

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*Medicago sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) sobre la remoción de Hg en suelos contaminados por actividad minera

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Lizbeth Pomari Cañazaca

Ninfa Benita Sambrano Quispesivana

Asesor:

MSc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, diciembre del 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

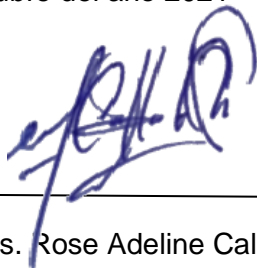
Rose Adeline Callata Chura, de la Facultad de ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*Medicago sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) sobre la remoción de Hg en suelos contaminados por actividad minera." constituye la memoria que presenta las Bachilleres Ninfa Benita Sambrano Quispesivana y Lizbeth Pomari Cañazaca para obtener el título de Profesional de ingeniero ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 12 días del mes de octubre del año 2021



MCs. Rose Adeline Callata



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 30 día(s) del mes de diciembre del año 2019, siendo las 13:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, el secretario: Msc. Jael Gallo Gallo y los demás miembros: Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y el asesor: Msc. Rose Adelina Gallata Shura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Evaluación de la capacidad pitoextractora de la alfalfa (Medicago sativa) y rábano (Raphanus sativus) sobre la remoción de Hg en suelos contaminados por actividad minera

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Ninfa Benita Sambrano Quispesuvana b) Lizbeth Romari Sambrano

conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Ninfa Benita Sambrano Quispesuvana

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy Bueno

Candidato (b): Lizbeth Romari Sambrano

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Signature] Presidente

[Signature] Secretario

[Signature] Asesor

[Signature] Miembro

[Signature] Miembro

[Signature] Candidato/a (a)

[Signature] Candidato/a (b)

DEDICATORIA 1

A mi querida familia, Armando,
Ninfa y Aldeir por hacer de mi vida
una verdadera dicha.

Lizbeth Pomari Cañazaca

DEDICATORIA 2

A mis padres Martin y Benita por su apoyo constante, por brindarme la confianza y recursos para lograrlo. A mis hermanos(as) Sonia, Rene, Alfredo, Martin, Ruth y Roy, por estar conmigo en todo momento contribuyendo incondicionalmente.

Ninfa Sambrano Quispesivana

AGRADECIMIENTO 1

Ante todo, quiero agradecer a Dios por darme el gran honor de poder cumplir una de mis metas.

También quiero expresar agradecimiento pleno hacia mis padres y hermano, quienes demostraron amor, paciencia y confianza en mí y en mis expectativas en este proceso de realización de tesis. Gracias papá y mamá por desear lo mejor para mi vida.

Hago presente mi afecto a cada uno de los miembros de la familia “POMARI y CAÑAZACA”, quienes son una fuente de inspiración y motivación para superarme profesionalmente.

A la MSc. Adeline Callata y MSc Jael Calla, por el asesoramiento y la guía constante en el desarrollo de tesis, que conllevó a la culminación satisfactoria del presente proyecto de investigación.

A mi amiga Ninfa, quien es mi compañera de tesis y una pieza fundamental para llegar hasta este punto de mi vida tan importante.

De manera especial quiero agradecer textualmente a Alvaro, por demostrarme con hechos lo que significa las palabras “apoyo incondicional”.

Finalmente, y no menos importante quiero agradecerme a mí misma, por darme la oportunidad de creer en mí y en mis aspiraciones.

Lizbeth Pomari Cañazaca

AGRADECIMIENTO 2

En primer lugar, doy gracias a Dios, por haberme dado salud fortaleza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Al Programa Nacional de Beca y Crédito Educativo PRONABEC, por brindarme la oportunidad de poder estudiar en una casa superior de estudios.

A la Universidad Peruana Unión, por brindarme una educación con vocación de servicio e innovación.

También hago extenso este reconocimiento a mis padres quienes son mi motor y mi mayor inspiración y toda mi querida familia por el apoyo brindado pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mi asesora MSc. Rose Adeline Callata Chura por guiarnos en el proceso de investigación de igual forma al MSc. Jael Calla Calla por contribuir y ser guía para la ejecución de este proyecto

Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento a mi amiga Lizbeth por su gran apoyo, motivación y confianza, por haber logrado nuestro gran objetivo con mucha perseverancia y confiar en nosotras mismas.

De la misma forma a Alvaro por su apoyo durante este proceso,

Ninfa Sambrano Quispesivana

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPITULO I.....	17
EL PROBLEMA	17
1.1. Identificación del problema	17
1.2. Justificación de la investigación.....	18
1.1. Presuposición filosófica.....	19
1.2. Objetivos de la investigación.....	19
1.2.1. Objetivo general	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
CAPITULO II.....	20
REVISIÓN DE LA LITERATURA	20
2.1. Fundamentos del objeto del estudio.....	20
2.1.1. Suelo.....	20
2.1.2. Efectos de metales pesados en el suelo	20
2.1.3. Movilización de los metales pesados en el suelo.....	20
2.1.4. Contaminación de suelo por mercurio	21
2.1.5. Mercurio.....	21
2.1.6. Tipos de mercurio en el ambiente.....	21
2.1.7. Contaminación de mercurio por la minería.....	22
2.1.8. Utilización de mercurio en la minería artesanal peruana	22
2.1.9. Fitoextracción	22
2.1.10. Fases de la fitoextracción	23
2.1.11. Fitorremediación con alfalfa (<i>medicago sativa</i>).....	24
2.1.12. Descripción botánica y origen de la alfalfa	24
2.1.13. Rábano	25
2.1.14. Descripción botánica y ciclo biológico del rábano.....	25
2.1.15. Potencial de hidrogeno	26
2.1.16. Materia orgánica (MO)	27
2.1.17. Conductividad eléctrica (CE).....	28
2.1.18. Textura del suelo.....	28
2.1.19. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	30

2.1.20. Fósforo (P).....	31
2.1.21. Potasio (K).....	31
2.1.22. Nitrógeno Total.....	32
2.2. Resultados anteriores de investigación	32
2.2.1. Antecedentes internacionales	32
2.2.2. Antecedentes nacionales	33
2.2.3. Antecedentes locales	34
2.4. Marco legal	34
2.4.1. Ley general del ambiente 28611.....	34
2.4.2. Decreto supremo N° 011- 2017- MINAM (ECA) para suelo.....	34
2.4.3. Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor	35
CAPITULO III.....	36
MATERIALES Y METODOLOGIA	36
3.1. Descripción del lugar de ejecución	36
3.1.1. Descripción del lugar de muestreo	36
3.1.2. Determinación de los puntos de muestreo	37
3.1.3. Datos de ubicación del lugar experimental.....	38
3.2. Tipo de investigación.....	39
3.3. Variable de estudio.....	39
3.4. Materiales, insumos y equipos.....	39
3.4.1. Materiales y equipos	39
3.4.2. Insumos	40
3.6. Procedimiento.....	40
3.6.1. Toma de muestras de suelo.....	40
3.6.2. Análisis físicos – químicos	41
3.6.3. Preparación de la muestra.....	42
3.6.4. Determinación del porcentaje de germinación de las especies	44
3.6.5. Descripción de los tratamientos	45
3.7. Análisis estadístico.....	46
CAPITULO IV	47
RESULTADOS Y DISCUSIONES	47
4.1. Presentación, análisis e interpretación de datos	47
4.1.1. Análisis de metales pesados.....	47
4.1.2. Porcentaje de germinación	48

4.2.3. Análisis físico químicos de los suelos.....	51
4.1.3. Potencial de hidrógeno	51
4.1.4. Conductividad eléctrica	52
4.1.5. Materia orgánica.....	53
4.1.6. Fósforo (P).....	55
4.1.7. Potasio (K).....	56
4.1.8. Textura del suelo.....	57
4.1.9. Capacidad de intercambio catiónico	58
4.2. Porcentaje de remoción mercurio en el suelo	59
4.2.1. ANOVA	59
4.2.3. Homogeneidad de varianza de Levene	59
4.2.4. Comparación de medias	60
CAPITULO V	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones.....	63
REFERENCIAS	64
ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación botánica de la alfalfa (medicago sativa).....	24
Tabla 2. Identificación botánica del rábano (raphanus sativus)	25
Tabla 3. Clasificación de suelos de acuerdo a su pH.	26
Tabla 4. Contenido de materia orgánica en suelos.	28
Tabla 5. Clasificación de suelos por su conductividad eléctrica.	28
Tabla 6. Cuadro granulométrico	29
Tabla 7. Disponibilidad de fósforo en el suelo	31
Tabla 8. Disponibilidad de potasio en el suelo	32
Tabla 9. Disponibilidad de nitrógeno en suelos.....	32
Tabla 10. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la zona de estudio.....	37
Tabla 11. Coordenadas UTM del lugar de ejecución	38
Tabla 12. Materiales usados durante la parte experimental.....	40
Tabla 13. Insumos para el proceso experimental	40
Tabla 14. Análisis de metales pesados.....	41
Tabla 15. Caracterización de suelo	42
Tabla 16. Análisis de mercurio pre y post	42
Tabla 17. Porcentaje de germinación de las plantas.....	45
Tabla 18. Resultados de los análisis de metales pesados en el suelo	47
Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) paramétrica del porcentaje de germinación de las especies.....	48
Tabla 20. Prueba de homogeneidad de varianza	49
Tabla 21. Método de Tukey a una confianza de 95% de germinación de las plant.....	49
Tabla 22. Resultados de la textura del suelo.	57
Tabla 23. Resultados del análisis de mercurio después del tratamiento.....	59
Tabla 24. Análisis de varianza para porcentaje de remoción.....	59
Tabla 25. Prueba de homogeneidad de varianza	60
Tabla 26. Comparaciones por parejas de Tukey del porcentaje de remoción.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso implicado en la fitorremediación de contaminantes del suelo.....	23
Figura 2. Planta de la alfalfa	24
Figura 3. Planta del rábano.....	26
Figura 4. Triangulo textural de suelo.	30
Figura 5. Mapa político de ubicación del departamento de Puno.....	36
Figura 6. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de suelo.	38
Figura 7. Mapa de ubicación del lugar de ejecución	39
Figura 8. Descripción del tratamiento	46
Figura 9. Porcentaje de germinación.....	50
Figura 10. Resultados de potencial de hidrógeno	51
Figura 11. Conductividad eléctrica.....	52
Figura 12. Materia orgánica	53
Figura 13. Fósforo	55
Figura 14. Potasio	56
Figura 15. Capacidad de intercambio catiónico	58
Figura 16. Eficiencia de remoción de mercurio	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Cadena de custodia.....	69
Anexo B: Certificado de resultados de análisis	72
Anexo C: Análisis estadístico.....	83
Anexo D: Panel fotográfico.....	92

SIMBOLOS USADOS

Ba : Bario

Cd : Cadmio

CE : Conductividad eléctrica

CIC : Capacidad de intercambio catiónico

Cr : Cromo

ECA : Estándar de calidad ambiental

Ha : Hectárea

Hg : Mercurio

K : Potasio

Kg : Kilogramo

MINAM: Ministerio del ambiente

MO : Materia orgánica

P : Fósforo

Pb : Plomo

pH : Potencial de hidrógeno

Ppm : Partes por millón

R1 : Repetición 1

R2 : Repetición 2

R3 : Repetición 3

SC : Suelo contaminado

SP : Suelo preparado

T1 : Tratamiento 1

T2 : Tratamiento 2

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*) sobre la remoción de Hg en suelos contaminados por el centro minero de Ollachea, Puno.

La investigación fue experimental, los muestreos de suelo se realizaron en 23 puntos distribuidos aleatoriamente según la Guía de muestreo de suelo del D.S N° 002-2013- MINAM, donde se realizó un análisis inicial a las muestras de suelo en diferentes concentraciones de Hg al 50% (70.2ppm) y 25% (45.5.ppm) y la diferencia fue completada con suelo preparado (equivalente a 2 kilos) por cada macetero con un total de 12 unidades experimentales, la duración del tratamiento fue de 10 semanas, al término del experimento se analizó la concentración de Hg en un laboratorio acreditado. Consecuentemente se procesaron los datos mediante el análisis estadístico arreglo factorial 2A 2B en DCA.

La fitoextracción muestra que la siembra de la alfalfa cultivada en T2 remueve mayores niveles de concentración de mercurio con 58.72 % a diferencia de los tratamientos T1, T3 y T4, por lo tanto, podemos concluir que los dos tipos de siembra ofrecen resultados positivos en la remoción de suelos contaminados con mercurio.

Palabras claves: alfalfa, contaminación de suelos, fitoextracción, mercurio, rábano

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the phytoextractor capacity of alfalfa (*medicago sativa*) and radish (*raphanus sativus*) on the removal of Hg in soils contaminated by the mining center of Ollachea, Puno.

The investigation was experimental, the soil sampling was carried out in 23 randomly distributed points according to the soil sampling guide of the DS N ° 002-2013-MINAM, where an initial analysis was carried out on the soil samples at different concentrations of Hg at 50% (70.2ppm) and 25% (45.5.ppm) and the difference was completed with prepared soil (equivalent to 2 kilos) for each planter with a total of 12 experimental units, the duration of treatment was 10 weeks, at the end The concentration of Hg in an accredited laboratory was analyzed from the experiment. Consequently, the data were processed by means of the statistical analysis of factorial arrangement 2A 2B in DCA.

Phytoextraction shows that the sowing of alfalfa grown in T2 removes higher levels of mercury concentration with 58.72% unlike treatments T1, T3 and T4, therefore, we can conclude that the two types of planting offer positive results in the removal of soils contaminated with mercury.

Keywords: Alfalfa, soil pollution, phytoextraction, mercury, radish

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

En la actualidad existe variedad de alteraciones ambientales que afectan de manera adversa a la vida humana, animal y vegetal, esto se debe a consecuencia del acrecentamiento de las actividades antropogénicas. Se conoce que la mayor fuente de contaminación son las que se genera por actividades industriales que se desarrollan cotidianamente, ya que éstas, afectan de forma negativa a los recursos naturales como son: agua, suelo y aire, (Bonilla, 2013).

La presencia de metales pesados en el suelo son vitales para que los organismos puedan mantener sus actividades de forma regular. Sin embargo, las excesivas acumulaciones de dichos compuestos metálicos son altamente nocivos para el medio que nos rodea. Los metales pesados se aglomeran en el suelo de diferentes modos, dentro de ellos está el uso de fertilizantes, pesticidas, aguas residuales, y otros elementos químicos que modifican las características naturales del medio terrestre.

El principal problema que conlleva la desmesurada disposición de metales pesados en el ambiente, es que dichos compuestos metálicos son difícilmente biodegradables, ello implica que su presencia en la tierra permanece por un periodo de tiempo demasiado largo. Estudios previos demostraron que los microorganismos son sensibles a cantidades elevadas de metales pesados y pueden conllevar a la difusión, desnaturalización de proteínas y destrucción de la integridad de la membrana celular, (Ramos, 2002).

Es por ello que, bajo ésta problemática se buscan acciones que puedan disminuir los problemas ocasionados por la excesiva presencia de metales pesados en el suelo. Actualmente existe una variedad de técnicas ecológicamente amigables, donde se realiza el uso de materiales orgánicos, una técnica popular por su efectividad y accesibilidad es el uso de la diversidad de plantas biorremediadoras de metales pesados, a fin de disminuir la toxicidad de compuestos metálicos del suelo.

Dentro de la variedad de plantas acumuladoras de metales pesados se encuentra las familias fabaceae y brassicaceae según su categoría taxonómica estas especies son consideradas

como una opción que cuenta con una mayor cantidad de ventajas, ya que éstas poseen un crecimiento rápido, puede ser cosechadas en cualquier época del año, siendo tolerable a temperaturas bajas y altas, etc.

1.2. Justificación de la investigación

Los suelos contaminados por la actividad minero artesanal de Ollachea, tienen presencia de mercurio que sobrepasan los estándares de calidad ambiental, de la misma forma viendo la necesidad de poder proteger al medio ambiente y la salud humana de los efectos dañinos de la contaminación provenientes de la actividad minera debido a que se utiliza el mercurio para la obtención del oro y demás metales tóxicos, es por ello que es indispensable poder evaluar la capacidad fitoextractora mediante el uso de la alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*) sobre la adsorción de metales como medida correctiva, (Frossard et al., 2018).

Según (Gonzales, 2017) en el trabajo realizado sobre “Fitoremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa*)”. Considera a la alfalfa como una planta fitorremediadora sobre dos niveles de cobre utilizados.

En el estudio realizado por (Silva, 2010) hacen mención que la contaminación por metales pesados se debe tratar ya que estos elementos tóxicos tienen esa capacidad de quedar retenidos por procesos de adsorción, de complejación y de precipitación, estas son absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas. Por esta razón pueden pasar a la atmosfera por volatilización y moverse a las aguas superficiales y subterráneas provocando así impactos negativos en el medio ambiente, animales y a la salud humana.

La presente investigación tiene el propósito de disminuir las altas concentraciones de Hg en el suelo debido a que éste daña la fertilidad del suelo, afectando directamente a la pérdida de nutrientes, por otro lado, la importancia de la recuperación del suelo siendo fuente de producción agrícola.

Se plantea absorber el mercurio presente en el suelo contaminado usando la tecnología de fitoextracción debido a su bajo costo y corto tiempo de ejecución, de la misma forma brinda excelentes alternativas haciendo uso de especies vegetales como la alfalfa (*medicago sativa*) y (*raphanus sativus*) en la remediación de suelos contaminados, (Alcantara & Doronila, 2017).

