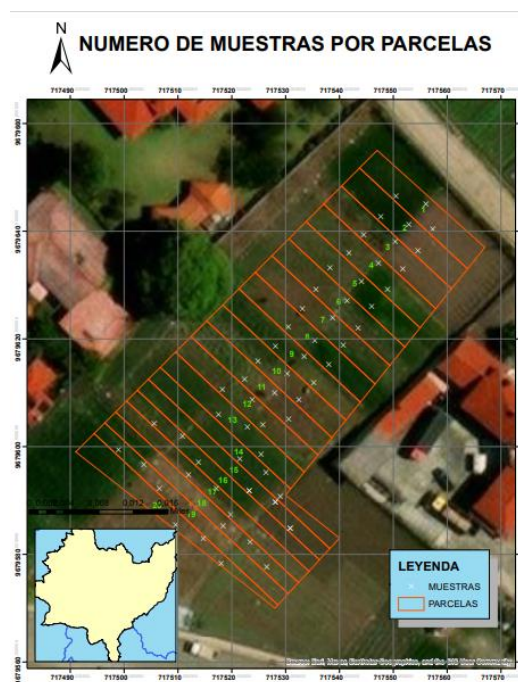
Se procedió a la tomar tres muestras de suelo de aproximadamente 2 kilogramos basados en el recorrido en Zigzag metodología propuesta por la Guía Técnica para Muestreo de Suelos (2017) a una profundidad máxima de 15cm y con una distancia aproximada de 5 a 6 metros en cada parcela delimitada con ayuda de un flexómetro de 100m. (Ilustración 3) y enumerada en toda el área de estudio como se puede evidenciar en la **figura 1** e **ilustración 3**. Donde se justificaría la cantidad de muestras tomadas en cada parcela de acuerdo a la actividad o producción activa de distintos tipos de hortalizas.

*Figura 1: Muestreo de suelo por cada parcela*

|   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |
|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|
| A | 1  | × | 2  | × | 3  | × | 4  | × | 5  | × |
|   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   |
| B | 6  | × | 7  | × | 8  | × | 9  | × | 10 | × |
|   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   |
| C | 11 | × | 12 | × | 13 | × | 14 | × | 15 | × |
|   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   |
| D | 16 | × | 17 | × | 18 | × | 19 | × | 20 | × |
|   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   | ×  |   |

*Elaborado por: Autores*

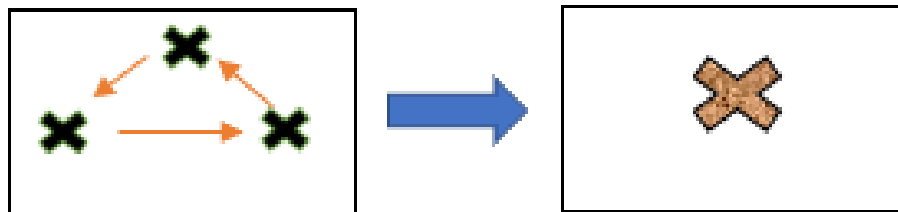
*Ilustración 3: Puntos de muestreo por cada parcela*



*Elaborado por: Autores*

Para su homogenización fue necesario que las tres muestras tomadas en cada parcela se mezclarán y se seleccionará una cantidad de 2 kilogramos de suelo de cada parcela obteniendo 20 muestras para trabajar y realizar los posteriores análisis de suelo como se puede evidenciar en la **figura 2, 3 e Ilustración 4**.

*Figura 2: Homogeneización de muestras por cada parcela.*



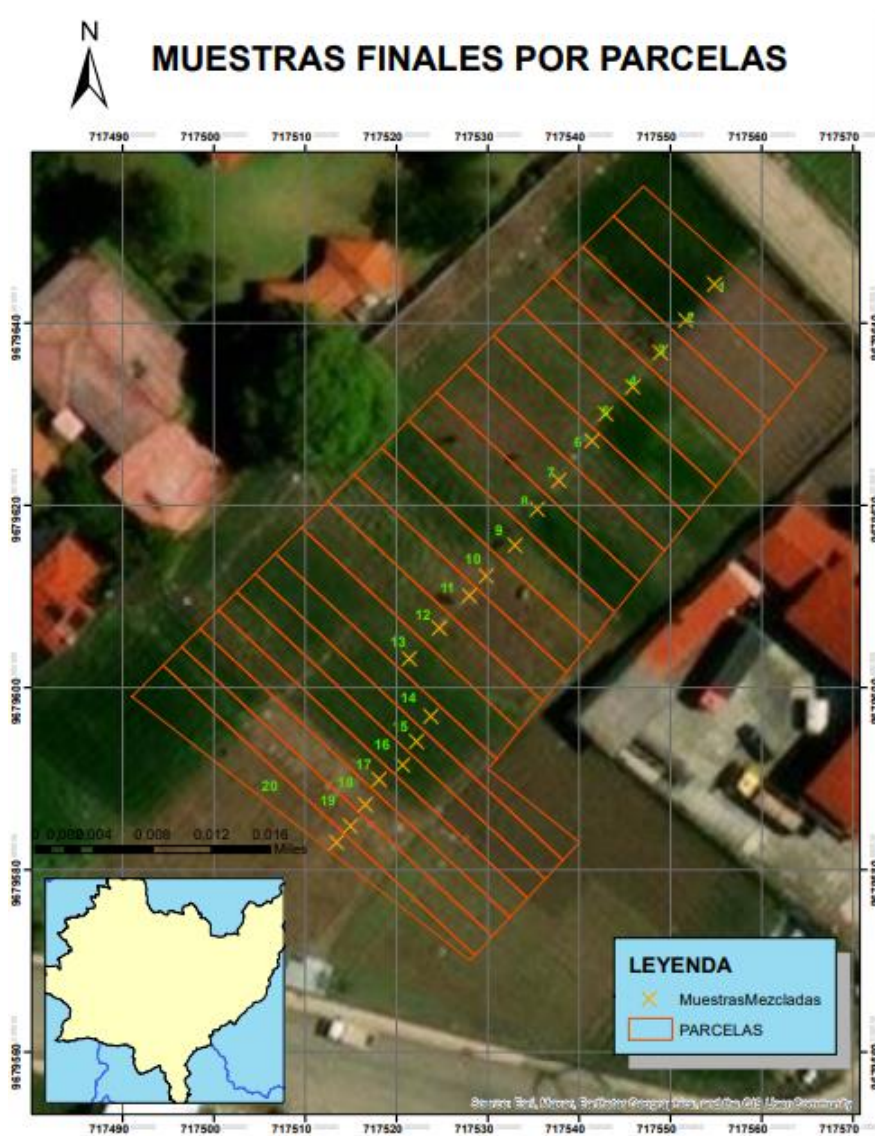
*Elaborado por: Autores*

*Figura 3: Muestras homogeneizadas por cada parcela.*

|          |  |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|--|
| <b>A</b> |  |  |  |  |  |
| <b>B</b> |  |  |  |  |  |
| <b>C</b> |  |  |  |  |  |
| <b>D</b> |  |  |  |  |  |

*Elaborado por: Autores*

*Ilustración 4: Muestras homogeneizadas correspondiente a cada parcela.*



*Elaborado por: Autores*

### 3.3 Implementación del polvo de roca al suelo

*Ilustración 5: Polvo de roca*

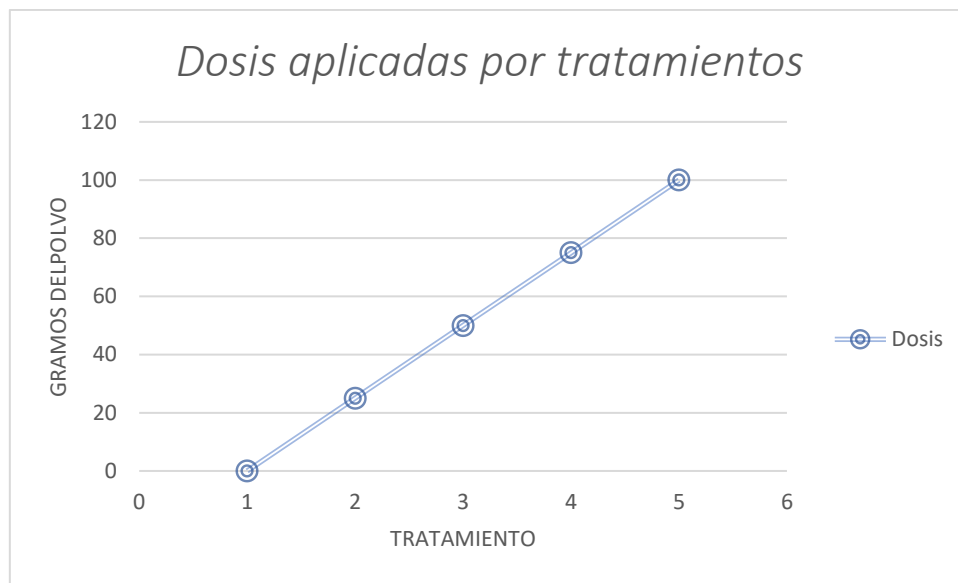


*Fuente: Tomado por los Autores*

Para la aplicación del polvo de roca en cada uno de los puntos representados de las parcelas delimitadas y muestreadas anteriormente, se almaceno 1 kilogramo de suelo de

cada parcela para realizar un análisis preliminar en laboratorio y 1 kilogramo de suelo de las parcelas muestreadas para ser colocadas en 20 mesetas etiquetadas de acuerdo con el DBA con cinco tratamientos con diferentes gramos de polvo de roca con cuatro repeticiones. Mediante un generador de números al azar se asignaron los distintos tratamientos para cada una de las parcelas. A continuación, se describen las dosis en gramos asignados, de acuerdo con cada tratamiento que permaneció en cada maceta durante 30 días, homogenizado con el suelo a diferentes dosis:











*Gráfico 1: Dosis aplicadas por cada tratamiento*



*Elaborado por: Autores*

Basados en las dosis de harina de roca correspondiente al 25%, 50%, 75%, 100%. (A.Rizo.H, 2019), Enciso-Garay, Duarte y Bogado (2016), la productividad presenta respuesta lineal creciente a las dosis aplicadas de polvo de roca. (C. Enciso.G, 2016)





















*Figura 4: Dosis del bio-restaurador Mineral Natural*

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Tratamiento 1</b> | 0 gr →  →    |
| <b>Tratamiento 2</b> | 25 gr →  →   |
| <b>Tratamiento 3</b> | 50 gr →  →   |
| <b>Tratamiento 4</b> | 75 gr →  →   |
| <b>Tratamiento 5</b> | 100 gr →  →  |

*Elaborado por: Autores*

A continuación, se presenta el diseño de bloque al azar de acuerdo a sus tratamientos y repeticiones aplicadas en cada una de las macetas enumerada. (Bioestadística, 2014)

*Figura 5: Diseño de bloques al azar, tratamientos y repeticiones*

|          |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |
|----------|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|
| <b>A</b> | 1  |  | 2  |  | 3  |  | 4  |  | 5  |  |
| <b>B</b> | 6  |  | 7  |  | 8  |  | 9  |  | 10 |  |
| <b>C</b> | 11 |  | 12 |  | 13 |  | 14 |  | 15 |  |
| <b>D</b> | 16 |  | 17 |  | 18 |  | 19 |  | 20 |  |

*Elaborado por: Autores*

### Recolección de las muestras del suelo

Se procedió a tomar y tratar el kilogramo de muestra correspondiente a cada parcela almacenada en cada maceta para su posterior análisis.



### **3.4 Determinación de metales pesados en suelos hortícola**

Se aplicó la metodología espectrometría de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ICP) para la medición o determinación de los niveles de plomo, cadmio, arsénico y mercurio.

### **3.5 Equipos y materiales**

#### **Materiales**

- 2 luna de reloj
- 2 espátulas
- Balanza
- Horno
- 2 pinzas
- 4 crisoles
- 20 tubos de teflón
- Vaso de precipitación 250 ml
- Digestor
- Papel filtro
- 1 micropipetas
- 5 balones de aforo de 50 ml
- 1 balón de aforo de 1000 ml
- 2 pipetas
- Espectrómetro IPC

#### **Reactivos**

- Ácido nítrico al 63.01%
- Gas argón
- El agua Milli-Q

#### **Estándares**

- Cadmio
- Mercurio
- Arsénico
- Plomo

### **3.6 Procedimiento**

#### **Secado**

A partir de las 20 muestras tratadas se procedió a realizar el secado de cada una con la finalidad de reducir y obtener el porcentaje de humedad de las muestras.

Procedimiento de secado.