1.1. Presuposición filosófica

La sagrada escritura de la biblia nos dice en Isaías 40:28 “¿no has sabido, no has oído que el Dios eterno es Jehová, el cual creó los confines de la tierra? no desfallece, ni se fatiga con cansancio, y su entendimiento no hay quien lo alcance” en el presente versículo el Señor, recalca que él es el creador de toda esta tierra que por gracia nos fue entregada, para que sus hijos habitemos y cuidemos de ella, (Valera, 1960).

Dios creó los cielos y la tierra con total perfección, sin embargo, la humanidad fue modificando algunas condiciones de la creación inicial, causando efectos negativos atentando contra nosotros mismos, incumpliendo el plan perfecto de Dios.

Como hijos del divino padre, el deseo nuestro debe basarse en agradar a Dios en todos los aspectos de nuestra vida; no dejando de lado la responsabilidad que Dios nos brindó de cuidar y preservar los recursos naturales como el suelo, agua y aire.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*) sobre la remoción de Hg en suelos contaminados por actividad minera.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la propiedad física (textura) del suelo contaminado.
- Caracterizar las propiedades químicas (pH,CE,MO,CIC,F y K) de suelo contaminado.
- Determinar el porcentaje de remoción del mercurio mediante el sembrío de la alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*).

CAPITULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Fundamentos del objeto del estudio

2.1.1. Suelo

El suelo es un componente principal para el desarrollo de la vida en el ambiente, es un medio dinámico compuesto por minerales (arcilla, limo y arena), dicho recurso desempeña diversas funciones en la superficie de la tierra, para fines muy diversos: agricultura, ganadería, pastos y montes, entre otros. En tal sentido, se concluye que el suelo suministra importantes funciones ambientales, dentro de ellas resalta el sustento de alimento para las plantas, almacenar nutrientes, poseer y albergar materia orgánica proveniente de restos animales y vegetales, ser el hábitat de diversos organismos que transforman la materia orgánica presente en él, (Silva & Restrepo, 2009).

2.1.2. Efectos de metales pesados en el suelo

El suelo es el receptor de la mayor parte de los residuos generados por el hombre, produciendo su contaminación y transmitiendo a otros recursos como las aguas subterráneas o a las cadenas tróficas, a través de su captación por las plantas,(Rodríguez & McLaughlin, 2019).

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos, causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal en las plantas y disturbios funcionales en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo; este tipo de contaminación se conoce como “polución de suelos”, (Pueyo et al., 2012).

2.1.3. Movilización de los metales pesados en el suelo

Los metales pesados en los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida,(Bonilla, 2013). Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo,(Méndez et al., 2008).

A continuación, las cuatro formas de distribución de los metales pesados incorporados en el suelo, (Jimenez & Párraga, 2011).

- A. Retención en el suelo debido a la disolución o fijación por procesos de adsorción, formación de complejos o precipitación.
- B. Absorción por las plantas e incorporación de las cadenas tróficas.
- C. Volatilización y paso a la atmósfera.
- D. Movilización hacia las aguas superficiales o subterráneas.

2.1.4. Contaminación de suelo por mercurio

El mercurio acumulado en el suelo introduce riesgos ambientales, por lo tanto, es necesario estudiar el contenido de Hg en suelos contaminados. Los sistemas saludables del suelo son esenciales para la protección de plantas, hábitats, aguas subterráneas, sostenibilidad de la agricultura agrícola y servicios ecosistémicos, animales y humanos afectados directa o indirectamente por estos sistemas. Sin embargo, la contaminación por Hg en los suelos del territorio peruano es un problema que proviene principalmente por las actividades mineras, convirtiéndose en la principal fuente de contaminación de riesgo ambiental, (Yang et al., 2019).

2.1.5. Mercurio

El mercurio se genera de manera natural en el medio ambiente y se da en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura se le conoce como mercurio "elemental" o "metálico" representado también como Hg. Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas, (Paredes, 2015).

El mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente. El mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante en estado líquido a temperatura ambiente, este generalmente se utiliza en termómetros y en algunos interruptores eléctricos. A temperatura ambiente, el mercurio metálico se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio, estos vapores son incoloros e inodoros. Cuanta más alta sea la temperatura ambiente, más vapores de mercurio se emanarán, (Paredes, 2015).

2.2.6. Tipos de mercurio en el ambiente

- a. **Mercurio inorgánico o metálico (Hg):** Se encuentra de forma natural en el suelo, pero sus concentraciones se incrementan exponencialmente por los vertidos del hombre.

En el agua, por su elevada densidad, el mercurio se deposita y acumula en el barro del fondo,(Espinoza, 2018).

- b. **El Mercurio orgánico o metilmercurio (MeHg):** Las bacterias y otros microorganismos transforman el mercurio metálico en metilmercurio en el fondo de los cuerpos de agua y en zonas pantanosas. Los peces detritívoros y otros pequeños organismos (caracoles, cangrejos, gusanos, etc.), que se alimentan de barro del fondo, ingieren el metilmercurio y lo van acumulando en sus tejidos a lo largo de su vida (bioacumulación),(Espinoza, 2018).

2.1.7. Contaminación de mercurio por la minería.

El mercurio proveniente por la actividad minera no solo afecta la zona donde es vertido, sino también aquellas ubicadas aguas abajo de los mismos. Este finalmente llegaría a zonas agrícolas, de pesca y a fuentes de abastecimiento de agua potable, donde por lo general, las bocatomas, o sistemas de captación, se encuentran ubicadas más cerca de los sedimentos, donde es mayor la contaminación, que de la superficie de los ríos,(Díaz, 2014).

2.1.8. Utilización de mercurio en la minería artesanal peruana

La utilización de mercurio, en el proceso de amalgamación; por la sencillez de su técnica, su relativa eficacia y poca inversión; es el método más difundido, preferido y aplicado por los mineros artesanales y lavadores auríferos peruanos que realizan operaciones ya sea en yacimientos primarios (vetas) o secundarios “placeres” en distintas circunscripciones con filiación aurífera, del territorio peruano,(Espinoza, 2018).

2.1.9. Fitoextracción

La fitoextracción también conocida como fitoacumulación o fitoabsorción es un proceso por el cual las plantas logran absorber y extraer el contaminante del suelo, especialmente metales, que llegan a poder acumularlos en sus tallos y hojas,(Kingscott, 1997).

Existe cierta cantidad de plantas que poseen la capacidad de absorber una mayor cantidad de metales a diferencia con otras plantas. Para lo cual se debe seleccionar una planta, según la presencia de los metales y las características del lugar

Las plantas fitoextractoras ideales deberán poseer las siguientes cualidades,(Manuel & Flores, 2018).

- Elevado índice de crecimiento.

- Elevada producción de biomasa.
- Sistema radicular ampliamente distribuido y muy ramificado.
- Acumular metales pesados del suelo.
- Transportar los metales pesados acumulados desde la raíz hasta los brotes.
- Tolerar los efectos tóxicos de los metales pesados.
- Presentar buena adaptación a las condiciones ambientales y climáticas de la zona y resistencia a patógenos y plagas.
- Deben ser de fácil cultivo y cosecha.
- Repeler a los herbívoros para evitar la contaminación de la cadena alimentaria.

En el desarrollo de la fitoextracción, la planta es cultivada en un determinado suelo contaminado. Al desarrollarse la extracción del metal contaminante por la planta, se lleva a cabo el proceso de la cosecha, la cual convertida en biomasa enriquecida por el metal pesado que se encontraba contaminando dicho suelo, (Manuel & Flores, 2018).

Para que el proceso llegue a ser eficiente, se necesita una planta con la capacidad de crecimiento intensivo, la cual se pueda recolectar de manera sencilla, y que tenga la propiedad de acumular grandes cantidades de concentración del metal, (Vaca, 2001).

2.1.10. Fases de la fitoextracción

Concentración del contaminante en partes áreas de la planta

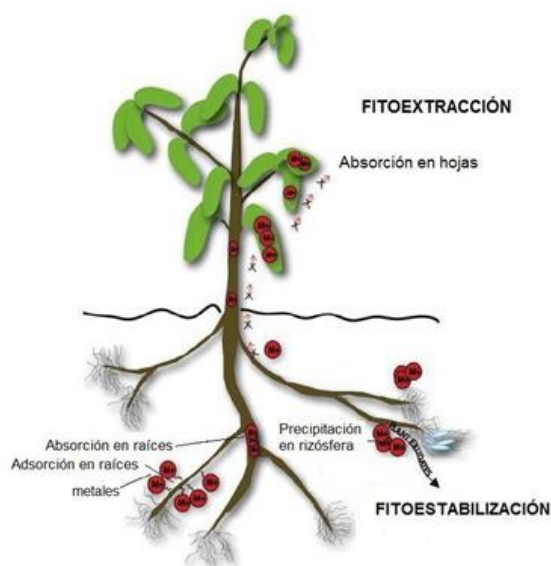


Figura 1. Proceso implicado en la fitorremediación de contaminantes del suelo.

Fuente: (Bayón, 2015).

2.1.11. Fitorremediación con alfalfa (*medicago sativa*)

Las leguminosas (alfalfa) acumulan altas cantidades de metales en sus tallos y raíces, con una gran diferencia en cada una de las especies empleadas en la extracción y limpieza de suelos,(Lopez, 2012).

2.1.12. Descripción botánica y origen de la alfalfa

La alfalfa es una leguminosa perenne con alto potencial productivo, de rápido crecimiento durante el verano, crece mejor en suelos con un pH de 6.5 a 6.8. El pH menor de 6.5 ocasiona una reducción en la fijación del nitrógeno por los nódulos de la raíz, (Becerra, 2004).

Esta especie tiene un gran sistema radicular, con una raíz principal robusta y muchas raíces secundarias. La raíz principal alcanza profundidades de 1 a 2 m. las hojas normales son trifoliadas, las flores principalmente de color violáceo o azul pueden medir de 8 a 10 mm de longitud,(Bonilla, 2013).



Figura 2. Planta de la alfalfa

Fuente: Bonilla

Tabla 1.

Identificación botánica de la alfalfa (*medicago sativa*)

Alfalfa (<i>medicago sativa</i>)	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Familia	Fabaceae
Género	<i>Medicago</i>
Especie	<i>Medicago sativa</i>

Fuente:(Ecured, n.d.)

2.1.13. Rábano

El rábano (*raphanus sativus*.) es una hortaliza muy apreciada por sus propiedades farmacéuticas y altos contenidos de vitaminas y minerales, es una planta de acelerado crecimiento y alta capacidad productiva, lo que está estrechamente relacionado con el genotipo y las condiciones ambientales; a su vez, es un cultivo que permite un manejo intensivo y es fundamentalmente utilizado en siembras a pequeña escala. Sin embargo, existe muy poca información de su respuesta como fitoextractora de metales pesados,(Terry, 2014).

Tabla 2.

Identificación botánica del rábano (*raphanus sativus*)

Rábano (<i>raphanus sativus</i>)	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Género	<i>Raphanus</i>
Especie	<i>Raphanus sativus</i>

(Ecured, n.d.)

2.1.14. Descripción botánica y ciclo biológico del rábano

El ciclo del cultivo del rábano se diferencian dos etapas, la primera etapa se basa en la fase vegetativa en la que su follaje y sus raíces carnosas se desarrollan, en la etapa reproductiva se da cuando las flores, frutos y las semillas empiezan a crecer.

La hortaliza se acomoda en climas templados, teniendo en cuenta que también se debe proteger al cultivo durante las épocas de elevadas temperaturas. Las condiciones climáticas cumplen un factor muy importante en el ciclo de cultivo, siendo éste de 20 días a más de 70 días. El desarrollo vegetativo tiene lugar entre los 6°C y los 30°C, el óptimo se encuentra entre 18 - 22°C. Se adapta a cualquier tipo de suelo, con mayor preferencia en suelos profundos, sueltos, y arenosos, neutros con un buen drenaje, pero que contenga un alto contenido de materia orgánica y capaz de retener abundante humedad necesaria para el rápido desarrollo

del cultivo. El contenedor que crecerá debe ser mayor a 20 centímetros de profundidad. El pH debe oscilar entre 5,5 y 6,8. No tolera la salinidad,(Hydro environment, 2018).



Figura 3. Planta del rábano

Fuente:(Hydro environment, 2018)

2.1.15. Potencial de hidrogeno

El pH del suelo es la medida de la cantidad de alcalinidad o acidez que contiene. El pH tiene mucha influencia sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas que afectan en el crecimiento del cultivo, por ellos es de vital importancia conocer el pH de los suelos.

El pH del suelo tiene una influencia decisiva en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. De hecho, el pH determina la eficiencia con las que las plantas puedan usar los nutrientes. Los suelos entre ligeramente ácidos y ligeramente alcalinos son los mejores para la mayoría de los cultivos en la Tabla 3 se muestran los tipos de suelo por su pH.

Tabla 3.

Clasificación de suelos de acuerdo a su pH.

pH	Evaluación
<4.5	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Medianamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Medianamente básico
7.9 – 8.4	Básico
8.5 – 9.0	Ligeramente alcalino
9.1 – 10.0	Alcalino
10	Fuertemente alcalino

Fuente: (Bustinza,Carbo & Gina)

2.1.16. Materia orgánica (MO)

La materia orgánica del suelo puede ser encontrada en dos categorías: la primera está constituida por la materia relativamente estable, la cual es denominada humus, que cuenta con una capacidad que la hace resistente a una rápida descomposición y la segunda constituye aquellos materiales de rápida descomposición como residuos frescos de la cosecha hasta aquellos que por una cadena de reacciones de descomposición que se acerca a un cierto grado de estabilidad,(Bacilio, 2015).

Se puede tomar en cuenta a la materia orgánica del suelo como un grupo de compuestos heterogéneos a base de carbonos, que se encuentran constituidos por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos en estado continuo de descomposición, de sustancias sintetizadas por microorganismo y del grupo de microorganismos vivos o muertos y de animales que todavía están en proceso de descomponer,(Bacilio, 2015).

La MO juega un papel muy importante ya que es la encargada de brindar los respectivos nutrientes a las plantas y sirve como fuente de energía para los microorganismos. La materia orgánica del suelo (MOS) es un parámetro determinado por controles bióticos, como la abundancia producción y tipos de especies de plantas y de la producción microbial y por controles ambientales, tales como la temperatura, contenido de agua y la textura del suelo, la dinámica y preservación de la MOS es decisiva porque mejora la estructura y porosidad, (Zamora, 2016).

La MO del suelo une dos elementos químicos esenciales, que no se encuentran en el material de origen: carbono y nitrógeno. “El último es el elemento más crucial desde el punto de vista cuantitativo, ya que esta característica justificaría la estimación de la materia orgánica, como una forma de proporcionar nitrógeno. La MO contiene cerca del 5% de nitrógeno total, pero también cuenta con otros elementos fundamentales para las plantas, como el fósforo, azufre, magnesio, calcio y micronutrientes”,(United States Environmental Protection Agency, 2006).

Los suelos ricos en materia orgánica generalmente son oscuros en la siguiente tabla N° 4 se expresa los contenidos de materia orgánica en suelos.

Tabla 4.

Contenido de materia orgánica en suelos.

Clasificación	Contenido en %
Bajo	menos de 2
Medio	2 – 4
Alto	más de 4

Fuente: (Bustinza,Carbo & Gina)

2.1.17. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS m⁻¹ (1+5 v/v). Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo, (Barbaro, 2018).

Tabla 5.

Clasificación de suelos por su conductividad eléctrica.

Clase	dS m (mmhos/cm)	Categoría de suelos para crecimiento de plantas
No salino	0 – 2	Normal
Muy ligeramente salino	2 – 4	Normal
Ligeramente salino	4 – 8	Salino
Moderadamente salino	8 – 16	Salino
Fuertemente salino	más de 16	Salino

Fuente: Soil survey manual (1997)

2.1.18. Textura del suelo

La textura de un suelo expresa la porción relativa del contenido de arena, limo y arcilla. Con estas tres partículas se puede obtener un gran número de combinaciones que dan lugar a las clases texturales. La textura es responsable de la humedad, permeabilidad, aireación y la fertilidad potencial de los suelos.

Para determinar la clase textural de un suelo, primero se debe conocer el contenido de arena, limo y arcilla expresado en %, luego se pasa al uso del triángulo de textura, (Bustinza,Carbo & Gina)

El diámetro de las partículas se expresa en el siguiente cuadro Granulometría internacional simple

Tabla 6.

Cuadro granulométrico

Fracción	Diámetro (μm)
Arena	20 - 2000
Limo	2 - 20
Arcilla	< 20

Fuente: (Bustinza,Carbo & Gina)

A. Determinación de textura con el método de hidrómetro

En el laboratorio habitualmente se determina por el método de hidrómetro que se basa en la diferente velocidad de sedimentación de arcilla, limo y arena, conforme a la ley de Stokes que dice que la velocidad de caída de las partículas esféricas en un medio fluido es proporcional al cuadrado del radio de dichas partículas.

“La textura del suelo se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en el suelo. La textura es uno de los más estables atributos del suelo pudiendo sólo ser modificada ligeramente por cultivación y otras prácticas que causan la mezcla de las diferentes capas del suelo”. (Usda, 1999) ver, figura 4.