1. Colocar 20 papeles de periódico en el piso de manera horizontal
2. Colocar cada muestra de suelo en cada papel periódico.
3. Aplanar o tratar de dispersar cada muestra en el área del papel
4. Dejar secar por 48 horas

### **Triturado y Tamizado**

Las 20 muestras seleccionadas se procedieron a triturar y cernir en una malla de 1mm de diámetro con el objetivo de evitar material o residuos diferente a ese tamaño de diámetro.

### **Materiales utilizados**

- Tamiz de 1 mm de diámetro
- Muestras de suelo
- Molino de grano

### **Procedimiento**

1. Se organizaron todas las muestras en orden y se los trituro con un molino de grano.
2. Se tomó el tamiz de 1 mm de diámetro con una malla de 0.18.
3. Se guardó cada muestra en una bolsa correspondiente a la parcela correctamente etiquetada con su dosis para su posterior análisis.

### **Calcinado al Horno**

Se utilizó una cantidad aproximada de 2 gramos, para ser llevado durante un tiempo de 90 minutos a temperatura de 800 °C al horno de calcinación, con el objetivo de eliminar toda la cantidad de materia o restos orgánicos, obteniendo únicamente materia inorgánica.

### **Procedimiento**

- Pesar 2 gramos de la muestra
- Colocar la muestra en un crisol con tapa
- Colocar el crisol en el horno a 800 °C por 90 minutos.
- Retirar los crisoles del horno con ayuda de una piza
- Colocar cada muestra en una bolsa etiquetada con su correspondiente dosis.

### **Digestión Ácida**

Se pesó 0,5 gramos de la muestra calcinada para ser colocadas cada una en un tubo digestor de teflón donde enseguida se le agrega 10 ml de ácido nítrico concentrado a cada tubo, los cuales deben ser correctamente etiquetados. Los 20 tubos son colocados en un

sistema de sensores que reconoce el tipo y número de tubos que son colocados en el equipo.

### **Preparación del ácido nítrico**

Para la preparación del ácido nítrico se utilizó la Ecuación 1, la cual nos ayuda a conocer cuál es la concentración y volumen necesario.

$$C1 V1 = C2 V2 \quad (1)$$

Donde,

C1=El porcentaje de pureza de ácido nítrico (63.01%)

C2=El porcentaje al que se desea preparar la solución (2%)

V2=Es el volumen del balón de aforo donde se va a preparar la solución(1000ml)

Por lo tanto:

$$63.01\% \times V1 = 2\% * 1000\text{ml}$$

$$V1 = \frac{2\% \times 1000 \text{ (ml)}}{63.01} = 31,74 \text{ (ml de HNO}_3\text{)}$$

Calculado la cantidad de ácido nítrico necesaria se preparó la solución, pipeteando 31,74 ml de HNO<sub>3</sub> y se coloca en un balón de aforo de 1000 ml, para enseguida ser aforada con ultrapura o agua Milli-Q. Una vez digeridas la muestra se procedió a retirar cada uno de los tubos de teflón colocándolos en balones de aforo de 50 ml con papel filtro de fibra para impedir el paso del sedimento y posteriormente aforar cada uno de los balones con ácido nítrico preparado previamente, estas soluciones son colocadas en envases etiquetados con el número de muestra para ser refrigerados con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación.

### **Espectrometría de absorción atómico IPC**

Antes de realizar el análisis en el equipo ICP se requirió diseñar una curva de calibración para llegar a determinar la concentración del analito, por lo cual fue necesario realizar una revisión bibliográfica de las concentraciones del plomo, cadmio, arsénico y mercurio encontradas en suelos agrícolas con características similares a la zona de estudio. Donde respecto a el plomo se encontró concentraciones mínimas de 17,6 mg/kg realizado en San Joaquín Azuay Ecuador. (J.Vázquez, 2019). Otro estudio realizado en San Alfonso en Machachi, provincia de pichincha-Ecuador, se encontraron concentraciones de 24,1mg/kg a 33,3 mg/kg (L.Meneses, 2014). Otro estudio realizado en suelos agrícola del cantón Quero en la provincia de Tungurahua-Ecuador, se encontraron valores entre 1,644

y 2,346 mg/kg de suelo. (J.Campaña.G, 2020). En cuanto al cadmio se encontró concentraciones mínimas de 0,84 ug/g de suelo y máximas de 3,35 ug/g se suelo realizado en el e (F.Pozo.M., 2017); otro estudio realizado en San Alfonso en Machachi, provincia de pichincha-Ecuador, se encontraron concentraciones de 1,2mg/kg a 1,5 mg/kg. (L.Meneses, 2014). Otro estudio realizado en suelos agrícola del cantón Quero en la provincia de Tungurahua-Ecuador, se encontraron valores entre 0,386 y 0,395 mg/kg de suelo. (J.Campaña.G, 2020)

Para el arsénico se encontró concentraciones mínimas de 0,038 mg/kg y máximo de 1,435 mg/kg de suelo realizado en la Reserva Biológica de Limoncocha-Ecuador. (K.Coral.C, 2019). Otro estudio realizado en suelo de cultivo de arroz en los distritos de Pacasmayo - Perú, se encontraron concentraciones de 5,082 mg/kg a 5,507mg/kg. (A.RAMIREZ.M, 2017). Finalmente, respecto al mercurio se encontraron concentraciones mínimas de 409.8 mg/kg realizados en la reserva biológica Limoncocha-Sucumbíos-Ecuador. (D.Alexey, 2016). Otro estudio realizado en Montería, Colombia se encontraron concentraciones de 3 a 4 600 mg/g. (M.Pérez.V, 2014). otro estudio realizado en el municipio de Puerto Libertador, departamento de Córdoba, Colombia se encontraron concentraciones de 0,06 mg/kg a 0,26 mg/kg. (Z.Martínez, 2017)

Para el estudio se utilizó una curva de calibración con 5 estándares

- Estándar 5: 10 ppm
- Estándar 4:5 ppm
- Estándar 3:1 ppm
- Estándar 2:0,5 ppm
- Estándar 1:0,1 ppm

Estos datos se proceden a preparar las soluciones patrones basadas en la solución madre y que nos permitió verificar la correcta validez de los datos que se obtendrán en el equipo para lo cual se empleó la siguiente expresión.

*Ecuación 2. Dilución de las concentraciones*

$$C1 V2 = C2 V1 \quad (2)$$

De la cual se deriva,

$$V1 = \frac{C2 V2}{C1} \quad (3)$$

Solución madre:

$$\text{STD5;V1} = \frac{10(\text{ppm}) 50(\text{ml})}{1000(\text{ppm})} = 0,5(\text{ml})$$

Solución patrón:

$$\text{STD4; V1} = \frac{5(\text{ppm}) 50(\text{ml})}{10 (\text{ppm})} = 25(\text{ml})$$

$$\text{STD3;V1} = \frac{1(\text{ppm}) 50(\text{ml})}{5(\text{ppm})} = 100 (\text{ml})$$

$$\text{STD2;V1} = \frac{0,5(\text{ppm}) 50(\text{ml})}{1(\text{ppm})} = 25(\text{ml})$$

$$\text{STD1;V1} = \frac{0,1 (\text{ppm}) 50 (\text{ml})}{0,5 (\text{ppm})} = 10(\text{ml})$$

Las soluciones fueron aforadas con ácido nítrico al 2% con el fin de que la curva de calibración sea aceptable requiriendo que el coeficiente de regresión lineal sea de alrededor de  $r^2 \geq 0,98$  como mínimo, y consiguiendo en el estudio un coeficiente  $r^2 \geq 1$  lo cual entra en lo permitido para continuar con la correspondiente determinación del metal en el equipo IPC muestra por muestra.

### **3.7 Características físico – químico del suelo**

Los análisis físico – químico se llevó a cabo dentro de los laboratorios de Ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana. Para la determinación del análisis físico del suelo se tomó como referencia la metodología aplicada por la FAO (2009), en el cual se da a conocer cuáles son las pruebas para la determinación de la textura, color, tipo de suelo y porcentajes de suelos como la arcilla, arena y limo.

#### **Color del suelo**

Se realizó por análisis del siendo uno de los métodos más usados para describir características visibles o conocer y describir los diferentes grupos genéticos del rango del espectro electromagnético. (Pinos, 2022)

#### **Humedad**

Para el análisis de humedad se tomó en cuenta las consideraciones de nuestro tutor de tesis. De la misma manera se procedió a utilizar la fórmula planteada por (CIMMYT,

2013) dentro de su documento “Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo”. Para la obtención de la humedad se procedió a realizar los siguientes pasos:

1. Se procedió a pesar 1.5 kg de cada una de las muestras con la ayuda de una balanza digital.
2. De la misma manera cada una de las muestras pesadas se las coloco sobre hojas de papel periódico y se las dejo a secar por 48 horas a temperatura ambiente en el balcón de la vivienda de uno de los autores.
3. Después de a ver cumplido las 48 horas se procedió a pesar nuevamente las 20 muestras con la ayuda de una balanza digital.
4. Finalmente, los pesos obtenidos se ingresaron a una tabla de Excel para realizar los cálculos correspondientes.

*Ilustración 6: Proceso de secado al aire libre*



*Elaborado por: Autores*

*Ecuación 3 Contenido de unidad Gravimétrico*

$$GM = \frac{(S_{húmedo} - S_{seco})}{S_{seco}} \times 100$$

*Fuente: (CIMMYT, 2013)*

Donde:

GM: contenido de unidad gravimétrico %

S húmedo = peso del suelo húmedo (g)

S seco= peso de la muestra del suelo secado (g)

### **Textura**

Para calcular la textura del suelo se realizó mediante el tacto basado en el método de la (FAO, GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS, 2009). Previo a realizar el

procedimiento las muestras del suelo se encontraban en secado al aire libre, de tal manera se realizó los siguientes pasos:

1. Se procedió a tomar una pequeña cantidad de la muestra de suelo con la ayuda de la mano.
2. Así mismo se pasó a humedecerla con una pequeña cantidad de agua.
3. Del mismo modo se oprimió dentro de la mano para darla una forma circular.
4. A continuación, se arrojó la bola de suelo al aire unos 50 Cm y se la dejó caer en la mano.
5. Por último, se realizó el mismo proceso anterior pero esta vez a una altura más elevada y se dejó caer al piso.

### **3.8 Análisis Químico**

#### **Potencial de Hidrogeno**

En la determinación del pH se tomó en cuenta los siguientes pasos de acuerdo a la metodología aplicada por Beretta et al. (2014) como se cito en (Pinos, 2022), cabe recalcar que para esta metodología se procedió a mezclar todas las 20 muestras de suelo en un recipiente, las cuales no llevan ningún tratamiento, para obtener resultados excelentes con los siguientes pasos:

1. Se pesa 10 gramos de muestra de suelo.
2. Preparamos una solución de 25 ml de agua destilada
3. Llevamos a la centrifugadora y la agitamos por 30 minutos a 4000 RPM
4. Medimos con el pH metro en el sobrenadante sin agitar.
5. Efectuamos el registro adecuado para cada una de las muestras medidas.

### **3.9 Protocolos**

Basado en el anexo 2 del TULSMA en la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, de la norma que establecen los límites máximos permisibles de criterios de calidad de suelo, fue la que se tomó como referencias para la presente investigación con el objetivo de comparar resultados posteriormente obtenidos .Por ejemplo de acuerdo al el plomo con los criterios de calidad química del TULSMA lo permitido es 25 mg/kg de suelo ,para el cadmio lo permitido es 0,5 mg/kg ,con el arsénico siendo lo permitido de 5 mg/kg y en el caso del mercurio de acuerdo a el TULSMA lo permitido es 0,1 mg/kg. (TULSMA, 2015)

#### **Instrumentos para el análisis estadístico:**

Para el tratamiento, análisis y el procesamiento de la información obtenida del análisis de suelo se empleó el software R-Studio, SPSS Statistics y Excel 2016.

## 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis preliminar del suelo

Como análisis preliminar después del muestreo y usando el primer kilogramo de suelo que fue llevado a análisis se pudo evidenciar los niveles de concentración de plomo, mercurio, cadmio, arsénico y mercurio de cada una de las parcelas mediante el apartado de la fase de laboratorio preparando las muestras para su análisis en el equipo de espectrometría ICP, donde se obtuvieron sus concentraciones por cada parcela en donde el equipo del ICP analizo cada una de las muestra para determinar los niveles de metales pesados en ppm cómo se puede evidenciar en las siguientes tablas.