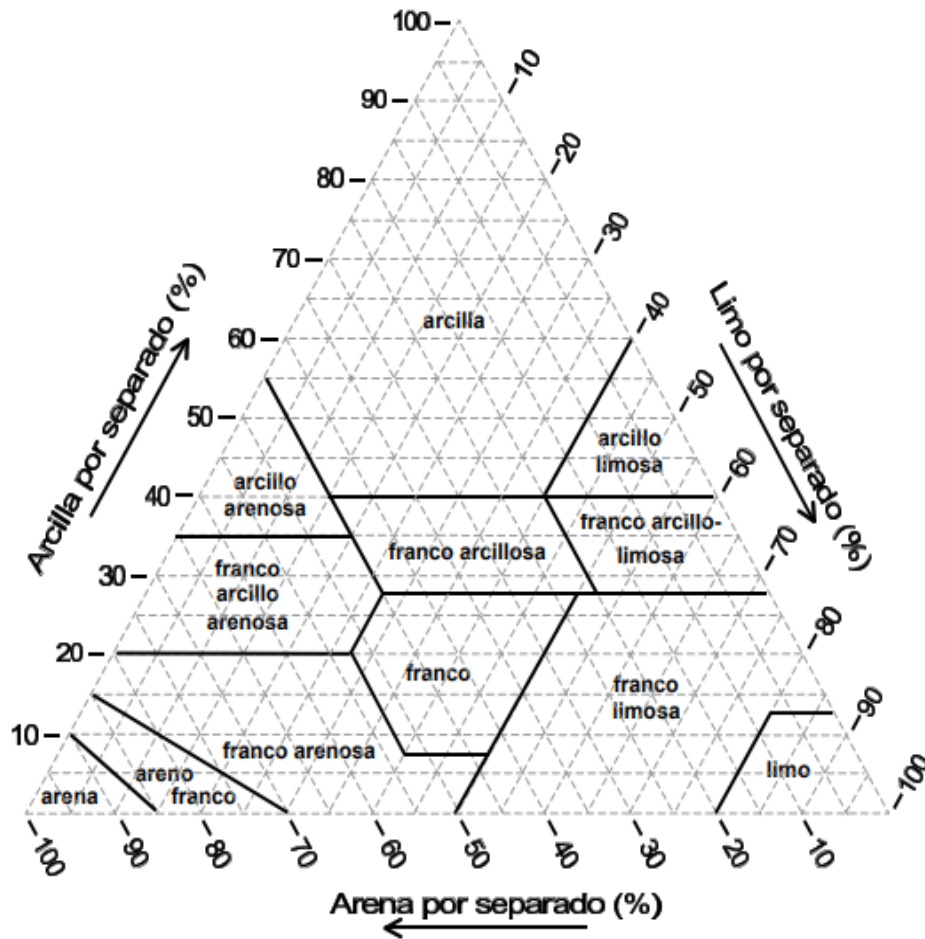


Figura 4. Triángulo textural de suelo.

Fuente: Triángulo textural de USDA

2.1.19. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El humus y la arcilla (coloides) poseen carga negativa que les permite retener a los cationes como: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ sobre sus superficies.

El proceso de adsorción de nutrientes y su liberación en la solución de suelo es denominado intercambio de cationes (IC); este proceso es muy importante para la nutrición de las plantas.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un suelo o de uno de sus componentes expresa el número de los moles de cationes absorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca bajo condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa solución dada.

La CIC representa la fertilidad potencial del suelo, varía de horizonte a horizonte y en cada uno de ellos dependerá del contenido y tipo de minerales de arcilla y componentes orgánicos, (Bustinza,Carbo & Gina).

2.1.20. Fósforo (P)

El fósforo, conocido químicamente con el símbolo (P), es un nutriente vital para las plantas y animales por su intervención en numerosas reacciones que implican almacenamiento y liberación de energía. El contenido total de fósforo en los suelos varía entre 0.01 – 0,2%. La mayor parte de los compuestos en agua y no disponible para las plantas. El contenido de compuestos solubles de fósforo en el suelo es bajo. A continuación, se presenta la disponibilidad de fósforo en el suelo,(Ambos, 1991).

Tabla 7.

Disponibilidad de fósforo en el suelo

Nivel	P (ppm)
Bajo	0 - 6
Medio	7 - 14
Alto	>14

Fuente: (Bustinza,Carbo & Gina)

2.1.21. Potasio (K)

El potasio es un nutriente fundamental para los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejante al requerimiento de nitrógeno. El contenido de K en la litosfera es del orden del 1.58%, pero existen variaciones según la clase de rocas presentes. En los suelos, el contenido de K está estrechamente relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis. El contenido de potasio total del suelo no es un índice de fertilidad para los cultivos y el potasio puede estar distribuido en el suelo en diferentes formas,(Conti, 1992).

Tabla 8.

Disponibilidad de potasio en el suelo

Nivel	K₂O Kg/ Ha
Bajo	0 - 300
Medio	300 - 600
Alto	>600

Fuente: (Carbo & Bautinza, 2008).

2.1.22. Nitrógeno Total

En el suelo se presentan tres grupos de compuestos de nitrógeno diferenciados por su disponibilidad para las plantas.

1. Compuestos minerales de nitrógeno, soluble en el agua (sales de nitrato, nitrito y amonio) son fuente de nutrición vegetal, su contenido es de algunos mg/Kg. de suelo.
2. Compuestos orgánicos nitrogenados fácilmente hidrolizables, se mineralizan en primer lugar y dan lugar al nitrógeno disponible para las plantas, su contenido corresponde a una decena de mg/Kg de suelo.
3. Compuestos orgánicos nitrogenados no hidrolizados en soluciones diluidas de ácidos minerales, difícilmente mineralizados, conforman la mayor parte del hidrogeno total.

Tabla 9.

Disponibilidad de nitrógeno en suelos

Nivel	N° (%)
Bajo	0 – 0,1
Medio	0,1- 0,2
Alto	>0,2

Fuente: (Bustinza,Carbo & Gina)

2.2. Resultados anteriores de investigación

2.2.1. Antecedentes internacionales

En el trabajo de investigación titulado “estudio de tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitoremediación” en el que evaluó la capacidad de tres especies vegetales amaranto, acelga y alfalfa para absorción de plomo. Los análisis se realizaron en suelos iniciales sin contaminación, y en después del tratamiento. Se

pudo concluir que la capacidad de hiperacumulación que presenta (*medicago sativa*) aumenta a medida que tiene mayor tamaño el tallo y la edad de la planta,(Bonilla, 2013).

Según (Falcon, 2017) menciona que las investigaciones realizadas en fitoextracción han demostrado que es una técnica prometedora por ser considerada una tecnología que se utiliza para la recuperación de metales y en suelos contaminados para extraer y traslocar metales de sus partes cosechables.

En el trabajo de investigación titulado “Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos”, el presente estudio tiene por fin la aplicación de los microorganismos en diferentes áreas. Lo cual llevo a una conclusión de que el uso de plantas y microorganismos rizosféricos representa una alternativa de bajo costo y con enormes ventajas ambientales, (Lopez, 2012).

Según (Gonzales, 2017), quien realizo el trabajo de investigación titulada “Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados”, el trabajo se realizó dentro de las instalaciones de un invernadero, se evaluaron 4 tratamientos, los cuales son testigo, alfalfa (*medicago sativa*), como resultado se pudo demostrar que la alfalfa tuvo una concentración de plomo final en la planta, de (3625ppm). Por lo tanto, se demostró con que la alfalfa (*medicago sativa*) es capaz de absorber grandes contenidos de metales pesados.

En la investigación realizada por Marchiol se aplicó la fitoextracción como una técnica in situ efectiva para eliminar metales pesados de suelos contaminados con el fin de estudiar el potencial básico de la fitoextracción de Brassica napus (canola) y Raphanus sativus (rábano) en lo que los datos indican que ambas especies son moderadamente tolerantes a metales pesados, siendo el rábano una especie más tolerante (45.8 %) que la canola (35.8%). Estas especies mostraron un potencial de fitorremediación relativamente bajo de suelos multicontaminados. Posiblemente podrían usarse con éxito en suelos marginalmente contaminados donde su crecimiento no sería deteriorado y la extracción de metales pesados podría mantenerse a niveles satisfactorios. (Marchiol & Assolari, 2004)

2.2.2. Antecedentes nacionales

“Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa “(*medicago sativa*)”, dónde se realizó la contaminación artificial un suelo, luego de 2 meses de tratamiento, los niveles de cobre disminuyeron notablemente en el suelo sembrado con alfalfa de 278 a 124 ppm y de 293 a 143 ppm respectivamente en el tratamiento

T1 y T2. Se concluyó que el tratamiento T2 acumulo 78 ppm, valor mayor. En tal sentido se considera a (*medicago sativa*) como una planta fitorremediadora indiferente de los niveles de cobre utilizados”,(Gonzales, 2017).

En el estudio de investigación denominado “Eficacia de la alfalfa asociada a enmiendas orgánicas para la reducción de diferentes concentraciones de plomo en la mina Colquisiri – Huaral”, su trabajo consistió en remediar concentraciones de plomo en función a 8 tratamientos con 5 repeticiones cada uno, durante un periodo de tiempo de 12 semanas. Finalizando las 12 semanas, se realizó el análisis final de concentraciones de plomo en el suelo. De tal manera concluyó que las plantas de alfalfa (*medicago sativa*) cultivadas con vermicompost, obtuvieron en sus tejidos 44.36 ppm de concentraciones de plomo, durante un periodo de crecimiento de 12 semanas, (M. J. Romero, 2017).

2.2.3. Antecedentes locales

El trabajo de investigación titulada “Evaluación de la capacidad fitorremediadora del garbancillo (*astragalus arequipensis*) en función de tres tipos de enmiendas orgánicas sobre la remoción de mercurio del suelo contaminado por la actividad minera del centro poblado la Rinconada - Región Puno, 2018” “se llevó a cabo con el propósito de evaluar la capacidad fitorremediadora del garbancillo en suelos contaminados por mercurio. El experimento tuvo una duración de 62 días, dónde se concluye que el tratamiento con mayor eficacia fue el tratamiento número 2”, (Vilcapaza, 2018).

2.4. Marco legal

2.4.1. Ley general del ambiente 28611

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración ya sean parámetros físicos químicos y biológicos presentes en el agua, aire o suelo.

2.4.2. Decreto supremo N° 011- 2017- MINAM (ECA) para suelo

En este decreto supremo establece los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo el cual se usó para poder determinar según el uso del suelo que cantidad de mercurio es aceptable. Además, presenta el plan de muestreo, técnicas de muestreo, manejo de las muestras, medidas de seguridad ocupacional durante el muestreo, y la determinación de los puntos de muestreo de las cuales se tomaron en cuenta.

2.4.3. Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor

La finalidad del presente Reglamento es promover y difundir el uso racional continuado de las tierras, con el fin de conseguir el óptimo beneficio social y económico dentro de la concepción y principios del desarrollo sostenible, evitando la degradación de los ecosistemas.

CAPITULO III MATERIALES Y METODOLOGIA

3.1. Descripción del lugar de ejecución

3.1.1. Descripción del lugar de muestreo

La zona de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Ollachea provincia de Carabaya departamento de Puno. Ubicada en las coordenadas UTM 13°47'40" sur 70°28'32" oeste a una altura de 2774 (msnm) con una población de 5,519 habitantes.

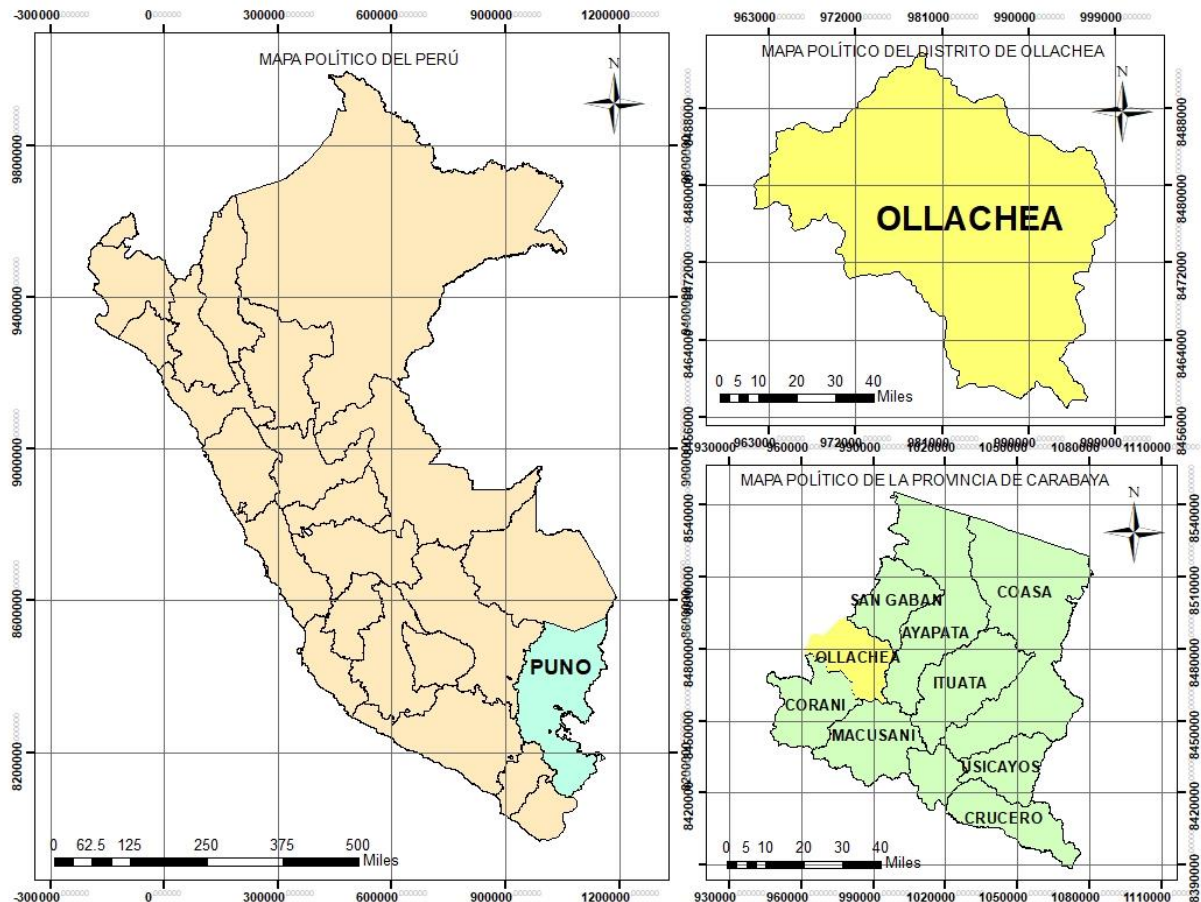


Figura 5. Mapa político de ubicación del departamento de Puno.

3.1.2. Determinación de los puntos de muestreo

Se consideró los puntos de muestreo de acuerdo al protocolo para el muestro de suelos MINAM (2014) lo cual indica que para suelos contaminados se realiza mediante el muestreo de identificaron (MI) a través de la obtención de muestras representativas de acuerdo al área de potencial interés dados en (ha),(MINAM, 2014).

Tabla 10.

Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la zona de estudio

Puntos de muestreo	Este	Norte	Altura (msnm)
1	0339204	8474023	3035
2	0339108	8474017	3039
3	0339022	8473955	3063
4	0338911	8474045	3047
5	0338840	8474000	3074
6	0338781	8474046	3090
7	0338714	8474041	3105
8	0338643	8474050	3117
9	0338815	8474119	3090
10	0338904	8474144	3093
11	0338996	8474170	3081
12	0339074	8474179	3072
13	0339141	8474198	3076
14	0339204	8474189	3066
15	0339266	8474199	3063
16	0339335	8474213	3060
17	0339400	8474205	3045
18	0339439	8474089	2986
19	0339610	8474176	2956
20	0339845	8474209	2909
21	0339775	8474229	2911
22	0339840	8474290	2899
23	0339897	8474338	2889

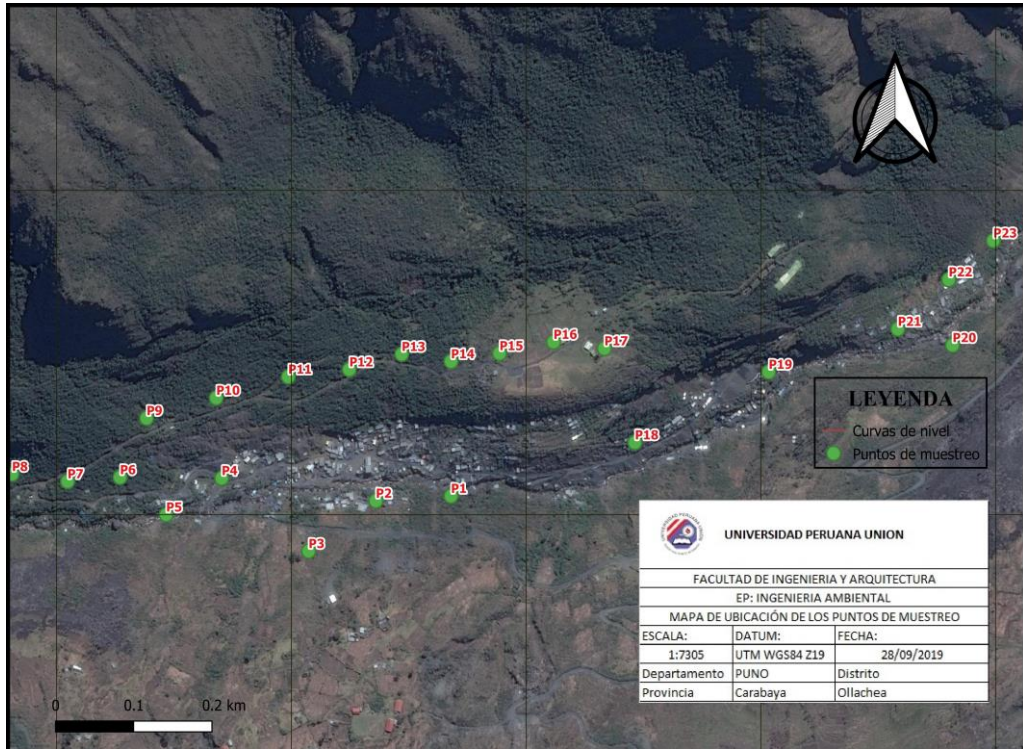


Figura 6. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de suelo.