*Tabla 2: Niveles de Concentración de Metales pesados*

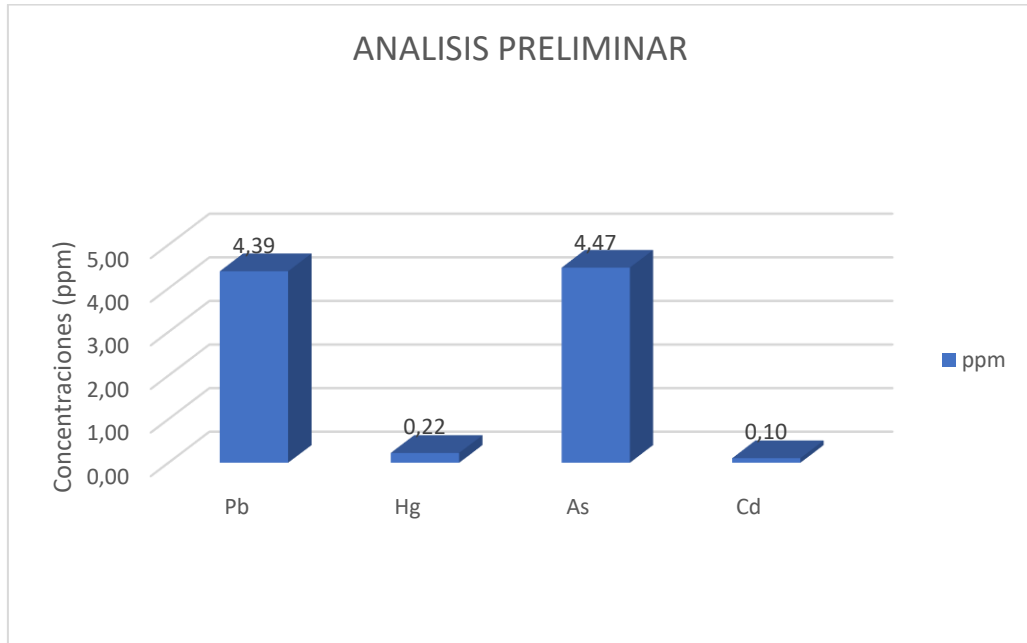
|            | Pb(ppm) | Cd(ppm) | As(ppm) | Hg(ppm) |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| PARCELA 1  | 3,99    | 0,24    | 3,963   | 5,721   |
| PARCELA 2  | 5,69    | 0,115   | 5,403   | -0,08   |
| PARCELA 3  | 4,338   | 0,091   | 4,705   | -0,167  |
| PARCELA 4  | 2,91    | 0,082   | 4,00    | 1,174   |
| PARCELA 5  | 9,444   | 0,065   | 3,79    | -0,157  |
| PARCELA 6  | 3,406   | 0,087   | 4,448   | -0,251  |
| PARCELA 7  | 4,319   | 0,09    | 3,944   | 0,435   |
| PARCELA 8  | 4,018   | 0,123   | 4,6     | -0,263  |
| PARCELA 9  | 5,789   | 0,087   | 4,448   | -0,152  |
| PARCELA 10 | 4,023   | 0,104   | 4,161   | -0,107  |
| PARCELA 11 | 6,455   | 0,093   | 4,214   | -0,173  |
| PARCELA 12 | 3,191   | 0,083   | 4,37    | -0,192  |
| PARCELA 13 | 3,437   | 0,094   | 4,822   | 0,112   |
| PARCELA 14 | 3,146   | 0,083   | 4,166   | -0,196  |
| PARCELA 15 | 4,423   | 0,096   | 4,955   | -0,154  |
| PARCELA 16 | 4,683   | 0,155   | 4,891   | -0,284  |
| PARCELA 17 | 3,565   | 0,103   | 5,038   | -0,262  |
| PARCELA 18 | 3,644   | 0,109   | 4,74    | -0,245  |
| PARCELA 19 | 3,534   | 0,092   | 4,972   | -0,027  |
| PARCELA 20 | 3,841   | 0,085   | 4,409   | -0,248  |

*Elaborado por: Autores*



En donde a continuación se realizó una tabla de promedio de los valores de plomo, cadmio, arsénico y mercurio obtenidas de acuerdo a todas las parcelas muestreadas.

*Gráfico 2: Concentraciones promedias de los análisis preliminares de Pb, Cd, As y Hg en el suelo*



*Elaborado por: Autores*

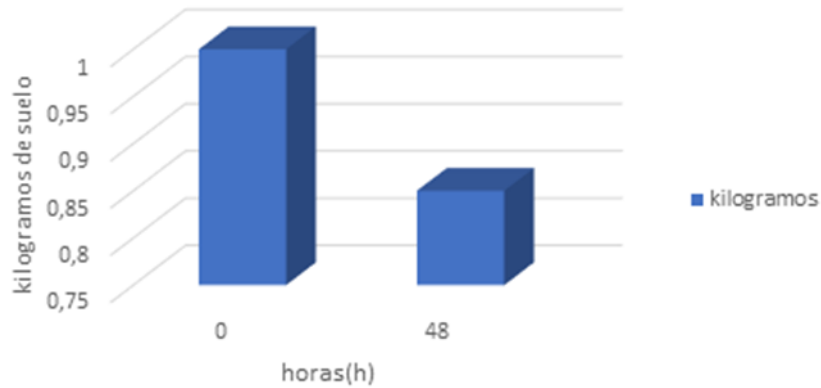
*Tabla 3: Concentraciones (ppm) de los promedios de los análisis preliminares*

| <b>Metales</b> | <b>Concentración (ppm)</b> |
|----------------|----------------------------|
| <b>Pb</b>      | 4,39                       |
| <b>Hg</b>      | 0,22                       |
| <b>As</b>      | 4,47                       |
| <b>Cd</b>      | 0,10                       |

*Elaborado por: Autores*

## 4.2 Determinación del contenido de Humedad

Gráfico 3: Porcentaje de Humedad del suelo



Elaborado por: Autores

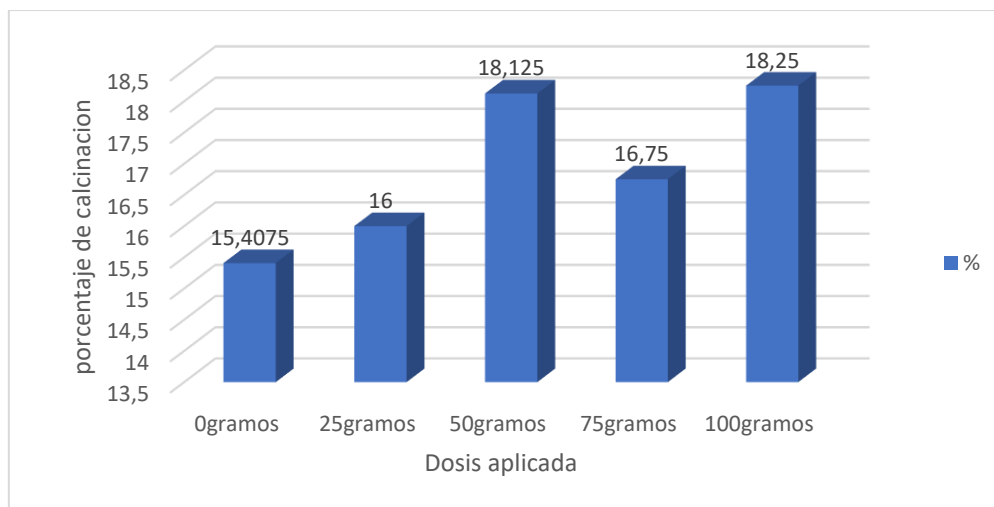
Dando como resultado un contenido secado por unidad gravimétrico promedio aproximado del 14,60% luego de 48 horas al aire libre.

## 4.3. Indicadores Físicos del suelo

### 4.3.1 Calcinación

De acuerdo con el porcentaje de calcinación de acuerdo con los gramos de polvo de roca aplicados para cada tratamiento y repetición, a continuación, se agrupo y calculo el promedio del porcentaje de calcinación que se obtuvo de acuerdo con los gramos de dosis aplicados.

Gráfico 4: Porcentaje de calcinación del suelo



Elaborado por: Autores

Como se puede observar en la gráfica 4 se pudo representar que los testigos con una dosis de 0 gramos de polvo de roca tuvieron una calcinación promedio del 15,40%, las parcelas con 25 gr de polvo de roca alcanzaron una calcinación promedio de 16 %, las parcelas con 50 gr de polvo de roca alcanzaron una calcinación de 18,12 %, en las parcelas con 75 gr de polvo de roca alcanzaron una calcinación de promedio 16,75 %, y finalmente las parcelas con 100 gr de polvo de roca alcanzaron una calcinación promedio de 18,25 %.

#### 4.3.2 Color de suelo

*Ilustración 7: Determinación de Color de suelo*



*Elaborado por: Autores*

Como se puede observar en la Ilustración 7 muestra el color del suelo con respecto a una matriz identificada, así demostrando un color de matriz 10R, con una luminosidad de 3 y una saturación del suelo de 2 con una coloración gris oscuro, según (Pinos, 2022) menciona que este suelo presenta características de gran retención hídrica, gran cantidad de materia orgánica en avanzado grado de descomposición permitiendo una buena capacidad de absorción y liberación de nutrientes de manera óptima.

#### 4.3.3. Textura del suelo

El análisis del tacto es una de las practicas más usadas para le determinación de la textura del suelo. Como se puede observar en las Tablas 4,5 e ilustración 9 se realizaron tres pruebas. Para la (FAO, 2009) dentro de sus pruebas se deben tomar en cuenta los


siguientes criterios, después de a ver cumplido con cada uno de los procesos previos descritos dentro de su metodología.

### Primera prueba

Se considera lo siguiente:

- Si la bola llega a mantener su cohesión, probable que se trate de un suelo con suficiente contenido de arcilla
- Si la bola se desmorona, el suelo es pobre y contenido de arena es alta.

*Tabla 4: Prueba de Cohesión*

| Prueba   | Determinación   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La Bola mantuvo su cohesión.</li> <br/> <li>- Se puede decir que la muestra de suelo contiene suficiente arcilla.</li> </ul> |
| Resultado  | - Suelo Arcilloso   |

*Elaborado por: Autores*


### Segunda Prueba

Se considera lo siguiente:

- Si al lanzar mojada o seca, ésta produce solo salpicaduras, la textura es gruesa
- Si al lanzar seca ésta se comporta como una perdigonada y al lanzarla mojada centra un blanco a mediana distancia mantiene su forma, la textura es moderadamente gruesa.
- Si la bola se adhiere al blanco cuando está mojada y se convierte en un proyectil muy duro cuando está seca, la textura es fina.
- Si se despedaza al chocar contra el blanco cuando ésta seca y se mantiene compacta cuando está húmeda pero no se adhiere al blanco su textura es media

- Si al lanzarla mojada a mayor distancia está llega a mantener su forma y se adhiere al blanco, y puede despegarse con relativa facilidad, su textura es moderadamente fina

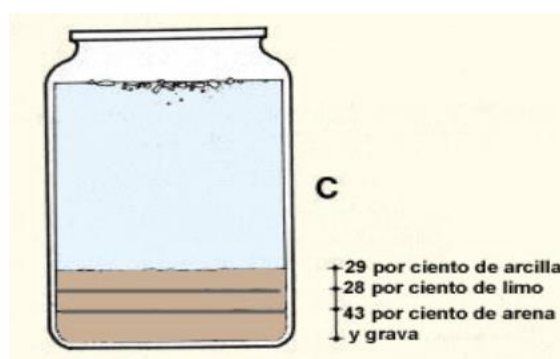
Tabla 5: Prueba de lanzamiento

| Prueba  | Determinación   |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al momento de lanzar la bola mojada a gran distancia está mantuvo su forma y se adhiere al blanco, de la misma manera pudo despegarse con relativa facilidad.</li> </ul> |
| Resultado   | Moderadamente Fina  |