3.1.3. Datos de ubicación del lugar experimental

La instalación de la parte experimental de los 12 maceteros se realizó en la residencia Nuevo Amanecer ubicada en la carretera Arequipa Km 6 Villa Chullunquiani, de la comunidad Central Esquem, del distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, así como indica en la figura 6. El tratamiento tuvo una duración de 2 meses bajo condiciones controladas; a continuación, en la tabla 11, se presentan las coordenadas geográficas.

Tabla 11.

Coordenadas UTM del lugar de ejecución

Lugar de ejecución	Coordenadas UTM (WGS84)		
	Este	Norte	Altura
Comunidad Central Esquem	374175	8284510	3825



Figura 7. Mapa de ubicación del lugar de ejecución

3.2. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo experimental, ya que existe una manipulación de variables en condiciones controladas, con el fin de observar el efecto que producen las variables en respuesta a los tratamientos sometidos.

3.3. Variable de estudio

Variables Independientes: Alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*)

Variables dependientes: Porcentaje de remoción del mercurio en el suelo contaminado

3.4. Materiales, insumos y equipos

3.4.1. Materiales y equipos

Tabla 12.

Materiales usados durante la parte experimental

Materiales de campo	Marca	Modelo
Wincha de 100 metros	Ingco Tools	HSMT0803
Balanza de resorte portatil	Tolsen	10KG
Bolsas herméticas	U-Thuil	SKU 919308
Pico	Eurodetection	MXN 135.00
Pala perfil cuadrado	NUSAC	1139002
Barrenos ederman	Eskimo	SH950
Espátula	Lacor	CLP-3580
Gps	Garmin	Etrex 10
Cámara fotográfica	Lumix	DMC - SZ9
Tijera	Fiscart	
Cooler	Vivanda	Yeti 9 QT
Clavos	CCP	
Cordel	El calotipo	
Balde crisol	Dicropogen	CORL981

3.4.2. Insumos

Tabla 13.

Insumos para el proceso experimental

Materias primas	Cantidad
Semilla de alfalfa	1 Kg.
Semilla de rábano	500 Gr.
Suelo contaminado	25 kg
Tierra preparada	50 kg

La tierra preparada fue utilizada con el fin de mejorar las características físicas y químicas del suelo originario de Ollachea.

3.6. Procedimiento

3.6.1. Toma de muestras de suelo

El tipo de muestreo que se llevó a cabo es el muestreo de identificación (MI), que como objetivo tiene investigar la existencia de contaminación de suelo a través de la obtención de muestras

representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los ECAS establecidos por el MINAM.

El muestreo se realizó antes de proceder con la parte experimental, a fin de obtener submuestras con la ayuda del barreno y/o pala, cada submuestra se realizó siguiendo el procedimiento que indica en el protocolo de muestreo de suelos emitida en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

Para la toma de la muestra se realizó la limpieza del área a muestrear de cualquier desecho (ramas, piedras, desechos, etc.) posterior a ello se procedió a realizar la excavación con el barreno a una profundidad de 10cm, como lo establece la guía para muestreo de suelos en la tabla N° 2 Las muestras se almacenaron en un balde donde se recolecto las 23 muestras de distintos puntos registrados por el GPS (ver tabla N° 10) se consideró el tipo de recipiente bolsa ziplox a fin de asegurar la integridad de las muestras hasta su análisis.

En cuanto al manejo de la muestra se preservó a una temperatura de 4°C, durante el traslado de las muestras a la ciudad de Juliaca de la misma forma en el traslado a los laboratorios para el análisis físico químico debidamente rotulados, etiquetado, fecha y hora, coordenadas entre otros como lo establece la guía para muestreo de suelos del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. (MINAM, 2014)

3.6.2 Análisis físicos – químicos

Los análisis físicos - químicos del suelo se realizaron en los siguientes laboratorios: Prueba de barrido en el Laboratorio Analíticos del Sur (LAS), caracterización de suelos en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM), análisis de mercurio pre y post en el Laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L (ALAB).

Tabla 14.

Análisis de metales pesados

Parámetros inorgánicos ECA	Método	Unidades
Bario	ICP - OES Digestión multi-acida	ppm
Cadmio	ICP - OES Digestión multi-acida	ppm
Cromo	ICP - OES Digestión multi-acida	ppm
Mercurio	ICP - OES	ppm
Plomo	ICP - OES Digestión multi-acida	ppm

Tabla 15.

Caracterización de suelo

Parámetro a analizar	Método
Textura del suelo	Hidrómetro bouyocuos (densímetro de suelos)
Salinidad	Medida de la conductividad eléctrica (CE)
pH	Potenciómetro
Calcareao total	Método gaso - volumétrico utilizando un calcímetro
Materia orgánica	Walkley y Black
Nitrógeno total	Micro - Kjeldahl
Fósforo	Olsen modificado
Potasio	Extracción con acetato de amonio
Capacidad de intercambio catiónico	Saturación con acetato de amonio

Fuente: Universidad Nacional Agraria la Molina – Laboratorio de agronomía

Tabla 16.

Análisis de mercurio pre y post

Parámetro a analizar	Método	Norma de referencia
Mercurio antes del tratamiento	EPA Method 7471 B Rev.2 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)
Mercurio después del tratamiento	EPA Method 7471 B Rev.2 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)

3.6.3. Preparación de la muestra

Para la preparación de la muestra se necesitó del suelo contaminado proveniente de la minera Ollachea y de tierra preparada es por ello que se determinó los porcentajes (%) que se utilizaron mediante la ecuación de aspa simple.

1. Cantidad de suelo para determinación del porcentaje de germinación de la alfalfa y rábano 50% de tratamiento

100 % ——— 4Kg

50 % ——— X

X = 2 Kg. SC * 2 alfalfa y rábano = 4 Kg. SC

100 % ——— 4Kg

50 % ——— X

X = 2 Kg. SP * 2 alfalfa y rábano = 4 Kg. SP

- Total de suelo contaminado requerido = 4 Kg.
- Total de suelo preparado requerido = 4 Kg.

2. Cantidad de suelo para determinación del porcentaje de germinación de la alfalfa y rábano 25 % de tratamiento

100 % ——— 4Kg

25 % ——— X

X = 1 Kg. SC * 2 alfalfa y rábano = 2 Kg. SC

100 % ——— 4Kg

75 % ——— X

X = 3 Kg. SP * 2 alfalfa y rábano = 6 Kg. SP

- Total de suelo contaminado requerido = 2 Kg.
- Total de suelo preparado requerido = 6 Kg.

3. Cantidad de suelo preparado y suelo contaminado para el sembrío de las dos especies vegaes al 50%

100 % ——— 2Kg

50 % ——— X

X = 1 Kg. SC *6 alfalfa y rábano = 6 Kg. SC

100 % ——— 2Kg

50 % ——— X

X = 1 Kg. SP *6 alfalfa y rábano = 6 Kg. SP

- Total de suelo contaminado requerido = 6 Kg.
- Total de suelo preparado requerido = 6 Kg.

4. Cantidad de suelo preparado y suelo contaminado para el sembrío de las dos especies veales al 25%

100 % ——— 2Kg

25% ——— X

X = 0.5 Kg. SC *6 alfalfa y rábano = 3 Kg. SC

100 % ——— 2Kg

75 % ——— X

X = 1.5 Kg. SP *6 alfalfa y rábano = 9 Kg. SP

- Total de suelo contaminado requerido = 3 Kg.
- Total de suelo preparado requerido = 9 Kg.

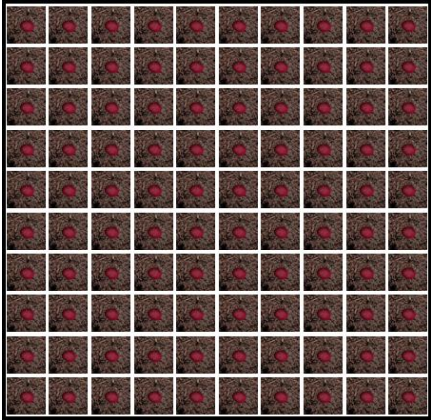
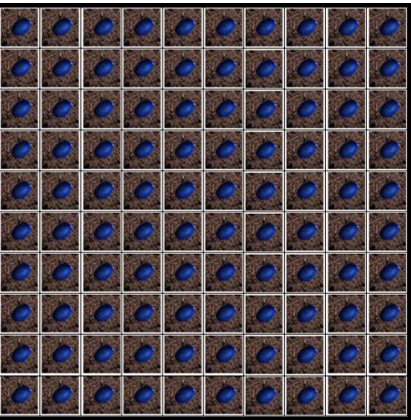
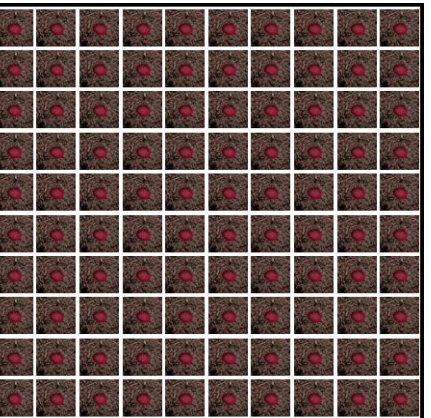
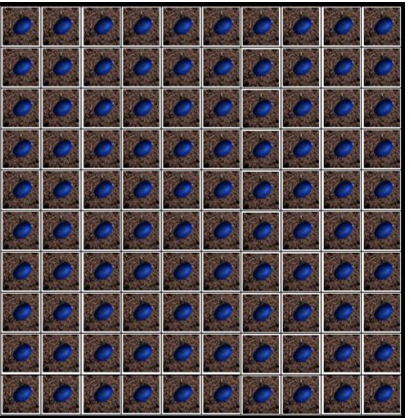
3.6.4. Determinación del porcentaje de germinación de las especies

La determinación de germinación es el procedimiento más común para evaluar la calidad orgánica de las semillas. No obstante, debido a que esta prueba se realiza bajo condiciones óptimas.

Esta prueba consiste en sembrar 100 semillas de alfalfa y rábano por tablero de 10 x 10 como se aprecia en la tabla N° 18, para el tablero N°1 se requirió muestra de 2Kg. suelo contaminado (SC) y 2 Kg. de suelo preparado (SP) para el sembrío de la alfalfa, de igual forma para el tablero N° 2 muestra de 2Kg de suelo contaminado (SC) y 2Kg. de suelo preparado (SP) para el sembrío del rábano, para el tablero N° 3 muestra de 1Kg. suelo contaminado (SC) y 3 Kg. de suelo preparado (SP) para el sembrío de la alfalfa, finalmente para el tablero N°4 muestra de 1Kg. suelo contaminado (SC) y 3Kg. de suelo preparado (SP) para el sembrío del rábano. La duración para determinar el porcentaje de germinación será de dos semanas, el riego fue interdiario durante los 14 días calendario.

Tabla 17.

Porcentaje de germinación de las plantas

<p>Alfalfa (<i>medicago Sativa</i>) 50% de SC y 50% SP</p>	<p>Rábano (<i>raphanus sativus</i>) 50% de SC y 50% SP</p>
	
<p>Tablero 1</p>	<p>Tablero 2</p>
<p>Alfalfa (<i>medicago Sativa</i>) 25% de SC y 75% SP</p>	<p>Rábano (<i>raphanus sativus</i>) 25% de SC y 75% SP</p>
	
<p>Tablero 3</p>	<p>Tablero 4</p>

3.6.5. Descripción de los tratamientos

El experimento consistió en 4 tratamientos (T1, T2, T3 y T4) 2 por cada especie fitoextractora alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*) el (T1) fue la muestra al 25% de alfalfa, el (T2) al 50% de alfalfa, el (T3) al 25% rábano y finalmente el (T4) fue al 50% de rábano, del mismo modo conto con 3 repeticiones para cada tratamiento, haciendo un total de 12 unidades experimentales (maceteros) evaluándose después de la fase experimental.

Donde:

T: Tratamiento

R: Repeticiones

SC: Suelo contaminado

SP: Suelo preparado













	ALFALFA		RÁBANO	
	T1	T2	T3	T4
R1	25% SC Y 75% SP	50% SC Y 50% SP	25% SC Y 75% SP	50% SC Y 50% SP
				
R2	25% SC Y 75% SP	50% SC Y 50% SP	25% SC Y 75% SP	50% SC Y 50% SP
				
R3	25% SC Y 75% SP	50% SC Y 50% SP	25% SC Y 75% SP	50% SC Y 50% SP
				

Figura 8. Descripción del tratamiento

3.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico que se aplicó en el proyecto de investigación fue arreglo factorial 2A, 2B, en un diseño completamente aleatorio (DCA), ya que mediante éste se podrá determinar diferencias estadísticamente significativas en la adsorción del mercurio aplicando la especie vegetal fitoextractora de la alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*). en los diferentes tipos de tratamientos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Presentación, análisis e interpretación de datos

Para el análisis de datos, fue importante saber si los datos tienen una distinción normal, por lo tanto, se basó en la prueba de Anderson-Darling para determinar si los datos cumplen el supuesto de normalidad lo cual indica que el valor de significancia debe ser mayor al 5%. De la misma forma se realizó a prueba de homogeneidad de varianza para corroborar si el análisis de varianza es igual, así mismo la comparación de medias. (ver anexo D)

4.1.1. Análisis de metales pesados

Tabla 18.

Resultados de los análisis de metales pesados en el suelo

Parámetros inorgánicos ECA	ECA *	Resultados (mg/kg)
Bario	2000	116.4
Cadmio	22	1.95
Cromo	1000	161.3
Mercurio	24	176.84
Plomo	800	198.07

* suelo comercial /industrial/extractivo

Se analizó los parámetros orgánicos establecidos en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, en la Tabla N° 19 se aprecia que el mercurio sobrepasa lo establecido ya que según los estándares de calidad ambiental para suelo de uso comercial /industrial/extractivo lo permitido es de 24 mg/kg y el resultado obtenido es 176.84 mg/Kg.

Por su parte, (Lominchar & Sierra, 2010). En su trabajo de investigación “Estudio del comportamiento y distribución del mercurio presente en muestras de suelo recogidas en la ribera del río valdeazogues, España” sus resultados muestran que las concentraciones de mercurio total en el suelo están comprendidas entre 116,7 y 24,3 mg kg de Hg llegando a superar los límites permitidos esto debido que el lugar de muestreo se realizó cerca al perímetro donde se encuentra los relaves mineros.

Del mismo modo, (Carrasquero & Melitón, 2002) En su estudio sobre el análisis de mercurio en dos tipos de procedimientos de profundidad indica una alta contaminación en aquellos puntos de muestreo cercanos a los molinos de la actividad minera.

Simultáneamente (García & Paredes, 2014) evaluaron el contenido de mercurio (Hg) en suelos y lechos de quebradas donde los promedios de los valores de Hg (7.1 mg/kg) fueron más altos en aquellos lugares aledaños a los montajes. Aunque en Colombia existe poca información y normatividad relacionada con la contaminación de suelos en la que los valores de Hg encontrados superan los niveles permisibles establecidos por países europeos.

Además, (Karla, 2010) Indica que las concentraciones obtenidas estuvieron en un rango de (77 – 740) Hg / Kg, las cuales superan los valores máximos permitidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), (70 – 300) Hg / Kg suelo llegando a una conclusión que las altas concentraciones de mercurio en los suelos de las escuelas fueron debido a la presencia de molinos y minas en sus alrededores y a la existencia de mayores especies de azufre, materia orgánica y arcillas, que conforman la capa superficial de los suelos.

4.1.2. Porcentaje de germinación

Tabla 19.

Análisis de varianza (ANOVA) paramétrica del porcentaje de germinación de las especies

Fuente de variación	SC	GL	MC	F Valor	P
Tratamientos	18.75	3	18.750	5.77	0.043
Error, E	26.00	8	3.250		
Total, T	532.25	11			

De acuerdo al análisis de varianza donde se muestra que p tiene valor significativo lo cual indica que si hay diferencia de germinación de las plantas de alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*) en los tratamientos. Por lo tanto, se optó por la prueba de tukey. ($p \leq 0.05$) lo cual permitió poder realizar las comparaciones múltiples entre tratamientos.

Tabla 20.

Prueba de homogeneidad de varianza

Pruebas	Estadística	Valor p
Método de prueba		
Comparaciones múltiples	-	0.538
Levene	0.47	0.709

Se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, a un nivel de significación de 0.05, entonces aceptamos la H0. (Valor p = 0.538)

Tabla 21.