Elaborado por: Autores

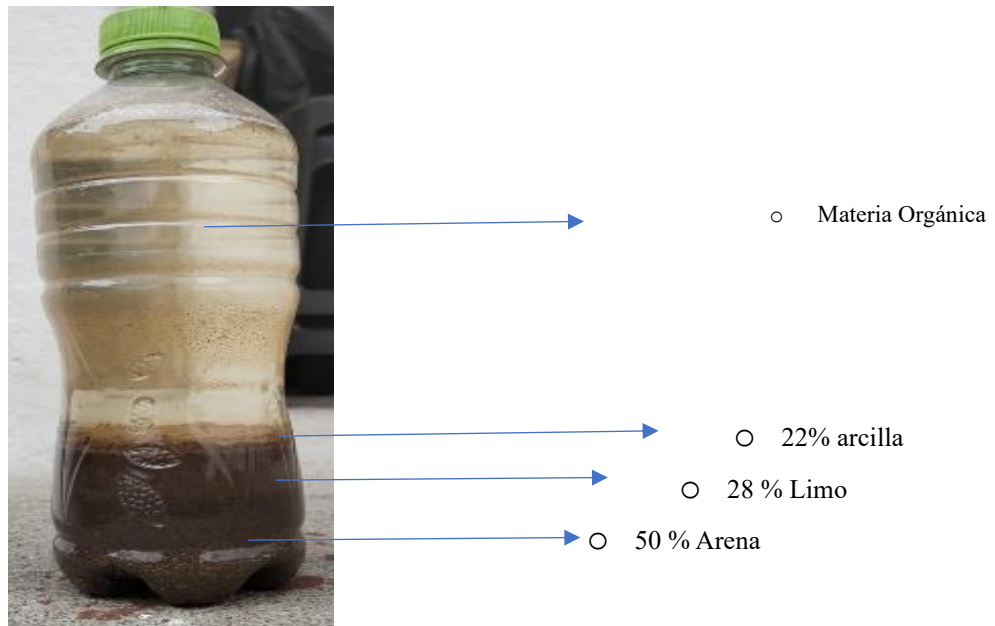
### Tercera Prueba

Ilustración 8: Prueba de contenido de arcilla, limo y arena



Fuente: (FAO,2009)

Ilustración 9: Aplicación de la Prueba de contenido



Elaborado por: Autores

Tras a ver culminado con cada una de las pruebas, procedemos a realizar el análisis de porcentajes con ayuda del siguiente cuadro (Tabla 6):

Tabla 6: Clases textuales de suelos

| Nombres vulgares de los suelos(textura general) | Arenoso | Limoso | Arcilloso | Clase textural           |
|---|---------|--------|-----------|--------------------------|
| Suelos arenosos (textura gruesa)                | 86-100  | 0-14   | 0-10      | Arenoso                  |
|   | 70-86   | 0-30   | 0-15      | Franco arenoso           |
| Suelos francos (textura moderadamente gruesa)   | 50-70   | 0-50   | 0-20      | Franco arenoso           |
| Suelos francos (textura mediana)                | 23-52   | 28-50  | 7-27      | Franco                   |
|   | 20-50   | 74-88  | 0-27      | Franco limoso            |
|   | 0-20    | 88-100 | 0-12      | Limoso                   |
| Suelos francos (textura moderadamente fina)     | 20-45   | 15-52  | 27-40     | Franco arcilloso         |
|   | 45-80   | 0-28   | 20-35     | Franco arenoso arcilloso |
|   | 0-20    | 40-73  | 27-40     | Franco limoso arcilloso  |
| Suelos arcillosos (textura fina)                | 45-65   | 0-20   | 35-55     | Arcilloso arenoso        |
|   | 0-20    | 40-60  | 40-60     | Arcilloso limoso         |
|   | 0-45    | 0-40   | 40-100    | Arcilloso                |

Fuente: (FAO,2009)

Todas las pruebas realizadas nos dan a conocer que es un suelo arcillo con una textura moderadamente fina, de la misma manera al momento de realizar la última prueba se conoce a detalle cual es el tipo de suelo, con un 50 % de arena, 28 % de limo y 22% de arcilla se menciona que es un suelo FRANCO ARENOSO ARCILLOSO, todo este resultado se obtuvo mediando la TABLA 6 en el cual nos da a conocer la clase textural del suelo dependiendo mucho de los porcentajes obtenidos en sus pruebas.

#### 4.4 Análisis químico del suelo

##### 4.4.1. Determinación del (pH)

Para la determinación del potencial de hidrogeno se realizó 3 repeticiones y se obtuvieron estos resultados presentados en la **Tabla 7**.

*Tabla 7: Resultados Obtenidos de pH*

| <b>Muestra</b>  | <b>pH</b>   |
|-----------------|-------------|
| Parte superior  | 6,47        |
| Medio           | 6,72        |
| Parte Inferior  | 6,68        |
| <b>Promedio</b> | <b>6,62</b> |

*Elaborado por: Autores*

Según (Osorio, 2012) menciona que “El pH de la solución del suelo usualmente fluctúa entre 4.0 a 8.0. En general, se considera que los suelos con  $\text{pH} \leq 7$  son alcalinos son ácidos con  $\text{pH} \geq 7$ ”, de tal manera podemos mencionar que el suelo dentro de este estudio en sus 3 repeticiones tiene un pH medio de 6,62.

Dentro del estudio de (Vazques, Sangurima, & Alvarez, 2019) se realizó un estudio similar en cual se obtuvieron resultados similares como se pueden observar en la tabla 8.

*Tabla 8: Características Físico Químicas del Suelo*

| <b>Características</b>  |        | <b>Valor</b>  |
|-------------------------|--------|---------------|
| <b>Arena</b>            | (%)    | <b>75</b>     |
| <b>Limo</b>             | (%)    | <b>19</b>     |
| <b>Arcilla</b>          | (%)    | <b>6</b>      |
| <b>Clase textural</b>   | (---)  | <b>(Fr.A)</b> |
| <b>pH</b>               | (---)  | <b>6,2</b>    |
| <b>C.E</b>              | (dS/m) | <b>0,213</b>  |
| <b>Materia orgánica</b> | (%)    | <b>30,67</b>  |
| <b>Fósforo total</b>    | mg/Kg  | <b>77,2</b>   |
| <b>Calcio</b>           | mg/Kg  | <b>4636,8</b> |
| <b>Plomo</b>            | mg/Kg  | <b>17,6</b>   |

*Fuente: (Vazques, Sangurima, & Alvarez, 2019)*

Finalizado el tratamiento físico y químico de las muestras de suelo sin tratamiento, se realizaron los análisis basados en las aplicaciones de las dosis implementadas a cada de las parcelas.

#### 4.5 Resultado de concentraciones de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en suelos hortícola postratamiento.

A continuación, se recolectaron los datos obtenidos dividiéndolos de acuerdo a la cantidad de polvo de roca aplicado para cada parcela.

##### Parcelas con tratamiento de 0 g/k de polvo de roca (Testigos)

Tabla 9: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 0gr de polvo de roca

|            | Pb(ppm) | Cd(ppm) | As(ppm) | Hg(ppm) |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| PARCELA 1  | 3,99    | 0,24    | 3,963   | 5,721   |
| PARCELA 7  | 4,32    | 0,09    | 3,944   | 0,435   |
| PARCELA 13 | 3,44    | 0,094   | 4,822   | 0,112   |
| PARCELA 19 | 3,53    | 0,092   | 4,972   | -0,027  |

Elaborado por: Autores

##### Parcelas con tratamiento de 25 g/k de polvo de roca

Tabla 10: Concentraciones de metales pesados con tratamiento a 25gr de polvo de roca

|            | Pb(ppm) | Cd(ppm) | As(ppm) | Hg(ppm) |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| PARCELA 2  | 9,98    | -0,217  | 8,235   | 3,327   |
| PARCELA 9  | 13,39   | -0,259  | 8,056   | 0,206   |
| PARCELA 15 | 12,52   | -0,211  | 9,684   | -0,146  |
| PARCELA 16 | 11,60   | -0,126  | 8,677   | -0,201  |

Elaborado por: Autores

##### Parcelas con tratamiento de 50 g/k de polvo de roca

Tabla 11: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 50gr de polvo de roca.

|            | Pb(ppm) | Cd(ppm) | As(ppm) | Hg(ppm) |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| PARCELA 3  | 11,77   | -0,265  | 10,109  | 2,151   |
| PARCELA 6  | 7,33    | -0,317  | 8,756   | 0,56    |
| PARCELA 12 | 5,25    | -0,137  | 5,312   | 0,081   |
| PARCELA 20 | 11,60   | -0,128  | 10,613  | -0,28   |

Elaborado por: Autores



## Parcelas con tratamiento de 75 g/k de polvo de roca

Tabla 12: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 75gr de polvo de roca.

|            | Pb(ppm) | Cd(ppm) | As(ppm) | Hg(ppm) |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| PARCELA 4  | 7,54    | -0,24   | 11,679  | 1,298   |
| PARCELA 10 | 11,85   | -0,221  | 11,283  | 0,258   |
| PARCELA 14 | 10,54   | -0,277  | 10,871  | -0,171  |
| PARCELA 18 | 11,14   | -0,131  | 9,833   | -0,208  |

Elaborado por: Autores

## Parcelas con tratamiento de 100 g/k de polvo de roca

Tabla 13: Concentraciones de metales pesados con tratamiento de 100gr de polvo de roca

|            | Pb(ppm) | Cd(ppm) | As(ppm) | Hg(ppm) |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| PARCELA 5  | 7,19    | -0,272  | 9,792   | 0,893   |
| PARCELA 8  | 11,03   | -0,226  | 9,358   | 0,181   |
| PARCELA 11 | 5,42    | -0,163  | 7,323   | 0,108   |
| PARCELA 17 | 12,15   | -0,072  | 11,178  | -0,205  |

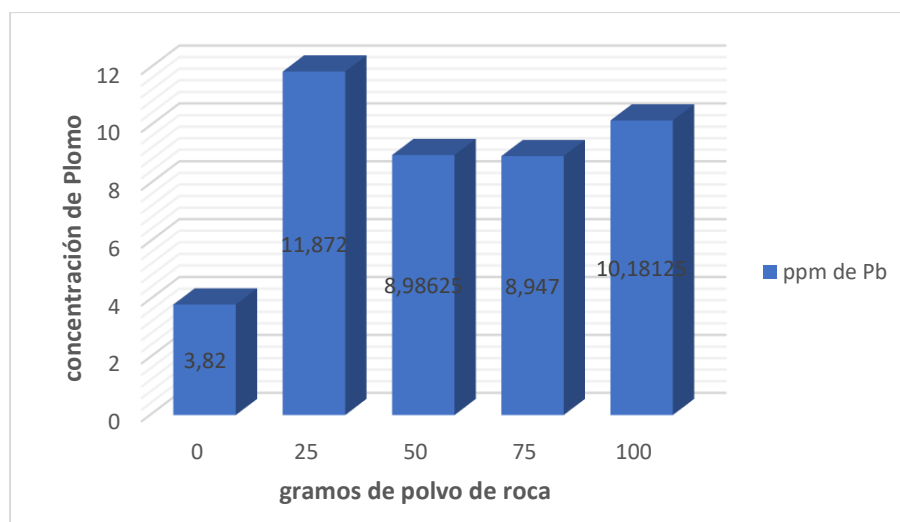
Elaborado por: Autores

## 4.6 Concentraciones promedias de metales pesados en el suelo postratamiento

### Concentración promedio de plomo (Pb)

En la presente grafica se describe las concentraciones de plomo promedias obtenidas después de aplicar los distintos tratamientos de 0 gramos de polvo, 25 gramos de polvo, 50 gramos de polvo de roca, 75 gramos de polvo de roca y de 100 gramos de polvo de roca.

Gráfico 5: Concentraciones promedias de Pb en el suelo

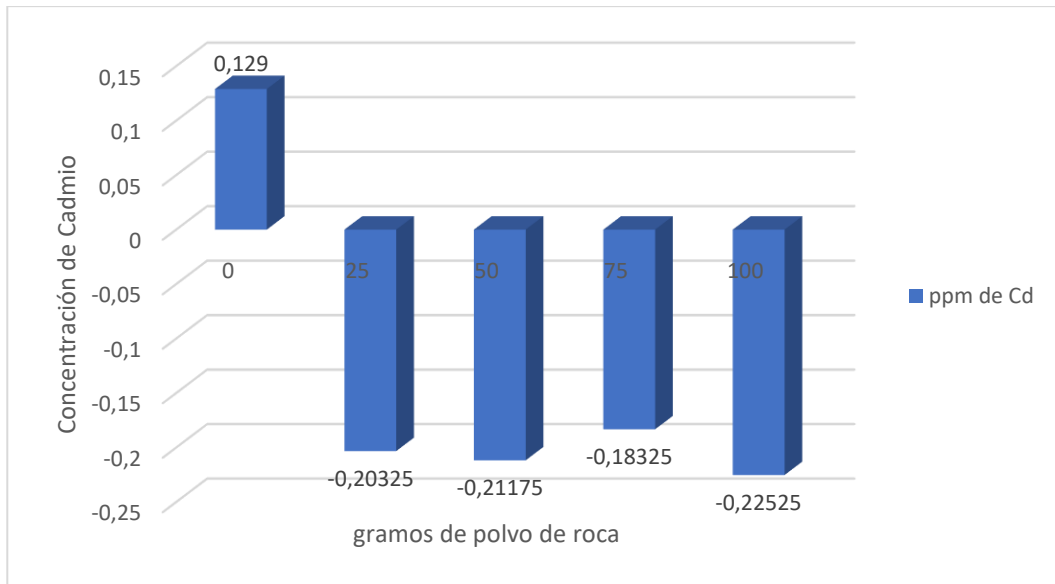


Elaborado por: Autores

### Concentración promedio de cadmio (Cd)

En la presente grafica se describe las concentraciones de cadmio promedias obtenidas después de aplicar los distintos tratamientos de 0 gramos de polvo, 25 gramos de polvo, 50 gramos de polvo de roca,75 gramos de polvo de roca y de 100 gramos de polvo de roca.