Método de Tukey a una confianza de 95% de germinación de las plantas

Planta*Dosis	N	Media	Agrupación
Tratamiento 2	3	91	A
Tratamiento 4	3	83	B
Tratamiento 1	3	77	C
Tratamiento 3	3	74	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

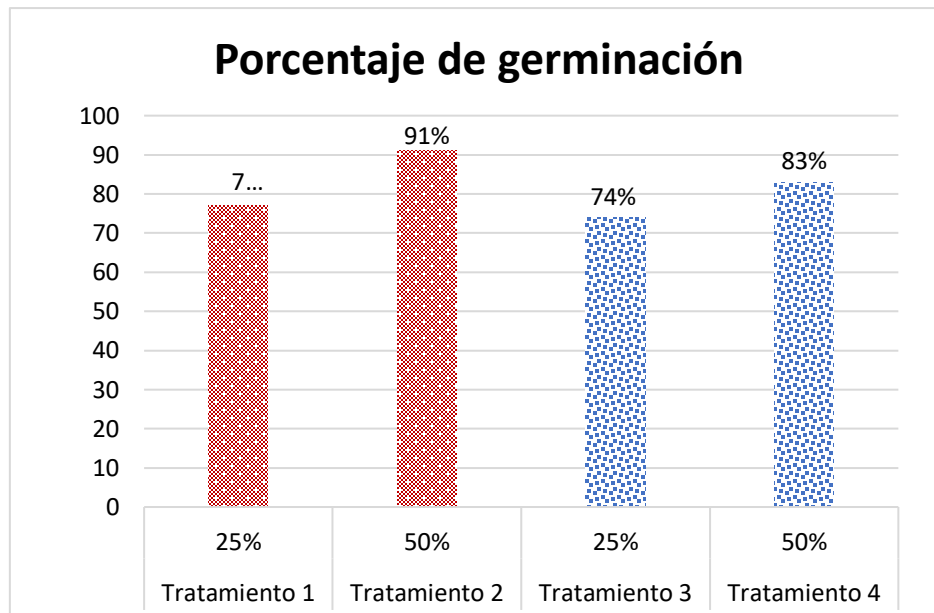


Figura 9. Porcentaje de germinación

En la figura 9 se muestra el porcentaje de germinación de las plantas alfalfa y rábano a diferentes concentraciones de suelo contaminado, con lecturas que varían de 74 a 91 %. La especie de alfalfa al 50 % tuvo un mayor porcentaje de germinación con 91% respecto a las otras muestras encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$). Esto es debido a su calidad fisiológica.

Según los resultados del experimento realizado por (Figuroa & Guerrero, 2018) , nos encontramos que a una temperatura oscilante entre 15 a 35 °C, el porcentaje de germinación de medicago sativa fue del 74%, constante a partir del cuarto día, estos datos son coherentes a los resultados encontrados en el estudio.

Sin embargo, otra investigación evaluó la variabilidad en la germinación en condiciones controladas, en la que obtuvo valores finales de germinación que oscilaron entre 26.5 y 75.75% referentes a los porcentajes reportados en nuestro estudio.,(Benabderrahim, 2011).

Con relación a los niveles de temperatura ambiental (Mart & Por, 2012) afirma que la temperatura es un factor de suma importancia para su adecuado desarrollo. La semilla puede germinar desde una temperatura de 2 o 3°C, pero cuando es mayor, la germinación es más rápida. La óptima va de 28 a 30°C. Por otro lado, si la temperatura es excesivamente cálida, superior a los 38°C, las plantas tienden a un crecimiento lento.

Así mismo (Alfonso, Padrón, & Peraza, 2014) en su trabajo de investigación “Efectividad agrobiológica del producto bioactivo pectimorf en el cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L.)” logro un porcentaje de germinación por encima del 80 %, de la misma forma en el tratamiento aplicado para el T4 tuvo un porcentaje de germinación del 83 % superando a los restantes al tratamiento 3. Estos resultados son coincidentes con estudios realizados,

Por otra parte (Chang, 2013) realizo los ensayos para la evaluación de productos y muestras ambientales de diferentes orígenes utilizando rábano, tomate y lechuga, lo cual confirma que las especies por lo general tienen sensibilidad ante la exposición a tóxicos por lo que no llegan a germinar en su totalidad teniendo a rábano con un mayor porcentaje de germinación del 64% a diferencia de las otras especies.

4.2.3. Análisis físico químicos de los suelos

Las muestras del suelo del tratamiento T1, T2 T3 Y T4 fueron caracterizadas en el laboratorio de Análisis de Suelos, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)

4.1.3. Potencial de hidrógeno

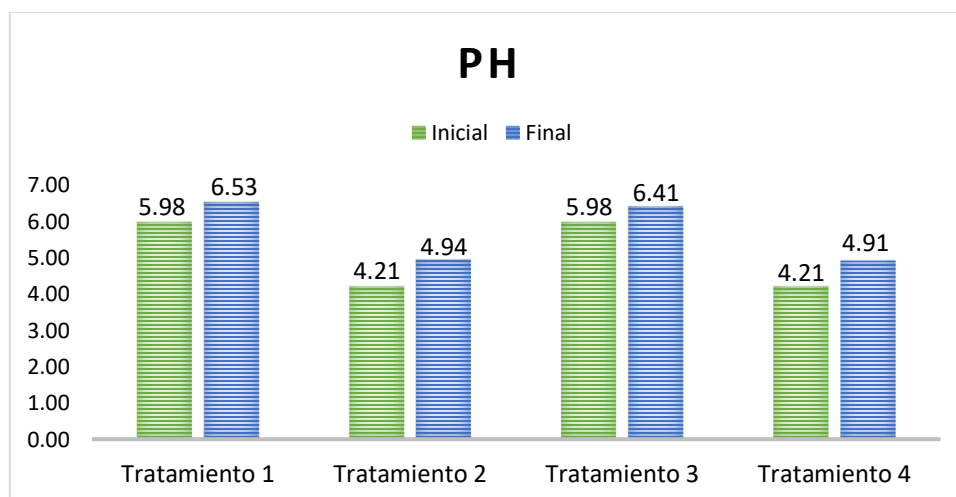


Figura 10. Resultados de potencial de hidrógeno

En la figura 10 se ilustran los resultados del análisis del pH antes y después del sembrío de las plantas (alfalfa y rábano) en los diferentes tratamientos. En el tratamiento 2 que consta de la alfalfa con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio se observa que tras la culminación del proceso experimental hubo un mayor incremento del pH (0,77), en comparación de los tratamientos restantes, por otro lado, el tratamiento que obtuvo un menor

incremento de pH fue el tratamiento 3 que consta del rábano con una concentración de 25% de suelo contaminado con mercurio obtuvo el valor de (0,43).

De acuerdo con (Millán, 2007), el pH es un factor fundamental para la solubilidad de los metales pesados, también para la movilidad y disponibilidad en las plantas; propiamente dicho, a medida que va disminuyendo el pH, incrementa la solubilidad de los metales pesados.

Sin embargo (Alonzo; & Paniagua, 2010), señalan que las deficiencias nutricionales en las plantas son provocadas por la acidez del suelo, ya que afecta negativamente a la fijación del nitrógeno y reduce la disponibilidad de fósforo.

Los tratamientos 1 y 3 que componen de la alfalfa y rábano en la concentración de 25% de suelo contaminado poseen valores mínimos de 5,98 llegando hasta 6,53, dichos datos están considerados como pH ligeramente ácidos.

Los tratamientos 2 y 4 que componen de la alfalfa y rábano en la concentración de 50% de suelo contaminado poseen valores mínimos de 4,21 llegando como máximo hasta 4,94 dichos datos están considerados como pH moderadamente ácidos.

Entonces conociendo los valores de pH, se determina que la movilidad de Hg aumentó en los tratamientos 2 y 4 (alfalfa y rábano al 50%) ya que éstos cuentan con un pH moderadamente ácido, facilitando la solubilidad del mercurio y del mismo modo la absorción en mayor fracción de Hg por la planta, (Falcon, 2017).

4.1.4. Conductividad eléctrica

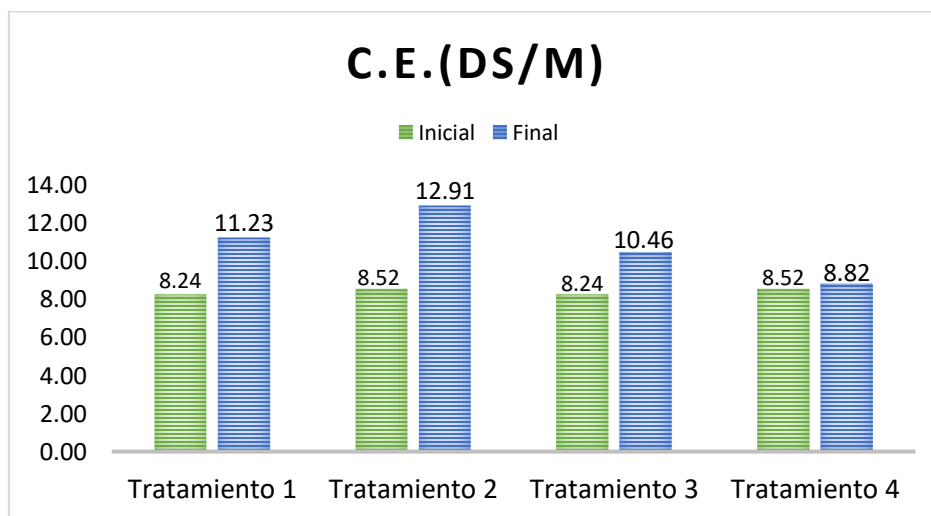


Figura 11. Conductividad eléctrica

En la figura 11 muestra los resultados del análisis de la conductividad eléctrica antes y después del sembrío de las plantas (alfalfa y rábano) en los diferentes tratamientos. En el tratamiento 2 que consta de la alfalfa con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio se observa que tras la culminación del proceso experimental hubo un mayor incremento de la conductividad eléctrica (4,39 dS/m), en comparación de los tratamientos restantes, por otro lado, el tratamiento que obtuvo un menor incremento de conductividad eléctrica fue el tratamiento 4 que consta del rábano con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio obtuvo el valor de (0,30 dS/m).

Por su parte (M. P. Romero, Santamaría, & Zafra, 2009) mencionan que la conductividad eléctrica es un indicador químico de la calidad del suelo que permite analizar la situación del suelo, e identificar las condiciones que afectan la relación suelo-planta, y la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y los microorganismos.

Los datos resultantes de conductividad eléctrica antes y después del sembrío de las plantas remediadoras (alfalfa y rábano) para los 4 tratamientos afirman que el suelo es moderadamente salino según la clasificación de suelos por su conductividad eléctrica (tabla 5), lo que indica ser un factor limitante para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales. (Bernal, et al, 2014).

Así mismo la salinización que refleja el incremento en la conductividad eléctrica de la solución del suelo representa efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y dificulta el crecimiento y la productividad vegetal. (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007)

4.1.5. Materia orgánica

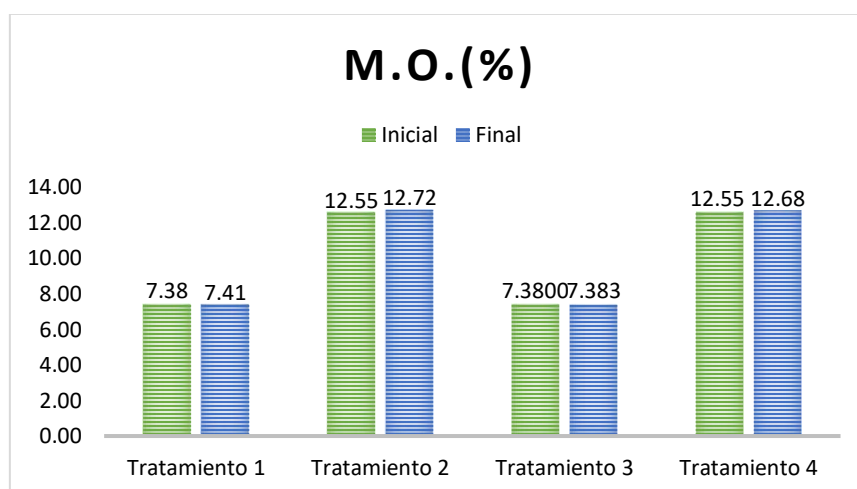


Figura 12. Materia orgánica

La figura 12 representa los resultados del análisis de la materia orgánica antes y después del sembrío de las plantas (alfalfa y rábano) en los diferentes tratamientos. Los 4 tratamientos presentan un ligero aumento del porcentaje de materia orgánica en la diferencia de (M.O.inicial) y (M.O. final). Por otro lado se observa que en el tratamiento 2 que consta de la alfalfa con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio se observa que tras la culminación del proceso experimental hubo una mayor adición del porcentaje de materia orgánica (0,17 %), en comparación de los tratamientos restantes, por otro lado, el tratamiento 3 que consta del rábano con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio, no tuvo variaciones en el resultado de materia orgánica inicial y final teniendo su valor constante de 7,38%.

Una vez depositado el mercurio en el suelo es retenido por la materia orgánica y por los óxidos de hierro y manganeso. El mercurio se encuentra fuertemente unido a los constituyentes del suelo como consecuencia de su afinidad por los grupos funcionales que contienen azufre y que se encuentran en las moléculas orgánicas de los horizontes superiores del suelo, ricos en materia orgánica. En suelos ácidos (pH 3 a 5), los complejos con materia orgánica soluble tienen también una contribución elevada a la solubilidad del Hg, aunque en suelos neutros o con poca materia orgánica, la solubilidad estaría dominada por los óxidos de Fe y los minerales de la arcilla, y la movilidad de Hg aumentará al disminuir el pH,(Millán, 2007).

Los datos resultantes de la materia orgánica antes y después del sembrío de las plantas remediadoras (alfalfa y rábano) para los 4 tratamientos afirman que el suelo posee un alto porcentaje (%) de materia orgánica según la clasificación de contenido de materia orgánica en suelos (tabla 4). El alto porcentaje de materia orgánica indica que existió una mayor facilidad para la movilidad de mercurio (Hg) hacia las plantas.

4.1.6. Fósforo (P)

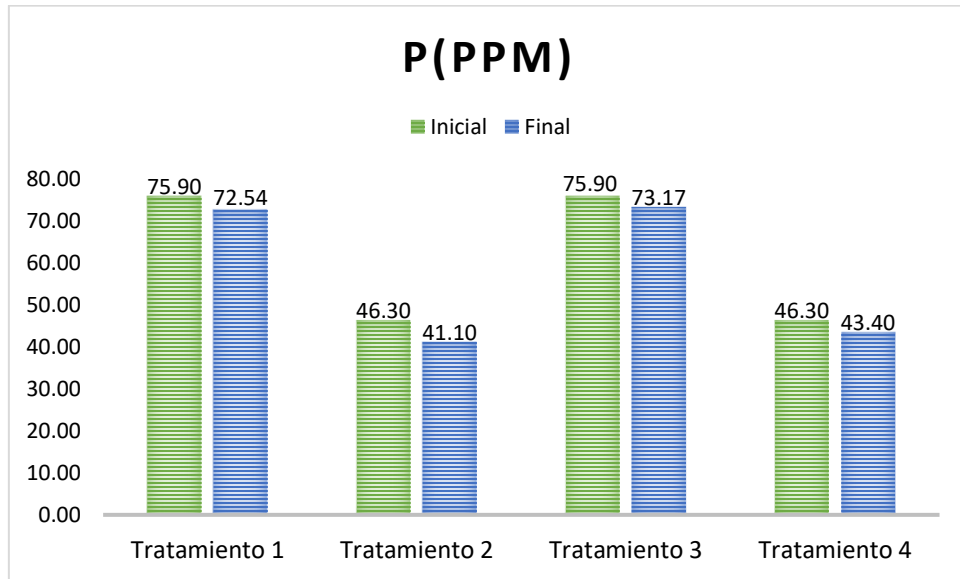


Figura 13. Fósforo

La figura 13 muestra los resultados del análisis de fósforo antes y después del sembrío de las plantas (alfalfa y rábano) en los diferentes tratamientos. Los 4 tratamientos presentan una ligera disminución de fósforo en la diferencia del fósforo inicial (P inicial) y fósforo final (P final). En el tratamiento 2 que consta de la alfalfa con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio se observa que tras la culminación del proceso experimental hubo un mayor descenso de fósforo (5.20 ppm), en comparación de los tratamientos restantes, por otro lado, el tratamiento que obtuvo un menor descenso de fósforo fue el tratamiento 3 que consta del rábano con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio obtuvo el valor de (2,73 ppm).

El fósforo es un indicador del estado nutricional del suelo, se encuentra en toda la célula viva, cuenta con funciones primordiales en la transformación energética de la planta, como en la síntesis de proteínas, nucleótidos y en el proceso de la reproducción celular. El máximo aprovechamiento de fósforo por parte de las plantas se obtiene cuando el pH del suelo se mantiene entre 6 y 7, (Vaca, 2001).

Según lo reportado por,(Vaca, 2001) en su proyecto de investigación usando especies vegetales comestibles, obtuvieron resultados similares a nuestro proyecto, con respecto a la disminución de fósforo, debido al crecimiento vegetal de la planta.

Los datos resultantes del fósforo antes y después del sembrío de las plantas remediadoras (alfalfa y rábano) para los 4 tratamientos afirman que el suelo posee un alto nivel de fósforo según la clasificación de disponibilidad de fósforo en el suelo (tabla 7). El alto nivel de fósforo en el suelo indica mayor presencia de macronutrientes lo cual provee un mejor crecimiento para las plantas.

4.1.7. Potasio (K)

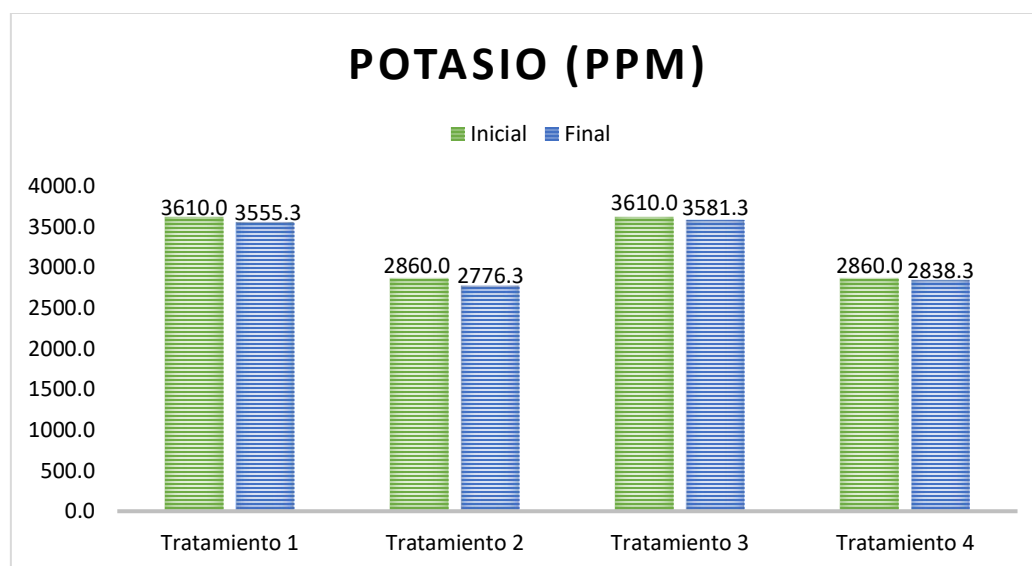


Figura 14. Potasio

En la figura 14 representa los resultados del análisis de potasio antes y después del sembrío de las plantas (alfalfa y rábano) en los diferentes tratamientos. Los 4 tratamientos presentan una ligera reducción de potasio en la diferencia del potasio inicial (K inicial) y potasio final (K final). En el tratamiento 2 que consta de la alfalfa con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio se observa que tras la culminación del proceso experimental hubo un mayor descenso de potasio (83,7 ppm), en comparación de los tratamientos restantes, por otro lado, el tratamiento que obtuvo un menor descenso de potasio fue el tratamiento 4 que consta del rábano con una concentración de 50% de suelo contaminado con mercurio obteniendo el valor de (21,7 ppm).

El potasio es uno de los macro elementos esenciales, ya que, disminuye la transpiración de las plantas.

Los resultados después de la cosecha nos reportan que los datos del potasio han disminuido, lo que significa que la plantas absorbieron los nutrientes de forma favorable, ya que, por el

aspecto cualitativo de la especie vegetal, esta presenta buena cantidad de follaje y coloración verdosa intensa.

Los datos resultantes del potasio antes y después del sembrío de las plantas remediadoras (alfalfa y rábano) para los 4 tratamientos afirman que el suelo posee un alto nivel de potasio según la clasificación de disponibilidad de potasio en el suelo, ya que sobrepasa (tabla 8). El alto nivel de fósforo en el suelo indica mayor presencia de macronutrientes lo cual provee un mejor crecimiento para las plantas.

4.1.8. Textura del suelo

Tabla 22.

Resultados de la textura del suelo.

Muestra	Clase textural			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
	%	%	%	
Tratamientos 2 y 4	63	26	11	Fr. A.
Tratamientos 1 y 3	71	20	9	Fr. A.

La tabla 22 representa el resultado de la clase textural que expresa la proporción de arena, limo y arcilla. Los resultados de la textura del suelo fueron: en los tratamientos 2 y 3 que constan de alfalfa y rábano en la concentración de 50% de suelo contaminado se obtuvo 63% de arena, 26% limo y 11 % arcilla, y para los tratamientos 1 y 3 que constan de alfalfa y rábano al 25% de suelo contaminado con mercurio, se obtuvo 71% de arena, 20% limo y 9 % arcilla. Ambos resultados tienen una mínima diferencia es por ello que comparado con el triángulo de textura de suelos (figura 4); se concluye que los 4 tratamientos poseen el tipo de suelo franco arenoso.

De acuerdo con (Falcon, 2017), la entrada y la infiltración de los metales pesados en el suelo están reguladas por la textura.

En los resultados se observa que los tratamientos 2 y 4 presentan menor cantidad de arena (63%), lo que indica que los metales pesados pueden pasar más fácilmente al subsuelo y contaminarlo, mientras que en los tratamientos 1 y 3 la cantidad de arena es mayor (71%) y presenta menor cantidad de limo y arcilla lo cual ayuda a fijar a los metales pesados

4.1.9. Capacidad de intercambio catiónico

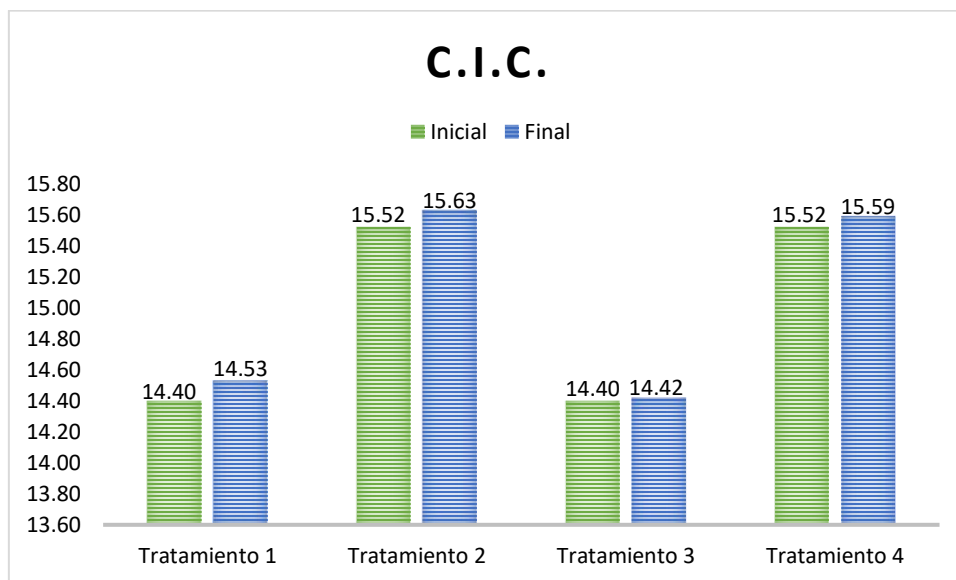


Figura 15. Capacidad de intercambio catiónico

En la figura 15 representa los resultados del análisis de la capacidad de intercambio catiónico antes y después del sembrío de las plantas (alfalfa y rábano) en los diferentes tratamientos. Los 4 tratamientos presentan una ligera adición de la capacidad de intercambio catiónico. En el tratamiento 1 que consta de la alfalfa con una concentración de 25% de suelo contaminado con mercurio se observa que tras la culminación del proceso experimental tuvo un mayor incremento de la capacidad de intercambio catiónico (0,13), en comparación de los tratamientos restantes, por otro lado, el tratamiento que obtuvo un menor incremento de la capacidad de intercambio catiónico fue el tratamiento 3 que consta del rábano con una concentración de 25% de suelo contaminado con mercurio obteniendo el valor de (0,02).

Por su parte (M. J. Romero, 2017) indica que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de una muestra de suelo o de alguno de sus componentes, expresa: el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada.

De acuerdo con (Vaca, 2001) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es una propiedad físico – química importante porque es un índice de su fertilidad, ya que los suelos con alta CIC representan un depósito de nutrientes que pueden cederse a la solución del suelo a medida que son consumidos por las plantas.

Los resultados de la capacidad de intercambio catiónico tanto antes de la aplicación de los tratamientos y después, fueron muy altos, dado que esta característica del suelo es propiciada principalmente por sus coloides orgánicos (humus) e inorgánicos (arcillas), se puede relacionar con el alto contenido de materia orgánica.

4.2. Porcentaje de remoción mercurio en el suelo

Tabla 23.

Resultados del análisis de mercurio después del tratamiento

Repeticiones	Alfalfa		Rábano	
	Tratamiento 1	Tratamiento2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
1	41.91	58.62	38.44	42.21
2	43.03	56.74	38.64	44.27
3	41.38	60.91	33.63	40.16
Promedio	42.11	58.76	36.90	42.21
Desviación estándar	0.84	2.09	2.84	2.06

4.2.1. ANOVA

Tabla 24.

Análisis de varianza para porcentaje de remoción

Fuente de variación	SC	GL	MC	F Valor	P
Tratamientos	96.35	3	96.352	22.19	0.002
Error, E	34.74	8	4.342		
Total, T	847.55	11			

De acuerdo al análisis de varianza donde se muestra un p valor significativo donde indica que si hay diferencia de remoción de Hg en los tratamientos. Por lo tanto, se optó por la prueba de tukey ($p \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción de mercurio donde me permite hacer comparaciones múltiples.

4.2.3. Homogeneidad de varianza de Levene

Tabla 25.

Prueba de homogeneidad de varianza

Pruebas	Estadística	Valor
Método	de prueba	p
Comparaciones múltiples	-	0.418
Levene	0.26	0.850

Como se muestra en la tabla 25 la prueba de homogeneidad de varianza para el mercurio, muestra un P-valor superior al nivel de significancia de 0.05, entonces aceptamos la hipótesis nula y decimos que la varianza es igual entre los demás grupos.

4.2.4. Comparación de medias

Tabla 26.

Comparaciones por parejas de Tukey del porcentaje de remoción

Planta*Dosis	N	Media	Agrupación
Tratamiento 2	3	58.7559	A
Tratamiento 3	3	42.2127	B
Tratamiento 1	3	42.1099	B
Tratamiento 3	3	36.9011	B

Nivel de confianza de 95%

De acuerdo al análisis de varianza donde se muestra un p valor significativo donde indica que si hay diferencia de remoción de Hg en los tratamientos. Por lo tanto, se optó por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción donde permite hacer comparaciones múltiples de acuerdo a las medias de cada tratamiento, donde el porcentaje de mercurio removida de en el T1 con un 58.76% con una agrupación A es diferente de los tratamientos T2, T3, T4.

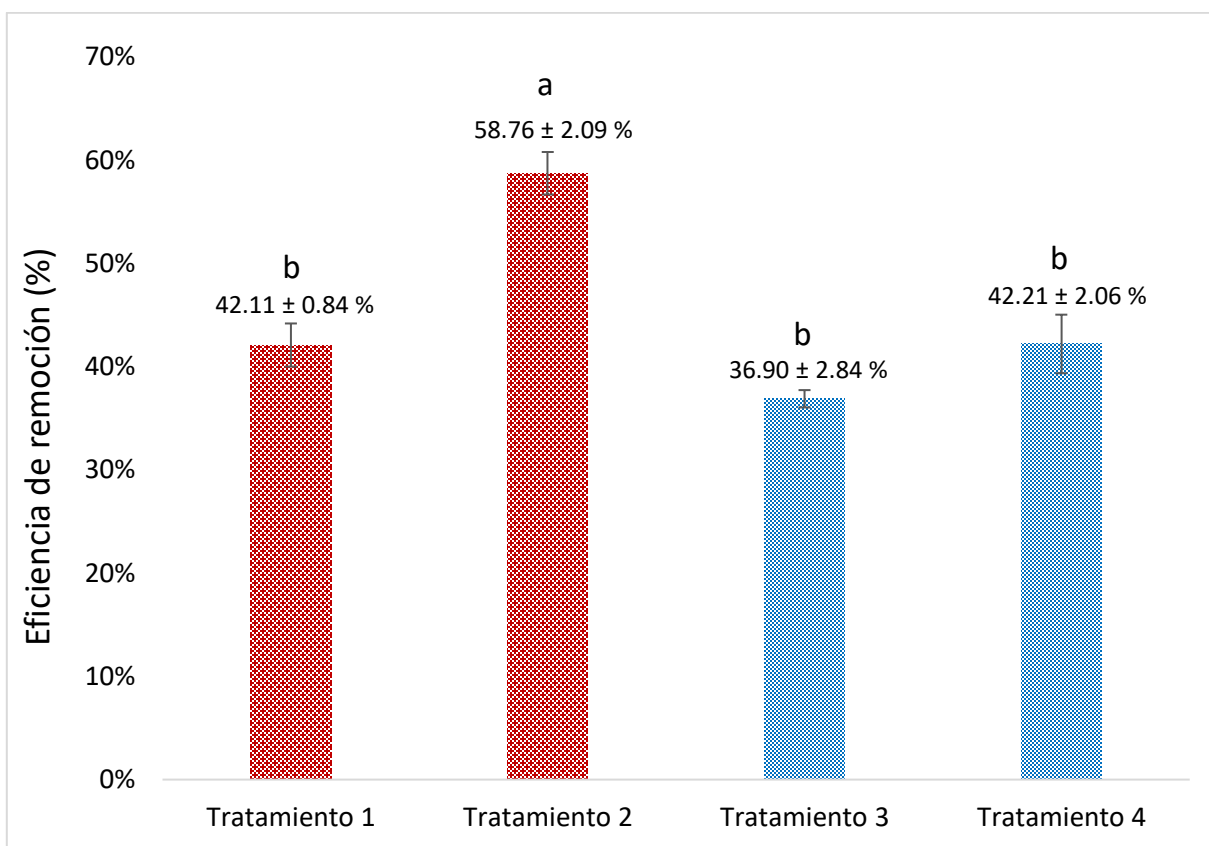


Figura 16. Eficiencia de remoción de mercurio

En la Figura 16 muestra el porcentaje de eficiencia de remoción de Hg a diferentes concentraciones de suelo contaminado mediante el uso de las especies de alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*), con lecturas que varían de 36.90 a 58.76 %. la especie de alfalfa al 50 % tuvo un mayor efecto de remoción de Hg respecto a las otras muestras encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$). Esto es debido a que la alfalfa tiene una mayor capacidad fitoextractora puesto que sus raíces tienen una capacidad de absorción del 56%, en cambio el rábano según su fisiología se aprecia que en los conductos pueden llegar a saturar el ingreso de metales y existir una competencia entre ellos según, (Sucari,201). Así mismo Se evidenció que para los tratamientos 1, 3 y 4 el porcentaje de remoción de mercurio no fueron muy significativas en comparación con el tratamiento 2 que efectivamente tuvo un mayor porcentaje de remoción.

Po su parte, (Gonzales, 2017) indica que en lo que respecta al desarrollo de *medicago sativa* en cuanto a la remoción de cobre puesto que los niveles de cobre disminuyeron notablemente en el suelo en el tratamiento 1 de 278 a 124ppm lo que representa (55%), y el tratamiento 2

de 293 a 143ppm que representa (51%) con estos resultados Gonzales afirma que hubo un efecto remediador en el suelo con alfalfa.

(Lopez, 2012), demostró en su trabajo de experimentación que la alfalfa (*medicago sativa*) es capaz de absorber grandes contenidos de metales pesados (3625mg Kg) los cuales representan en mayor concentración dentro de los tallos, también manifestó que las plantas necesitan muy poco tiempo para extraer la mayor concentración de metales pesados, confirmando así que para la alfalfa se necesitan tan solo 30 días para absorber altos contenidos de metales pesados del suelo contaminado.

Por lo tanto, la fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, destruir cualquier tipo de contaminante orgánicos e inorgánicos y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Gonzales, Aponte, Bustamante, & Chomba (n.d.) en su investigación evaluó el potencial fitorremediadora en un suelo contaminado con dos niveles de cobre, después de 2 meses de tratamiento, obtuvo resultados de 143 ppm y 124 ppm de remoción respectivamente.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos expuestos inicialmente, se han obtenido las siguientes conclusiones:

En comparación de los 4 tratamientos, se determinó al tratamiento 2 como agente de mayor germinación con un valor de (91%), seguido por el tratamiento 4 (83%), seguido por el tratamiento 1 (77%) y finalizando con el tratamiento 3 quien obtuvo el menor porcentaje de germinación con un (74%)

El tratamiento 2 demostró una eficiencia alta para el porcentaje de remoción de mercurio de suelos contaminados por actividad minera con un (58.76%), seguido por el tratamiento 4 con un valor de (42.21%), posterior con el tratamiento 1 (42.11%), por último, el tratamiento 3 presento una mínima eficiencia de remoción con un valor de (36.90%). De acuerdo a lo resultados obtenidos se concluye que el tratamiento 2 presenta una diferencia significativa en comparación con los 3 tratamientos restantes.