Gráfico 6: Concentraciones promedias de Cd en el suelo

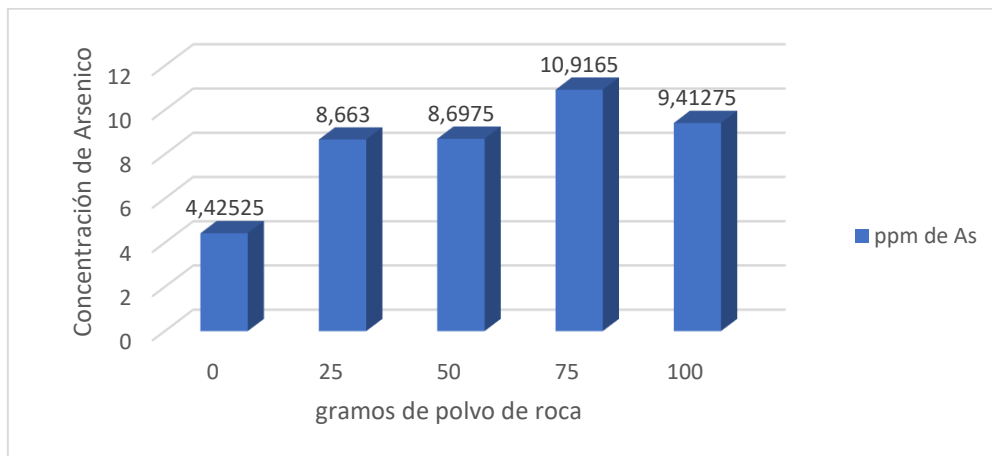


Elaborado por: Autores

### Concentración promedio de Arsénico (As)

En la presente grafica se describe las concentraciones de As promedias obtenidas después de aplicar los distintos tratamientos de 0 gramos de polvo, 25 gramos de polvo, 50 gramos de polvo de roca,75 gramos de polvo de roca y de 100 gramos de polvo de roca.

Gráfico 7: Concentraciones promedias de As en el suelo

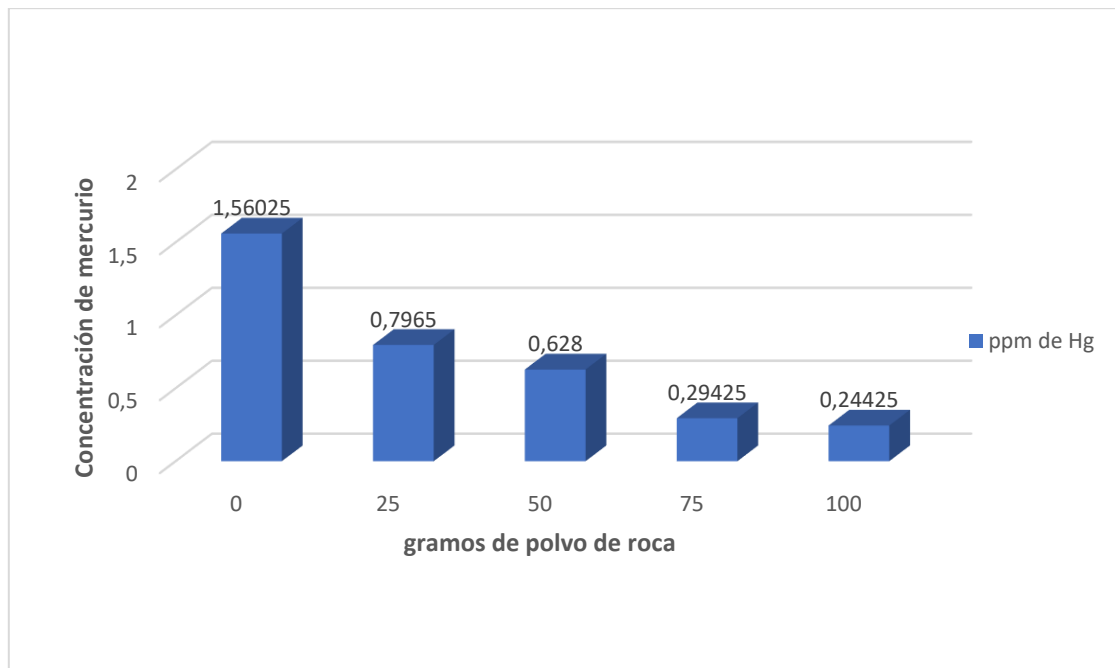


Elaborado por: Autores

### Concentración promedio de Mercurio (Hg)

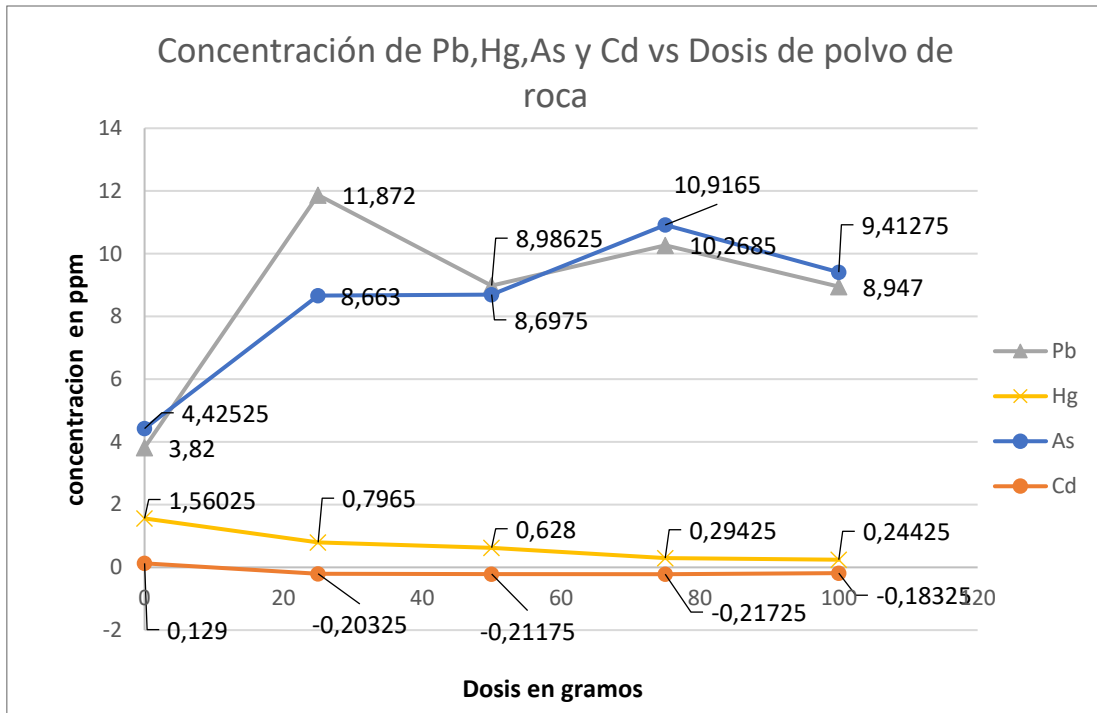
En la presente grafica se describe las concentraciones de mercurio promedias obtenidas después de aplicar los distintos tratamientos de 0 gramos de polvo, 25 gramos de polvo, 50 gramos de polvo de roca,75 gramos de polvo de roca y de 100 gramos de polvo de roca.

Gráfico 8: Concentraciones promedias de Hg en el suelo



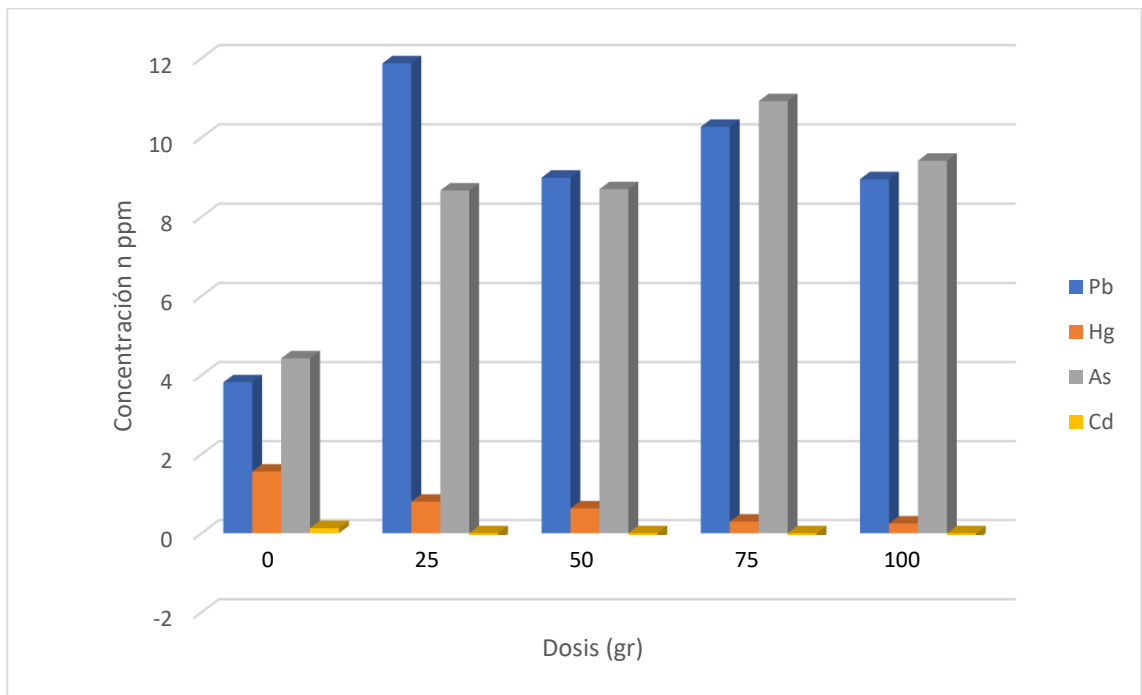
Elaborado por: Autores

Gráfico 9: Concentración de Pb, Hg, As y Cd vs Dosis de polvo de roca



Elaborado por: Autores

Gráfico 10: Concentración de Pb, Hg, As y Cd vs Dosis de polvo de roca



Elaborado por: Autores

## 4.7 Estadística descriptiva

Tabla 14: Estadística descriptiva de las concentraciones de plomo, cadmio, arsénico y mercurio(ppm)

|                                  | <b>Pb(ppm)</b> | <b>Cd(ppm)</b> | <b>As(ppm)</b> | <b>Hg(ppm)</b> |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Media</b>                     | 8,779          | -0,137         | 8,423          | 0,705          |
| <b>Error típico o estándar</b>   | 0,769          | 0,034          | 0,568          | 0,332          |
| <b>Mediana (ppm)</b>             | 10,260         | -0,187         | 9,057          | 0,147          |
| <b>Moda</b>                      | #N/D           | #N/D           | #N/D           | #N/D           |
| <b>Desviación estándar (ppm)</b> | 3,441          | 0,153          | 2,538          | 1,485          |
| <b>Coefficiente de asimetría</b> | -0,381         | 1,181          | -0,647         | 2,527          |
| <b>Mínimo</b>                    | 3,437          | -0,317         | 3,944          | -0,28          |
| <b>Máximo</b>                    | 13,387         | 0,24           | 11,679         | 5,721          |
| <b>Numero de Cuentas</b>         | 20             | 20             | 20             | 20             |

Elaborado por: Autores

### Elementos de diseño de experimentos

#### Análisis del supuesto de normalidad

#### Análisis de Shapiro-Wilks prueba de normalidad

Para la prueba de normalidad usando el análisis de Shapiro-Wilks se agruparon todos los datos obtenidos en una hoja de Excel por cada metal es decir Pb, Hg, As y Cd.

Donde mediante el software SPSS Statistics y se RStudio se analizó el valor p obteniendo como resultado y comparando entre softwares los siguientes datos presentes en la tabla 15.