Según a los 4 tratamientos aplicados el más eficiente para el proceso de fitoextracción es el tratamiento 4 que es equivalente a la combinación de 50% de suelo contaminado con la especie de la alfalfa ya que fue la que más concentración de mercurio absorbió con un 58.72% de remoción, es importante destacar que las los especies alfalfa y rábano toleraron las condiciones de contaminación a las que fueron expuestas.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar otras investigaciones en relación a otros cultivos que permitan la absorción de mercurio en la minería.

Realizar una prueba de barrido para así determinar el metal orgánico que sobrepasa los estándares de calidad ambiental y así poder plantear la remediación usando distintos tipos de especie.

MINAM debe realizar una fiscalización a la minería de la misma aplicar las sanciones correspondientes debido a las elevadas concentraciones de mercurio en el suelo.

REFERENCIAS

- Alcantara, H. J. P., & Doronila, A. I. (2017). Phytoextraction potential of *Manihot esculenta* Crantz. (cassava) grown in mercury- and gold-containing biosolids and mine tailings. *Minerals Engineering*, 114(May), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.09.010>
- Alfonso, E. T., Padrón, J. R., & Peraza, T. T. (2014). EFECTIVIDAD AGROBIOLÓGICA DEL PRODUCTO BIOACTIVO PECTIMORF® EN EL CULTIVO DEL RÁBANO (*Raphanus sativus* L.) on radish (*Raphanus sativus* L.) crop e Inés Reynaldo Escobar. 35(2), 105–111.
- Alonzo, & Paniagua. (2010). Efectos de dosis de calcáreo sobre el comportamiento productivo y calidad de la alfalfa. *Investigación Agraria*, 12(1), 35–39.
- Ambos, I. (1991). FOSFORO : DISPONIBILIDAD Y DINÁMICA EN EL SUELO.
- Bacilio, J. P. B. (2015). Universidad Nacional Agraria La Molina “ Fuentes Y Niveles De Materia Orgánica En Condiciones De Invernadero”.
- Barbaro, L. (2018). Importancia del pH y la conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. 1–21.
- Bayón, S. S. (2015). Aplicación de la Fitorremediación a Suelos Contaminados por Metales Pesados. *Universidad Complutence*, 23. Retrieved from <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/BAYÓN SANZ, SARA.pdf>
- Becerra, J. (2004). *Para la asistencia técnica en la producción de forrajes de riego* (Vol. 01).
- Benabderrahim, M. A. (2011). Germination and emergence variability of alfalfa (*Medicago sativa* L.) landraces collected in Southern Tunisia oases. 9(1), 135–143.
- Bernal, et al. (2014). Remediación de suelos contaminados con plomo (II) por fitotecnologías correctivas - *Medicago sativa* L. (Alfalfa). *Revista de Investigación*, 7(2), 27–37. <https://doi.org/10.29097/2011-639x.169>
- Bonilla, V. S. M. (2013). ESTUDIO PARA TRATAMIENTOS DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, UTILIZANDO EL MÉTODO DE FITORREMEDIACIÓN.
- Carrasquero, & Melitón, D. (2002). DE MERCURIO EN SUELOS PROCEDENTES DE EL CALLAO , Armando Carrasquero Durán y Melitón Adams. *Interciencia*, 27(April 2002),

191–194.

- Chang, O. M. (2013). *Evaluación ecotoxicológica de extractos acuosos de plantas en semillas de rábano , lechuga y tomate*. 40(1), 83–87.
- Conti, M. E. (1992). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Revista Proceder*, 2(3), 1–14. Retrieved from [http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\\$FILE/AA 4.pdf](http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/$FILE/AA 4.pdf)
- Díaz, F. A. (2014). Mercury in ASGM and its impact on water resources used for domestic water supply | Mercurio en la minería del oro: Impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 16(6), 947–957.
- Ecured, A. (n.d.). Alfalfa - EcuRed. Retrieved December 17, 2019, from E website: <https://www.ecured.cu/Alfalfa>
- Espinoza, D. P. (2018). *Escalas de contaminación por mercurio y su impacto ambiental por la minería, Provincias de Maynas - 2014*.
- Falcon, E. J. V. (2017). Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con Zea mays L. en la estación experimental el Mantaro - Junin” en el año 2016. *Universidad Nacional Del Centro Del Peru*, 135.
- Figueroa, Y., & Guerrero, J. Q. (2018). *Evaluación de la germinación de un cultivar serrano de Medicago sativa L. en la granja Santa Inés*. (October).
- Frossard, A., Donhauser, J., Mestrot, A., Gygax, S., Bååth, E., & Frey, B. (2018). Long- and short-term effects of mercury pollution on the soil microbiome. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(August 2017), 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.028>
- García, J. P., & Paredes, M. (2014). Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. *Acta Agronomica*, 64(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.40639>
- Gonzales, J. (2017). Fitorremediación usando. *Fitorremediación de Un Suelo Contaminado Con Dos Niveles de Cobre, Mediante El Uso Del Cultivo de La Alfalfa “Medicago Sativa,”* 43.
- Hydro environment. (2018). Guía para el Cultivo de Rábano : Hydro Environment. Hidroponia en Mexico. Retrieved November 21, 2019, from

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=406

Jimenez, G., & Párraga, C. (2011). *Capítulo VIII Estudio de la movilización de metales pesados*. 1–51. Retrieved from

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11036/Tasm11de16.pdf?sequence=11>

Karla, L. (2010). “ *Evaluación de los niveles de mercurio total y mercurio orgánico en muestras de suelos procedentes de Instituciones Educativas del pueblo ‘ El Callao ’, Estado Bolívar , Venezuela .”*

Kingscott, M. E. (1997). Recent Developments for In Situ Treatment of Metal Contaminated Soils. *U.S. Environmental Protection Agency*, (703), 64.

Lominchar, M. A., & Sierra, M. J. (2010). Estudio del Comportamiento y Distribución del Mercurio Presente en Muestras de Suelo Recogidas en la Ribera del Río Valdeazogues. *Informes Técnico Ciemat*, (1215), 51. Retrieved from

<https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21379861>

Lopez, G. Y. (2012). *Fitorremediación de Suelo Contaminado por Metales Pesados*. 92.

Retrieved from

[http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2651/YOVANI LOPEZ GONZALEZ.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2651/YOVANI%20LOPEZ%20GONZALEZ.pdf?sequence=1)

Manuel, J., & Flores, C. (2018). *PROPUESTA DE SIMULACIÓN DE REMOCIÓN PARCIAL DE CROMO EN SUELOS CONTAMINADOS UTILIZANDO COMO FITORREMEDIAADOR EL Tagete sp MARIGOLD TESIS*.

Mart, J. C., & Por, C. (2012). *Propagación y técnicas de cultivo de la Alfalfa (Medicago sativa) Forraje verde*. 1–2.

Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2008). Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 19–44.


Millán, et al. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en la zona minera de Almadén (Vol. 16, pp. 56–66). [https://doi.org/10.1016/S0924-6460\(07\)00016-8](https://doi.org/10.1016/S0924-6460(07)00016-8)

MINAM. (2014). *Guía para el muestreo de suelos En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. 38.

<https://doi.org/624.1517>

- Ortiz, B., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. ... *Universidad de Alcalá. Dirección General de ...*, 109. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?cnicas+de+reucperaci?n+de+suelos+contaminados#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?cnicas+de+recuperaci?n+de+suelos+contaminados%230>
- Paredes, J. L. (2015). "Optimización de la Fitorremediación de Mercurio en Humedales Flujo Continuo Empleando Eichhornia crassipes (Jacinto de Agua)". *Tesis Para Optar El Grado de: MAGISTER EN CIENCIAS DE AGROECOLOGIA MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL JOSÉ*, 109. Retrieved from <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/927/T.EPG-54.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pueyo, E. L., Calvín, P., Casas, A. M., Oliva-Urcía, B., Klimowitz, J., García-Lobón, J. L., ... Calvín, P. (2012). A research plan for a large potential CO₂ reservoir in the Southern Pyrenees. *IIX Congreso Geológico de España*, 13, 5–8.
- Ramos, G. &. (2002). LA COMARCA DEL PONIENTE (ALMERÍA, ESPAÑA). In *EDAFOLOGIA* (Vol. 9).
- Rodríguez & McLaughlin, & P. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*.
- Romero, M. J. (2017). Eficacia de la alfalfa asociada a enmiendas orgánicas para la reducción de diferentes concentraciones de plomo en la mina Colquisiri – Huaral. *Universidad César Vallejo*. Retrieved from <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/27084>
- Romero, M. P., Santamaría, D. M., & Zafra, C. A. (2009). *BIOINGENIERÍA Y SUELO: ABUNDANCIA MICROBIOLÓGICA, pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA BAJO TRES ESTRATOS DE EROSIÓN BIOENGINEERING AND SOIL: MICROBIOLOGICAL ABUNDANCE, pH AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THREE STRATES OF EROSION*.
- Silva & Restrepo, F. J. (2009). ilidades de la Regulación Económica. *Análisis de La Contaminación Del Suelo: Revisión de La Normativa y PosibSemestre Económico*, 13–34.

- Silva, G. &. (2010). *Artículo científico TERMINADO*.
- Terry, R. &. (2014). Efectividad agrobiológica del producto bioactivo pectimorfo en el cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(2), 105–111. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362014000200014&script=sci_arttext&tlng=en
- United States Environmental Protection Agency. (2006). *In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil: Engineering Forum Issue Paper*. (November), 1–35. Retrieved from <https://clu-in.org/download/remed/542f06013.pdf>
- Usda. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *USDA, Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos*, 88.
- Vaca, B. &. (2001). *Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles Proyecto de investigación para obtener el grado de Maestra en Ciencias e Ingeniería Ambientales*. 1–176. Retrieved from [http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/185/Fitoextraccion en suelos contaminados.pdf?sequence=1](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/185/Fitoextraccion%20en%20suelos%20contaminados.pdf?sequence=1)
- Vilcapaza, C. J. R. (2018). Universidad Peruana Unión. *Resolucion*, 267. <https://doi.org/10.1587/transcom.E93.B.2477>
- Yang, L., Li, S., Wen, T., Meng, F., Chen, G., & Qian, X. (2019). Influence of ferrous-metal production on mercury contamination and fractionation in farmland soil around five typical iron and steel enterprises of Tangshan, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 188(October 2019), 109774. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109774>
- Zamora, L. &. (2016). *Diagnostico de la fertilidad del suelo en el area deinvestigacion, innovacion y desarrollo*.



ALAB
ANÁLISIS LABORATORIAL

CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ SUELO, LODO Y SEDIMENTO

FC-09E-27/12.1
01
2016-04-06

Datos del Cliente: Samborombón Quispesmana Rancho
Razón Social: Samborombón Quispesmana Rancho
Persona de contacto: Samborombón Quispesmana Mina Correo / Teléfono:
Nombre del proyecto: en observación se muestra

Orden de servicio: Plan de Monitoreo
Cadena de custodia: Plan de Monitoreo
Informe de ensayo: Plan de Monitoreo
Procedencia o lugar de muestreo: Ciudad de Manta

PARAMETROS DE ENSAYO

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestra	Tipo de muestra (Suelo, Lodo, Sedimento)	Ubicación Coordenadas (UTM)	OBSERVACIONES
1	R057-T3	F01/M19	H10:00	Suelo	N: 8287510 E: 374175	
2	R057-T1	F01/M19	H10:05	Suelo	N: 8287510 E: 374175	
3	R057-T2	F01/M19	H10:10	Suelo	N: 8287510 E: 374175	
4	R057-T2	F01/M19	H10:15	Suelo	N: 8287510 E: 374175	
5		F:			N:	
6		HE:			E:	
7		F:			N:	
8		HE:			E:	

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Observaciones de recepción de muestras:

Evitar el uso de recipientes de plástico para la recolección de las muestras de suelo. Evitar el uso de recipientes de plástico para la recolección de las muestras de lodo y sedimento.

Legenda:

T amb: Temperatura ambiente
T refr: Temperatura de refrigeración
N: No
M: No
C: Contaminado
NC: No conforme

Muestreado por: Samborombón Quispesmana
Fecha: 01-11-2019
Hora: 10:00

Cliente: Samborombón Quispesmana

Muestreado por: ALAB Cliente

Condiciones de recepción:

Temperatura de conservación	Temperatura de conservación	Temperatura de conservación	Temperatura de conservación

Embalaje adecuado de muestras: C NC
Registro correcto de cadena: C NC

RECIBIDO

ANALYTICAL LABORATORY SRL

Nombre: Samborombón Quispesmana
Fecha/Hora: 01-11-2019
Firma: Samborombón Quispesmana

Observaciones: Se recibieron 4 muestras de suelo (R057-T1, R057-T2, R057-T3) y 1 muestra de lodo y sedimento (R057-T4) en recipientes de plástico.


Web site: www.alab.com.pe Email: ventas@alab.com.pe Email: ventas@alab.com.pe

Provincia: Zamora No. 113, Av. 27, Asociación Dada Nueva Cerro, Huancayo, Calle 1ra, Urb. "El Jardín", M. C. 127, Sucre, Arequipa. Teléfono: (054) 418443
RUC: 2000085191 - IT: 071857389 - D7176035 - 01713771 - Cel: 94699888 - 94776824

CLIENTE

Figura 3. Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento.

Anexo B: Certificado de resultados de análisis



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa - Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-03641

Fecha de emisión: 9/07/2019

Página 1 de 1

Señores: RHLAB S.A.C.

Dirección: AV. MARTIRES DEL 4 DE NOVIEMB NRO. 2414 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA

Atención: LIZBETH POMARI CAÑAZACA , NINFA SAMBRANO QUISPESIVANA

Recepción: 4/07/2019

Realización: 4/07/2019

Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

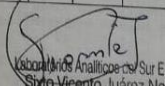
*628 Método de Ensayo para Mercurio por ICP-OES

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*598									
				Ag ppm	Al ppm	B ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca ppm	Cd ppm	Co ppm	
MN19007372	MUESTRA INICIAL 01 F: 21-06-19 MUESTREADO POR LIZBETH POMARI CAÑAZACA - NINFA SAMBRANO QUISPESIVANA	OLLACHEA - CARABAYA - PUNO	Suelo	2,67	>10000	113,9	116,4	1,18	14,5	1517	1,95	19,11	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*598							
				Cr ppm	Cu ppm	Fe ppm	Ga ppm	In ppm	K ppm	Li ppm	Mg ppm
MN19007372	MUESTRA INICIAL 01 F: 21-06-19 MUESTREADO POR LIZBETH POMARI CAÑAZACA - NINFA SAMBRANO QUISPESIVANA	OLLACHEA - CARABAYA - PUNO	Suelo	161,30	108,1	>10000	10,15	12,52	3544	56,3	3314

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*598							
				Mn ppm	Mo ppm	Na ppm	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Se ppm
MN19007372	MUESTRA INICIAL 01 F: 21-06-19 MUESTREADO POR LIZBETH POMARI CAÑAZACA - NINFA SAMBRANO QUISPESIVANA	OLLACHEA - CARABAYA - PUNO	Suelo	353,1	8,65	469,1	38,60	1289	198,07	3,68	<0,64

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*598							*628
				Sn ppm	Sr ppm	Te ppm	Ti ppm	Tl ppm	V ppm	Zn ppm	Hg ppm
MN19007372	MUESTRA INICIAL 01 F: 21-06-19 MUESTREADO POR LIZBETH POMARI CAÑAZACA - NINFA SAMBRANO QUISPESIVANA	OLLACHEA - CARABAYA - PUNO	Suelo	<16	38,92	<0,80	590,85	<0,64	31,59	134,64	176,84



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Srta. Vicenta Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

"a<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

Figura 4. Resultados del análisis de metales.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-7271

I- DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: NINFA BENITA SAMBRANO QUISPESIVANA
2.-DIRECCIÓN	: LAS FLORES S/N CERRO COLORADO
3.-PROYECTO	: EVALUACION DE LA CAPACIDAD FITOEXTRACTORA DE LA ALFALFA (MEDICAGO SATIVA) Y RABANO (RAPHANUS SATIVUS) SOBRE LA REMOCION DE HG EN SUELOS CONTAMINADOS POR ACTIVIDAD MINERA
4.-PROCEDENCIA	: RESIDENCIA NUEVO AMANECER, SALIDA AREQUIPA KM 6 CHULLUNQUIANI
5.-SOLICITANTE	: NINFA BENITA SAMBRANO QUISPESIVANA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-19-2530
7.-PLAN DE MONITOREO	: NO APLICA
8.-MUJESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2019-11-20

II.-DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: SUELOS
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 12
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2019-11-07
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2019-11-07 al 2019-11-20


José Luis Chipana Chipana
Químico
Director Técnico
CQP 1104

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 1 de 4

Figura 5. Informe de ensayo de análisis de suelo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-7271

III-METODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Mercurio	EPA Method 7471 B Rev.2 2007	Mercury In Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 2 de 4

Figura 6. Informe de ensayo de análisis de suelo

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-7271

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-19813	M-19814	M-19815	M-19816	M-19817	M-19818		
CÓDIGO DEL CLIENTE:	A 50%-R1	A 50%-R2	A 50%-R3	A 25%-R1	A 25%-R2	A 25%-R3		
COORDENADAS:	E: 0374175	E: 0374175	E: 0374175	E: 0374175	E: 0374175	E: 0374175		
UTM WGS 84:	N: 8284510	N: 8284510	N: 8284510	N: 8284510	N: 8284510	N: 8284510		
PRODUCTO:	SUELOS							
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA							
INICIO DE MUESTREO	FECHA:	2019-11-04	2019-11-04	2019-11-04	2019-11-04	2019-11-04		
	HORA:	09:20	09:25	09:30	09:35	09:40		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	RESULTADOS					
Mercurio	mg/Kg MS	0.4	41.15	39.83	42.76	19.07	19.58	18.83