Tabla 15: Valores de la prueba Shapiro-Wilk por RStudio y SPSS Statistics

|                        | <b>Pb</b> | <b>Hg</b> | <b>As</b> | <b>Cd</b> |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | Valor p   | Valor p   | Valor p   | Valor p   |
| <b>RStudio</b>         | 0.01679   | 1.097e-05 | 0.03652   | 0.007541  |
| <b>SPSS Statistics</b> | 0,017     | <0,001    | 0,037     | 0,008     |

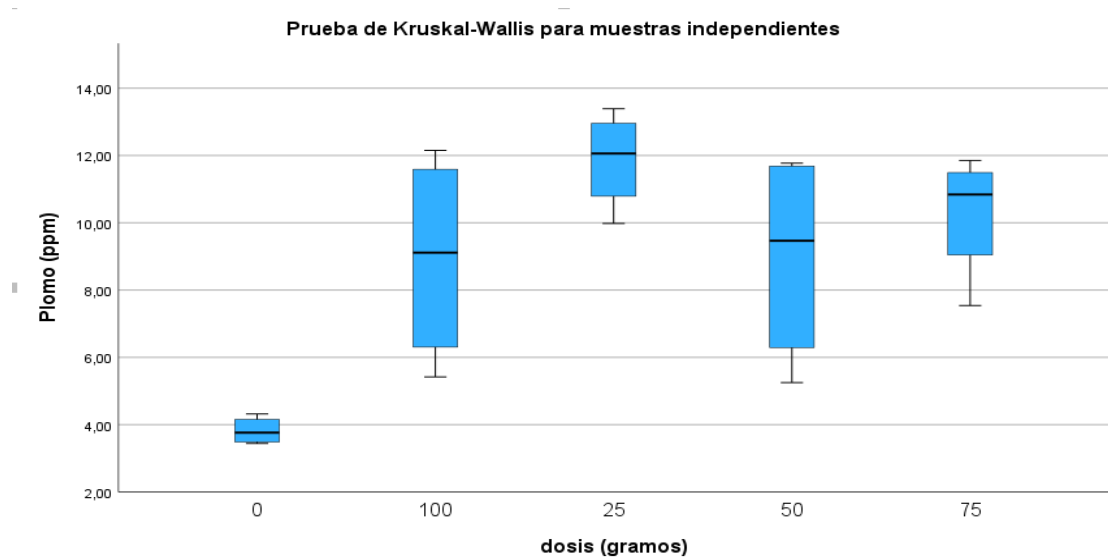
Elaborado por: Autores

Dando como resultado valores inferiores a su valor crítico de 0,05 rechazando la hipótesis nula de normalidad indicando que los datos no tienen una distribución normal y siendo necesario realizar una prueba no paramétrica por el comportamiento de los mismos

### La prueba de Kruskal Wallis

Para esta prueba se utilizó el software RStudio y SPSS Statistics con el objetivo de calcular el valor p y relacionarlo con el nivel de significación de 0,050 para llegar a tomar una decisión de aceptación o rechazo de la hipótesis nula.

Gráfico 11: Diagrama de Caja-Bigotes de Pb.



Elaborado por: Autores

Tabla 16: Análisis de Pb mediante la prueba de Kruskal Wallis

### ANÁLISIS DE KRUSKAL WALLIS

#### Resumen de contrastes de hipótesis

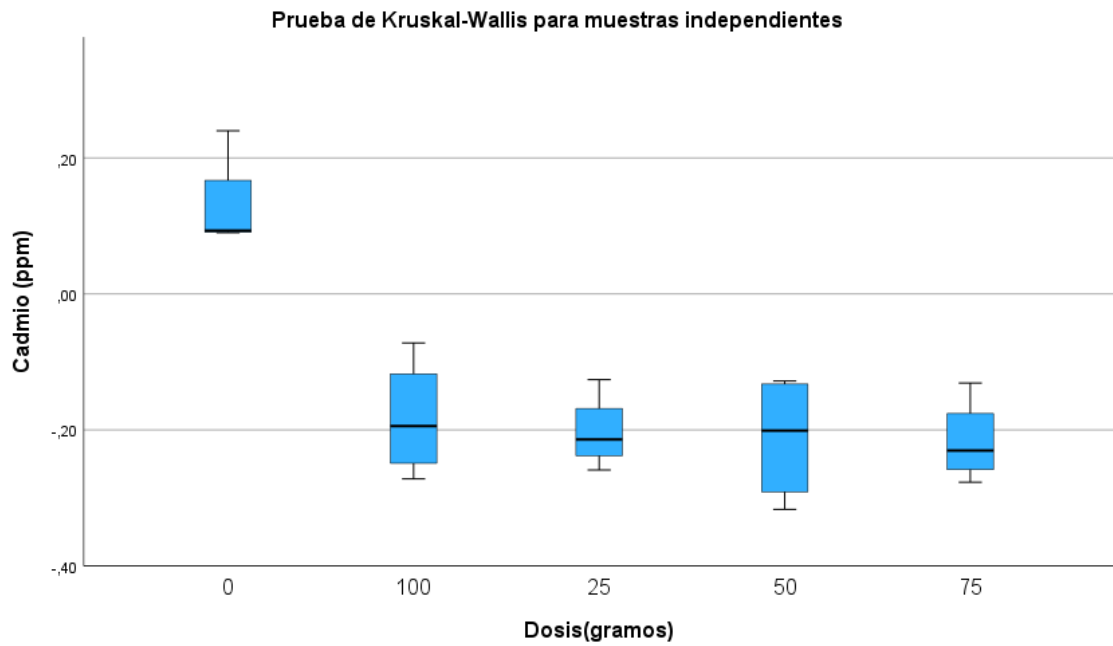
|   | Hipótesis nula  | Prueba  | Sig. <sup>a,b</sup> | Decisión                   |
|---|---|---|---------------------|----------------------------|
| 1 | La distribución de concentraciones de Pb es la misma entre categorías de dosis. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | 0,025               | Rechace la hipótesis nula. |

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Elaborado por: Autores

Gráfico 12: Diagrama de Caja-Bigotes de Cd.



Elaborado por: Autores

Tabla 17: Análisis Cd mediante la prueba de Kruskal Wallis

ANÁLISIS DE KRUSKAL WALLIS

Resumen de contrastes de hipótesis

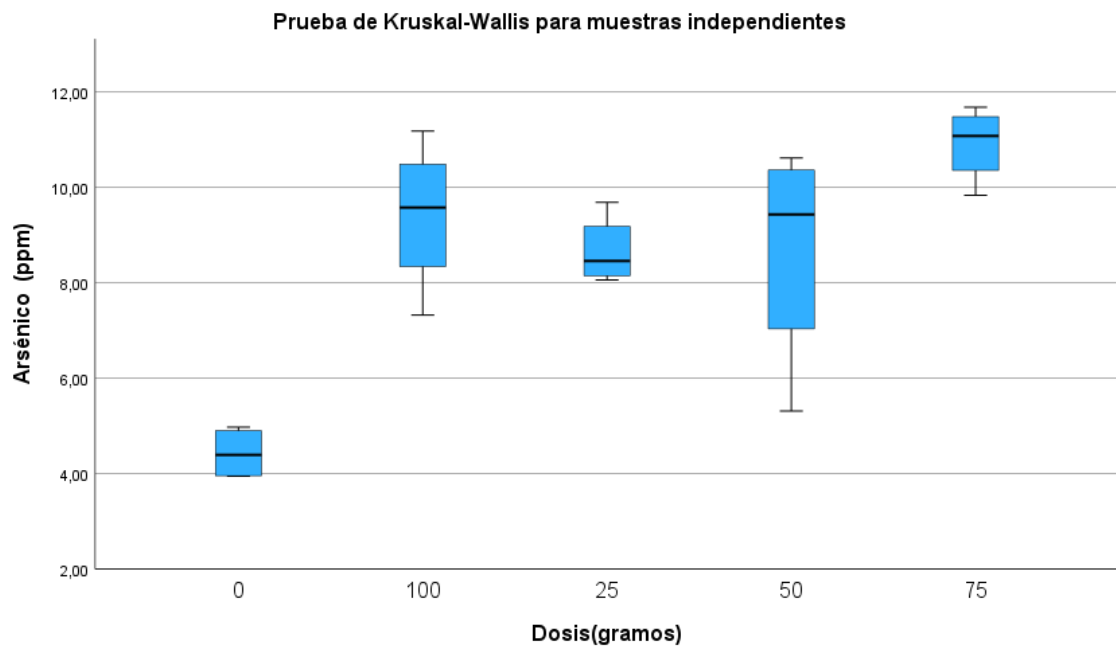
|   | Hipótesis nula  | Prueba  | Sig. <sup>a,b</sup> | Decisión                   |
|---|---|---|---------------------|----------------------------|
| 1 | La distribución de concentraciones de Cd es la misma entre categorías de dosis. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | 0,047               | Rechace la hipótesis nula. |

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Elaborado por: Autores

Gráfico 13: Diagrama de Caja-Bigotes de As.



Elaborado por: Autores

Tabla 18: Análisis de As mediante la prueba de Kruskal Wallis

**ANÁLISIS DE KRUSKAL WALLIS**

**Resumen de contrastes de hipótesis**

|   | Hipótesis nula  | Prueba  | Sig. <sup>a</sup><br>b | Decisión                   |
|---|---|---|------------------------|----------------------------|
| 1 | La distribución de concentraciones de As es la misma entre categorías de dosis. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | 0,009                  | Rechace la hipótesis nula. |

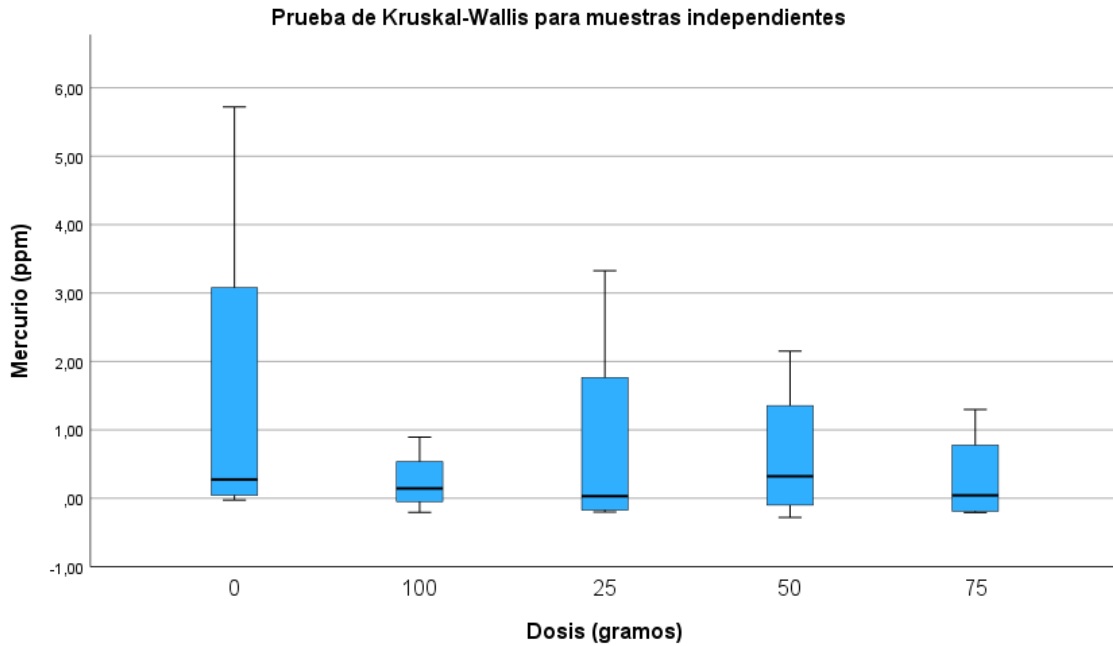
a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Elaborado por: Autores



Gráfico 14: Diagrama de Caja-Bigotes de Hg.



Elaborado por: Autores

Tabla 19: Análisis de Hg mediante la prueba de Kruskal Wallis

ANÁLISIS DE KRUSKAL WALLIS

Resumen de contrastes de hipótesis

|   | Hipótesis nula  | Prueba  | Sig. <sup>a,b</sup> | Decisión                    |
|---|---|---|---------------------|-----------------------------|
| 1 | La distribución de las Concentraciones de Hg es la misma entre categorías de dosis. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | 0,935               | Conserve la hipótesis nula. |

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

4.8 Prueba de hipótesis

En el proyecto se realizó la comparación entre las concentraciones de metales pesados en suelos hortícolas, aplicando las medias muestrales con los datos recolectados de la investigación.

**Hipótesis nula  $H_0$ :** Expresa que la aplicación de polvo de roca en el suelo no tiene un efecto significativo en la variabilidad en las concentraciones de metales pesados, la hipótesis alternativa  $H_1$ : planteando que son diferentes. Si  $H_0$ : se aceptará,  $H_1$ :se rechaza.

**Nivel de significancia**

El nivel seleccionado es un nivel de significancia estándar de 0,05, equivalente a la probabilidad de error de 0,05(5%).

**Estadístico de prueba**

Con el nivel de significancia 0,05 y los grados de libertad 4 y 15.

**Regla de decisión**

Al usar el nivel de 0,05 la regla de decisión es aceptar la hipótesis nula  $H_0$  si el valor de p está ubicado en el área solución; caso contrario se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$ .

**4.9 Toma de decisión**

*Tabla 20: Resultado de la prueba de Kruskal Wallis*

| Decisión                                | Decisión                                  | Decisión                                 | Decisión                                 |
|---|---|--|--|
| Para el Pb se rechaza la hipótesis nula | Para el Hg se conserva la hipótesis nula. | Para el As se rechaza la hipótesis nula. | Para el Cd se rechaza la hipótesis nula. |

*Elaborado por: Autores*

Es decir que para el caso de los metales Pb, As y Cd se rechaza la hipótesis nula que expresa que no existe diferencia significativa en las concentraciones de metales pesados mediante la aplicación del polvo de roca en los suelos hortícola es decir que se acepta la hipótesis alternativa siendo diferentes o teniendo diferencia significativa. Y para el caso de metal Hg se acepta la hipótesis nula que expresa que no existe diferencia significativa en las concentraciones de metales pesados mediante la aplicación del polvo de roca en suelos hortícola

**Prueba de tukey**

*Tabla 21: Resumen de la Prueba de Tukey As*

| <b>Arsenico</b>          |   |             |         |
|--------------------------|---|-------------|---------|
| HSD Tukey <sup>a,b</sup> |   |             |         |
| Dosis(gramos)            | N | Subconjunto |         |
|                          |   | 1 (ppm)     | 2(ppm)  |
| 0                        | 4 | 4,4253      |         |
| 25                       | 4 |             | 8,6630  |
| 50                       | 4 |             | 8,6975  |
| 100                      | 4 |             | 9,4128  |
| 75                       | 4 |             | 10,9165 |

*Elaborado por: Autores*

Tabla 22: Resumen de la Prueba de Tukey Pb

| <b>Plomo</b>             |   |             |         |
|--------------------------|---|-------------|---------|
| HSD Tukey <sup>a,b</sup> |   |             |         |
| Dosis (gramos)           | N | Subconjunto |         |
|                          |   | 1 (ppm)     | 2 (ppm) |
| 0                        | 4 | 3,8200      |         |
| 100                      | 4 |             | 8,9475  |
| 50                       | 4 |             | 8,9875  |
| 75                       | 4 |             | 10,2675 |
| 25                       | 4 |             | 11,8725 |

Elaborado por: Autores

Tabla 23: Resumen de la Prueba de Tukey Cd

| <b>Cadmio</b>            |   |             |         |
|--------------------------|---|-------------|---------|
| HSD Tukey <sup>a,b</sup> |   |             |         |
| Dosis(gramos)            | N | Subconjunto |         |
|                          |   | 1 (ppm)     | 2 (ppm) |
| 75                       | 4 | -,2173      |         |
| 50                       | 4 | -,2118      |         |
| 25                       | 4 | -,2033      |         |
| 100                      | 4 | -,1833      |         |
| 0                        | 4 |             | ,1290   |

Elaborado por: Autores

Teniendo en cuenta que para el caso del As, Pb y Cd rechazaron la hipótesis nula se aplicó el test de Tukey para conocer que tratamiento en cada metal es el que más se separa del conjunto de datos comparando las medias individuales provenientes de varias muestras sometidas a tratamientos distintos teniendo como resultado en todos los casos 2 subconjuntos en donde se pueden apreciar una diferencia marcada en los subconjuntos con 0gramos de tratamiento.

#### 4.10 Discusión

Con el desarrollo de la prueba de hipótesis, basado en la evidencia muestral y teoría de probabilidad con el fin de determinar si existe o no existe diferencia significativa entre las concentraciones medias de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en suelos hortícola después de la aplicación de los tratamientos con polvo de roca.

Definiendo la hipótesis nula y alternativa aplicando un nivel de significancia de 5%. En el proceso de la prueba de hipótesis se pudo establecer que existió una diferencia en los

niveles de concentración de Pb, Cd y As. Contrario a lo establecido con los niveles de concentración de mercurio obtenidos, no representando una diferencia significativa. Al final se determinó que mediante el análisis preliminar del estado del suelo sin tratamientos no existió concentraciones promedias relevantes o superiores de acuerdo a la norma respecto a los límites máximos permisibles de criterios de calidad de suelo en las concentraciones de Pb, As y Cd, a excepción de las concentraciones del Hg siendo de 0,22 ppm en las muestras de suelo. También se puede mencionar que en el diseño de la curva de calibración para la detección de sus concentraciones existieron valores superiores e inferiores a los planteados en los límites de detección del equipo IPC por lo cual fue necesario realizar una interpolación a las curvas con el objetivo de lograr una mejor percepción del comportamiento de los datos.

## **5. CONCLUSIÓN**

En el presente trabajo se determinó los valores de plomo, cadmio, arsénico y mercurio mediante la aplicación de polvo de roca caliza en suelos de producción hortícola en una hacienda de la parroquia de san Joaquín. Se establecieron las concentraciones de estos metales mediante espectrometría ICP donde los resultados obtenidos en análisis preliminar demostraron que los niveles promedio de plomo, cadmio y arsénico fueron de 4,39 mg/kg ;0,10 mg/kg y 4,47 mg/kg encontrándose por debajo de los límites establecidos siendo estos de 25 mg/kg ; 0,5mg/kg y 5mg/kg para el plomo cadmio y arsénico respectivamente, por el contrario a el metal mercurio que se encontró con una concentración de 0,221 mg/kg superior a la norma de 0,1 mg/kg.

En cuanto a los análisis estadísticos realizados por la prueba de Kruskal Wallis para detectar diferencias de distribución entre los tratamientos para cada metal se concluyó con los metales plomo, cadmio y arsénico con valores de 0,025; 0,047 y 0,009 respectivamente siendo inferiores al valor 0,05 que se utilizó en las pruebas Kruskal Wallis para cada metal como nivel de significancia y alcanzando a rechazar la hipótesis nula planteada o descrita como que la aplicación de polvo de roca en el suelo no tiene un efecto significativo en la variabilidad de los valores de metales pesados. Contrario al valor presentado por el metal mercurio siendo de 0,935 y superior a 0,05 llegando a aceptar la hipótesis nula planteada y descrita como que la aplicación de polvo de roca en el suelo no tiene un efecto significativo en la variabilidad en las concentraciones de metales pesados. Concluyendo que los tratamientos aplicados con polvo de roca en este proyecto produjeron variación en las concentraciones de los metales plomo, cadmio y arsénico debido a las concentraciones de carbonatos presentes en el polvo de roca caliza teniendo

una tendencia a que estos metales queden adsorbido por los carbonatos y generando variabilidad en sus niveles de concentraciones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- A. Jaraba, C. (2019). *MANEJO INTEGRADO DE AGROQUÍMICOS EN EL CULTIVO DE CACAO*. Obtenido de <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2020/06/PDF-WEB-FOLLETO-AGROQUIMICOS.pdf>
- A. RAMIREZ, M. (2017). *DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN GRANO DE Oryza sativa PILADO PROCEDENTE DE LOS DISTRITOS DE PACASMAYO, ENERO - JUNIO 2017*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/11392>
- A. Rizo, H. H. &. (2019). *Efecto de fertilización con harina de roca en parámetros*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/11279/1/19842.pdf>
- B. Mendoza, E. D. T. (2020). *Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3442/344265925001/>
- Bioestadística. (2014). *Tema 10. Diseño en bloque al azar*. Obtenido de <https://a14121-2553849.cluster211.canvas-user-content.com/courses/14121~5906/files/14121~2553849/course%20files/ma/ma13155/cel/tema10.htm>
- C. Enciso, G. O. (2016). *Dosis de polvo de roca y sus efectos sobre el rendimiento del tomate*. Obtenido de [file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-DosisDePolvoDeRocaYSusEfectosSobreElRendimientoDel-7258119%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-DosisDePolvoDeRocaYSusEfectosSobreElRendimientoDel-7258119%20(3).pdf)
- Calle, A. L. (2021). *CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS Y ACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS DEDICADOS A LA PRODUCCIÓN DE CACAO DEL SECTOR LA ISLA RECINTO LA RESISTENCIA EN EL CANTÓN CORONEL MARCELINO MARIDUEÑA*. Quevedo: UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO.
- CIMMYT. (2013). *CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO*. 3.
- D. Alexey, A. &. (2016). *EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, ALUMINIO Y COBRE EN AGUAS, SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 2015-2016*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2017>

- D.Varricchio, J. &. (2016). *The Evolution of Diapsid Reproductive Strategy with Inferences about Extinct Taxa*. Obtenido de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0158496>
- Edafologia. (2018). *TEMA 15. CONTAMINACION POR METALES PESADOS*. Obtenido de <http://www.edafologia.net/conta/tema15/fact.htm>
- EPA. (2023). *Información básica sobre el mercurio*. Estados Unidos.
- Eurofins. (2022). *X-RAY FLUORESCENCE (XRF)*. Estados Unidos .
- F.Pozo.M. (2017). *Presencia de metales pesados Cadmio y Plomo en el estuario del río Chone Manabí, Ecuador*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/5826/582675689013.pdf>
- FAO. (2009). *GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS*. Italia.
- FAO. (2023). *Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*. Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Gaioli, M., Amoedo, D., & Gonzales, D. (2012). *Impacto del mercurio sobre la salud humana y ambiente*. Buenos Aires.
- Instituto Nacional de Normalizacion . (2004). *Normas Uso de lodos y normativa Chilena Compost- Clasificacion y requisitos* . Santiago.
- J.Campaña.G, D. C. (2020). *Caracterización fisicoquímica de un suelo agrícola del cantón Quero, influenciado por las cenizas del volcán Tungurahua*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31589>
- J.Huaraca.F. (2020). *Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados*. Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642020000400139](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000400139)
- J.Vázquez, C. &. (2019). *Concentraciones de plomo (Pb) en cultivos de lechuga (Lactuca sativa) en Azuay, Ecuador*. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172019000300013&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172019000300013&script=sci_arttext&tlng=pt)
- K.Coral.C, D. &. (2019). *Arsénico en aguas, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica de Limoncocha-Ecuador confines de conservación*. Obtenido de <http://201.159.222.115/index.php/innova/article/view/944/1562>

- L.Chancay.A. (2022). *Cadmio en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) y sus*.  
Obtenido de  
[https://www.lareferencia.info/vufind/Record/EC\\_8a8cb2bcfff8c0ce141888bead2f52af](https://www.lareferencia.info/vufind/Record/EC_8a8cb2bcfff8c0ce141888bead2f52af)
- L.Constanza.C, Z. V. (2014). *Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal*. Obtenido de  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702014000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702014000100006&script=sci_arttext)
- L.Loyde.C, B. (2022). *Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar*. Obtenido de  
<https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/228>
- L.Meneses, J. &. (2014). *Determinación de factores de enriquecimiento e índices de geoacumulación de plomo, cadmio y níquel en suelos agrícolas del sector San Alfonso en Machachi*. Obtenido de  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8382670>
- L.Roberts.T. (2014). *Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science*. Obtenido de  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814011059?via%3Dihub>
- Lalangui, B. R. (2013). *“DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN EL TEJIDO BLANDO, HEPATOPÁNCREAS DEL CANGREJO ROJO (UCIDES OCCIDENTALIS) Y SEDIMENTO DE LA RESERVA ECOLÓGICA MANGLARES CHURUTE”*. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- M.Pérez.V, V. &. (2014). *Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají (Capsicum annuum)*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2014.v16n6/897-909/es>
- Montes, F. (s.f.). *ECOLOGIA Y ENSEÑANZA RURAL*. Obtenido de T E M A 2 : E L S U E L O: [https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#P5\\_56](https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#P5_56)
- N.Clavijo.P. (2013). *ENTRE LA AGRICULTURA CONVENCIONAL Y LA AGROECOLOGIA*. Obtenido de  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12482/CaldasMejiaRobertoFelipe2013.pdf?sequence=3>

- Orozco, W. P., Branch, J. W., & Jiménez, J. A. (2004). *Classification of fine-grained igneous, sedimentary and metamorphic rocks through structured programming*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Osorio, N. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES. *Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín*, 1.
- Pinos, D. (2022). *CALIDAD DEL SUELO A PARTIR DE INDICADORES FISICOS Y QUIMICOS APLICADO A TRES USOS DE SUELO PARA LA GENERACION DE PROPUESTAS DE GESTION POR IMPACTOS EN EL SUELO POR ACCIONES ANTROPICAS EN EL BOSQUE Y VEGETACION PROTECTORES DE SUNSUN - YANASACHA*. Cuenca: UPS.
- Ponce, M. B., & Guambaudo, S. P. (2005). *Minerales para la Agricultura en Latinoamérica*.
- R.Cipriano.E. (2016). *Dosis de polvo de roca y sus efectos*,. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-DosisDePolvoDeRocaYSusEfectosSobreElRendimientoDel-7258119%20(2).pdf
- Rangel, E. A., & Montañez, L. E. (2015). *IMPACTO DEL ARSÉNICO EN EL AMBIENTE Y SU TRANSFORMACIÓN POR MICROORGANISMOS*. Tereón : TERRA LATINOAMERICANA.
- Romero, K. P. (2009). *CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS*. Cochabamba: Rev Cient Cienc Méd v.12 n.1 .
- S.Doria. (2018). *Principales tipos de fertilizantes y sus procesos químicos*. Obtenido de [https://www.bloginstrumentacion.com/aplicaciones/principales-tipos-de-fertilizantes-y-sus-procesos-quimicos/?doing\\_wp\\_cron=1688943873.3130280971527099609375](https://www.bloginstrumentacion.com/aplicaciones/principales-tipos-de-fertilizantes-y-sus-procesos-quimicos/?doing_wp_cron=1688943873.3130280971527099609375)
- TULSMA. (2015). *NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO* . Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf](https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf)
- V.Niura.A., L. &. (2012). *EVALUACION DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS Y ARSÉNICO EN SUELOS*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339677012>
- Vazques, J., Sangurima, C., & Alvarez, M. (2019). Concentracion de plomo en cultivos de Lechuga (*Lactusa Sativa*) en Azuay, Ecuador. *Universidad Nacional de Trujillo* , 425.



- W.Berrezueta.B. (2015). *Diagnóstico de la Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015*. Obtenido de <http://gadsanjoaquin.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/PDYOT-San-Joaquin.pdf>
- W.Valdés.C, R. O. (2015). *Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de Oryza sativa L y Solanum*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93233771006>
- Z.Martínez, S. G. (2017). *Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Colombia*. Obtenido de <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/941/1182>
- Z.Peñañiel.S. (2019). *Efecto de la úrea en la absorción de plomo en la estructura foliar de maiz*. Obtenido de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/732>

## ANEXOS

### DELIMITACION DEL AREA





### MUESTREO DEL SUELO





**PREPARACION DE LAS MUESTRAS**  
**PESADO Y SECADO DE LAS MUESTRAS PRETRATAMIENTO**  
**FOTO PESADO 1 KILOGRAMO**



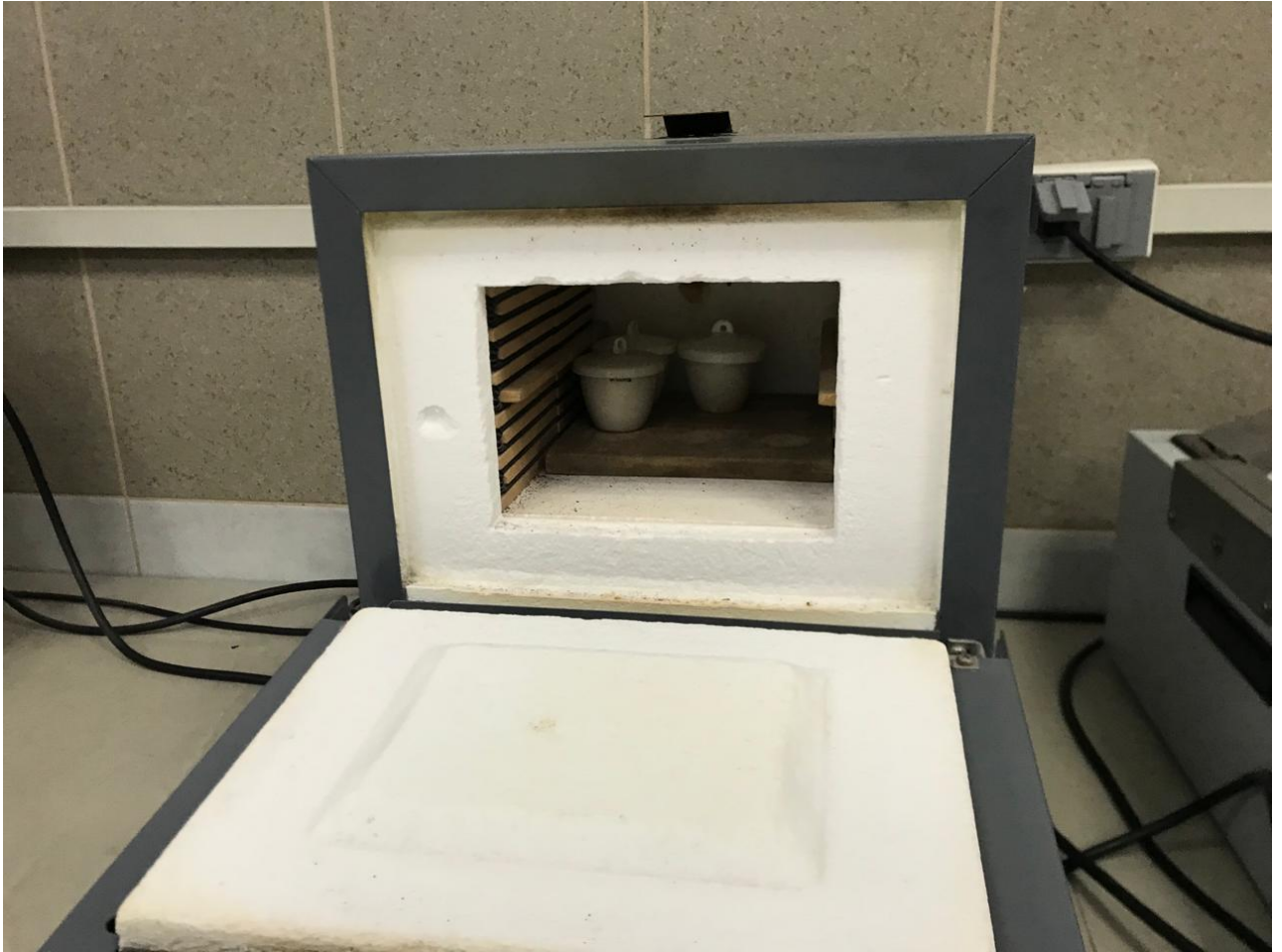
**TRITURADO, TAMIZADO Y ETIQUETADO**



**FASE DE LABORATORIO**

## ETAPA DE CALCINACIÓN



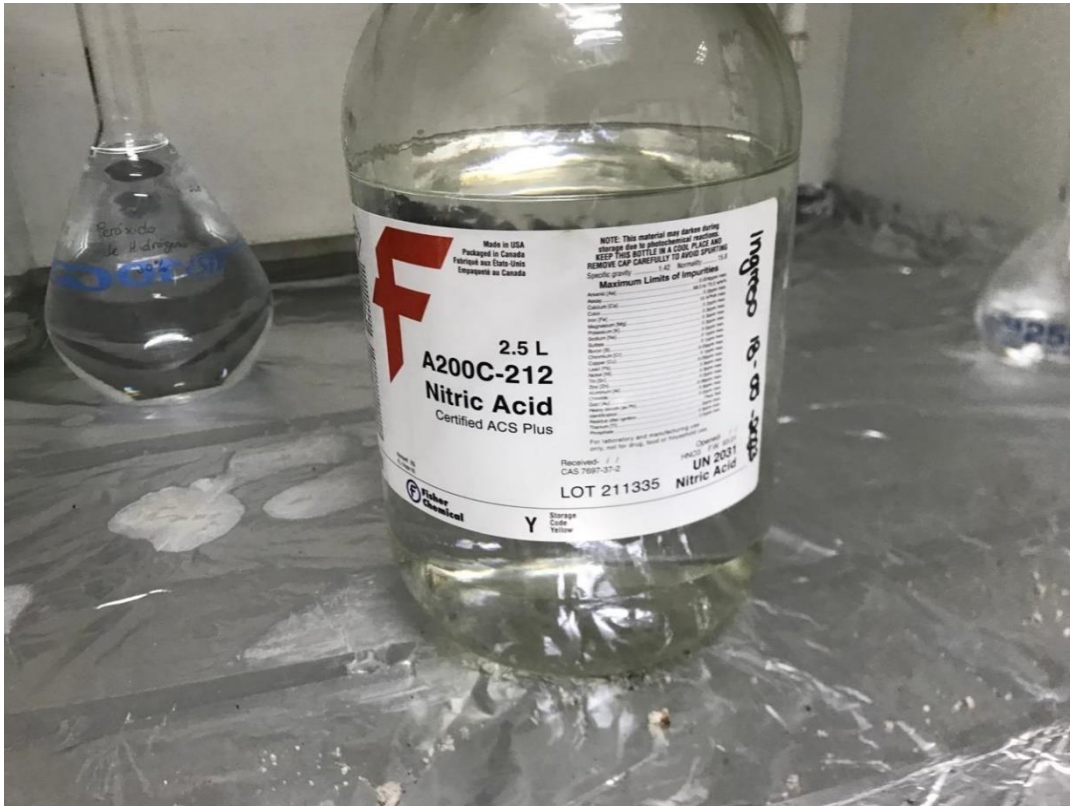


**FOTOS DE LOS PESOS CALCINADOS**





## ETAPA DE DIGESTIÓN

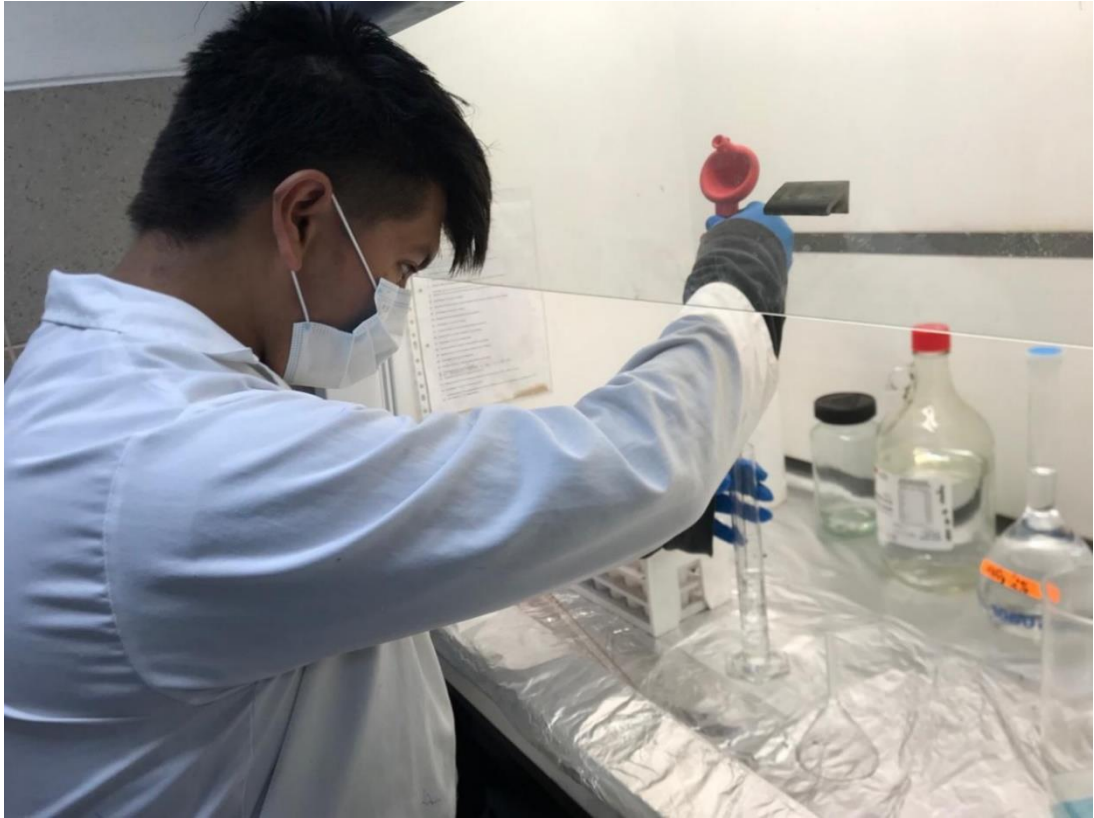


## PREPARACION DE ACIDO NITRICO AL 2%



## APLICACIÓN DE 10 ML DE ÁCIDO NÍTRICO EN LOS TUBOS DE TEFLÓN





**DIGESTION**