L.D.M.: Límite de detección del método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Figura 7. Informe de ensayo de los resultados de análisis de suelo


INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-5504

I.- DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZÓN SOCIAL	: NINFA BENITA SAMBRANO QUISPESIVANA
2.-DIRECCIÓN	: LAS FLORES S/N CERRO COLORADO
3.-PROYECTO	: "EVALUACION DE LA CAPACIDAD FITOEXTRACTORA DE LA ALFALFA (<i>MEDICAGO SATIVA</i>) Y RÁBANO (<i>RAPHANUS SATIVUS</i>) SOBRE LA REMOCIÓN DE HG EN SUELOS CONTAMINADOS POR ACTIVIDAD MINERA"
4.-PROCEDENCIA	: CENTRO MINERO OLLACHEA
5.-SOLICITANTE	: NINFA BENITA SAMBRANO QUISPESIVANA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-19-1876
7.-PLAN DE MONITOREO	: NO APLICA
8.-MUESTREO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2019-09-20

II.-DATOS DE ÍTEMES DE ENSAYO

1.-MÁTRIZ	: SUELOS
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2019-09-09
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2019-09-09 al 2019-09-20


José Luis Chipana Chipana
Químico
Director Técnico
CQP 1104

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588

Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 1 de 3

Figura 9. Informe de ensayo de análisis de suelo

III.-METODOS Y REFERENCIAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-5504

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Mercurio	EPA Method 7471 B Rev.2 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)

EPA: U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao

Tel. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588

Email. ventas@alab.com.pe

www.alab.com.pe

Página 2 de 3

Figura 10. Informe de ensayo de análisis de suelo

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-5504

IV. RESULTADOS

ITEM			1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-14750	M-14751
CÓDIGO DEL CLIENTE:			MS-01	MS-02
COORDENADAS:			E: 0339610	E: 0339685
UTM WGS 84:			N: 8474176	N: 8474209
MATRIZ:			SUELOS	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA	
INICIO DE MUESTREO			FECHA:	2019-09-04
			HORA:	13:00
			14:00	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M	RESULTADOS	
Mercurio	mg/Kg MS	0.40	70.20	45.50

L.C.M.: Límite de cuantificación de método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

"FIN DE DOCUMENTO"

Figura 11 Informe de ensayo de análisis de suelo

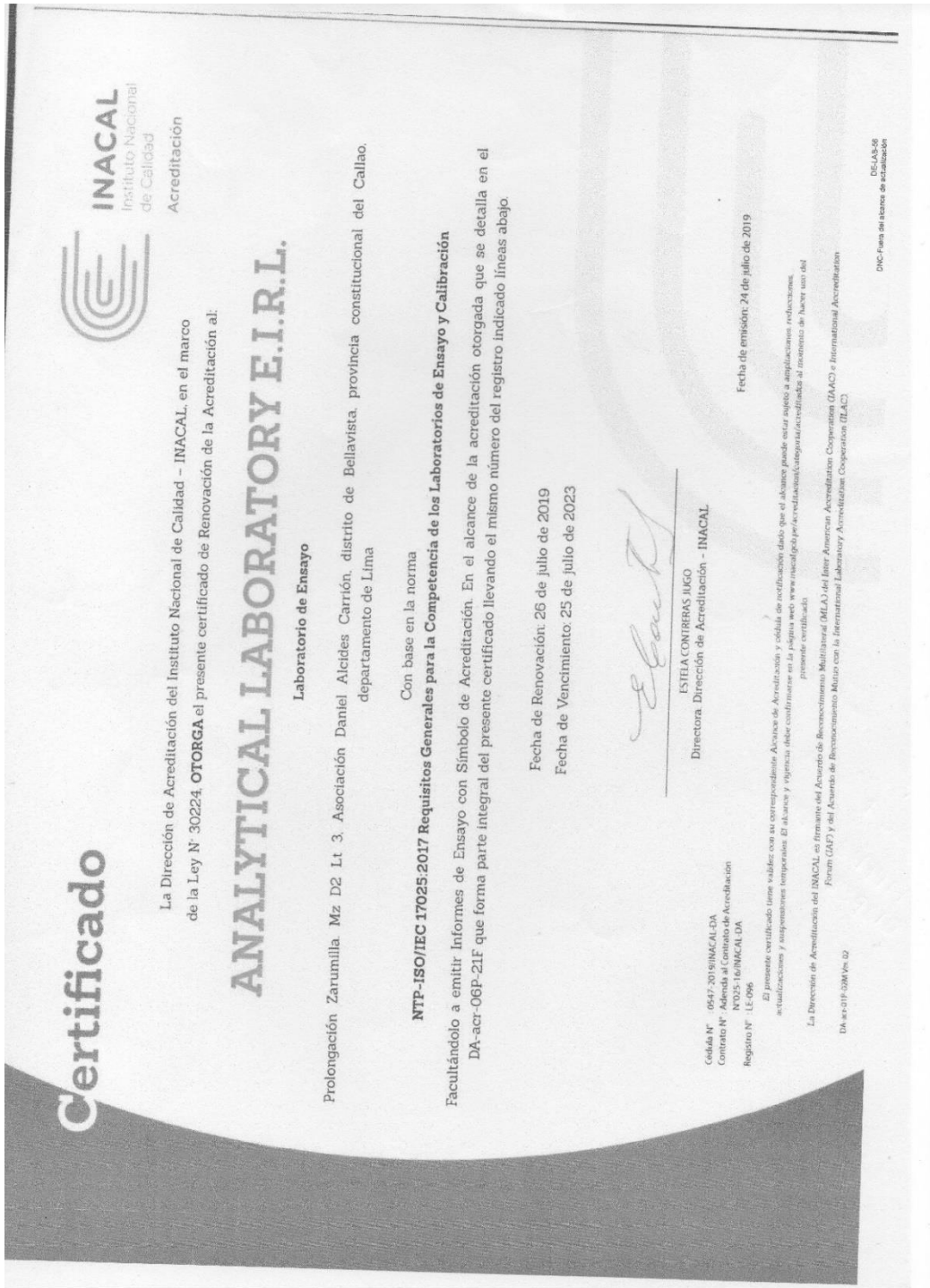


Figura 12. Certificado de acreditación por el INICAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : LIZBETH POMARI CAÑAZACA
 Departamento : PUNO
 Distrito : OLAECHEA
 Referencia : H.R. 70680-138C-19

Provincia : CARABAYA
 Predio :
 Fecha : 15/11/19

Bolt.: 3702

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes Bases	% Sat. De Bases			
								Arena %	Limo %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺			Al ³⁺ + H ⁺		
10159	MS-01	4.21	8.52	0.00	12.55	46.3	2860	63	26	11	Fr.A.	15.52	5.24	0.88	2.47	0.47	0.90	9.96	9.06	58
10160	MS-02	5.98	8.24	0.00	7.38	75.9	3610	71	20	9	Fr.A.	14.40	7.40	3.42	2.55	0.83	0.20	14.40	14.20	99

A = Arena ; A.Fr. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Ingeniero Biológico La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946 - 505 - 254
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Figura 13. Informe de resultados de la caracterización de suelos

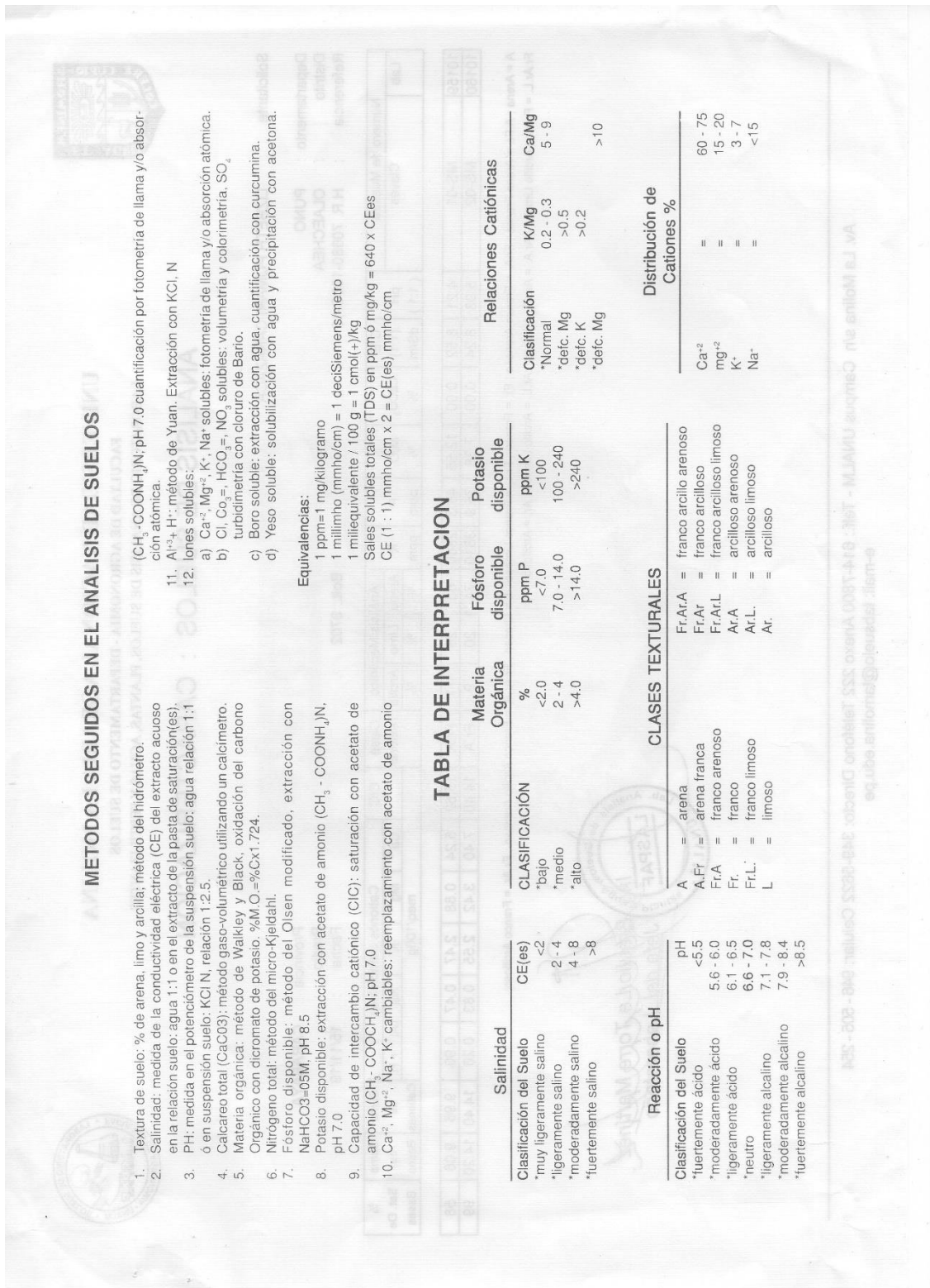


Figura 14. Informe de resultados de la caracterización de suelos

Anexo C: Análisis estadístico

ESTADISTICO PARA EL PORCENTAJE DE REMOCION

Modelo lineal general: Porcentaje de remoción vs. Planta, Dosis

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Planta	Fijo	2	Alfalfa, Rábano
Dosis	Fijo	2	25.00%, 50.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Planta	1	354.86	354.862	81.73	0.000
Dosis	1	361.60	361.605	83.28	0.000
Planta*Dosis	1	96.35	96.352	22.19	0.002
Error	8	34.74	4.342		
Total	11	847.55			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.08373	95.90%	94.36%	90.78%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	44.995	0.602	74.80	0.000	
Planta					
Alfalfa	5.438	0.602	9.04	0.000	1.00
Dosis					
25.00%	-5.489	0.602	-9.13	0.000	1.00
Planta*Dosis					
Alfalfa 25.00%	-2.834	0.602	-4.71	0.002	1.00

Ecuación de regresión

Porcentaje de remoción = 44.995 + 5.438 Planta_Alfalfa - 5.438 Planta_Rábano
- 5.489 Dosis_25.00% + 5.489 Dosis_50.00%
- 2.834 Planta*Dosis_Alfalfa 25.00%
+ 2.834 Planta*Dosis_Alfalfa
50.00% + 2.834 Planta*Dosis_Rábano 25.00%
- 2.834 Planta*Dosis_Rábano 50.00%

Gráfica de probabilidad de RESID1

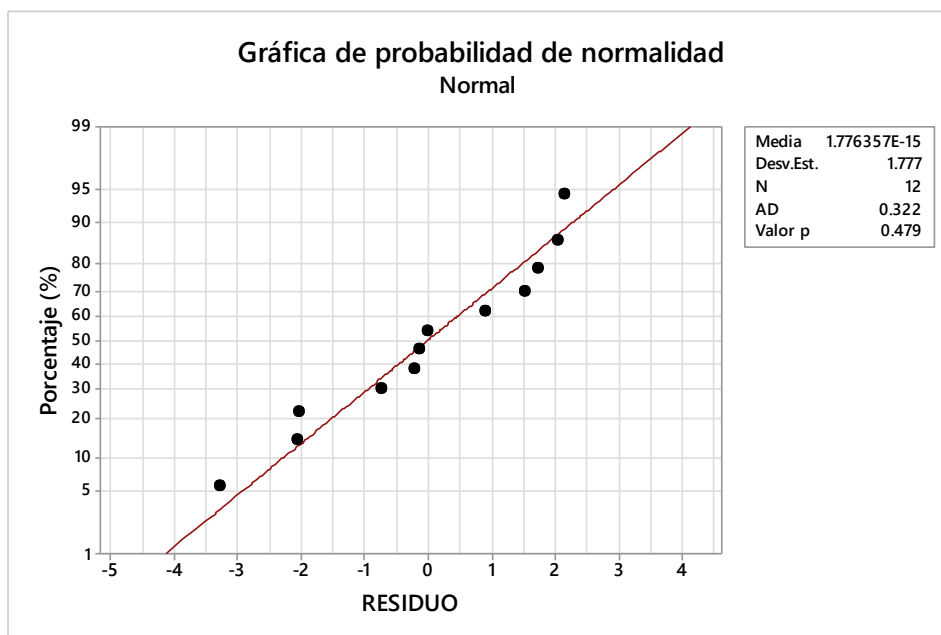
Normalidad de errores

H_0 : los errores del porcentaje de remoción se distribuyen normalmente (si $p > 0.05$)

H_1 : los errores del porcentaje de remoción no se distribuyen normalmente (si $p < 0.05$)

Nivel de significancia, $\alpha = 0.05$

Conclusión: si se cumple el supuesto de normalidad de errores a un nivel de significación de 0.05, si existe evidencia estadística para rechazar H_1 . (Valor $p = 0.479$)



Prueba de varianzas iguales: Porcentaje de remoción vs. Planta, Dosis

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Planta	Dosis	N	Desv.Est.	IC
Alfalfa	25.00%	3	0.84179	(0.0032205, 1314.16)
Alfalfa	50.00%	3	2.09030	(0.0079970, 3263.26)
Rábano	25.00%	3	2.83772	(0.0108565, 4430.10)
Rábano	50.00%	3	2.05841	(0.0078750, 3213.48)

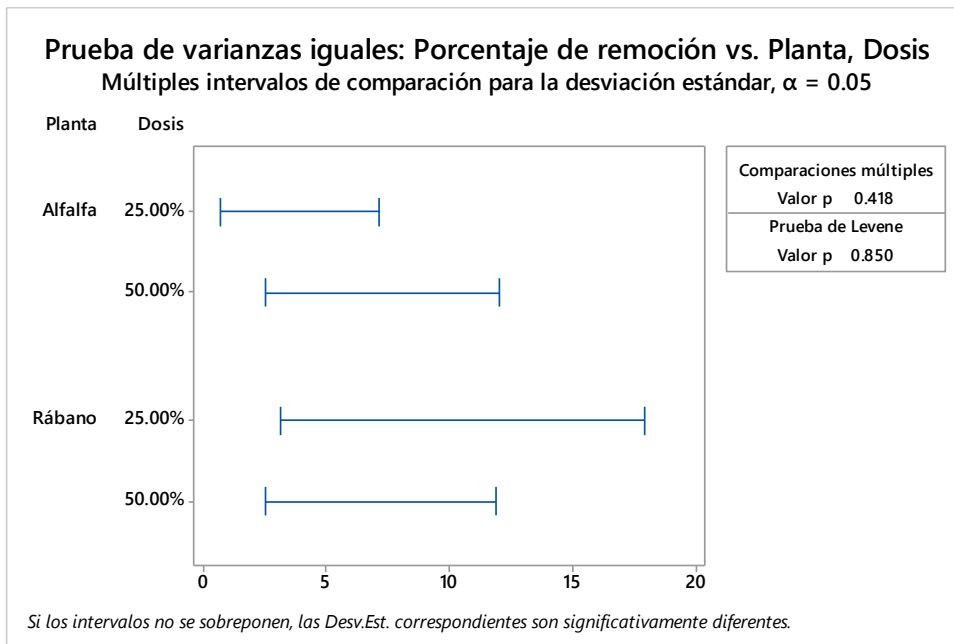
Nivel de confianza individual = 98.75%

Pruebas

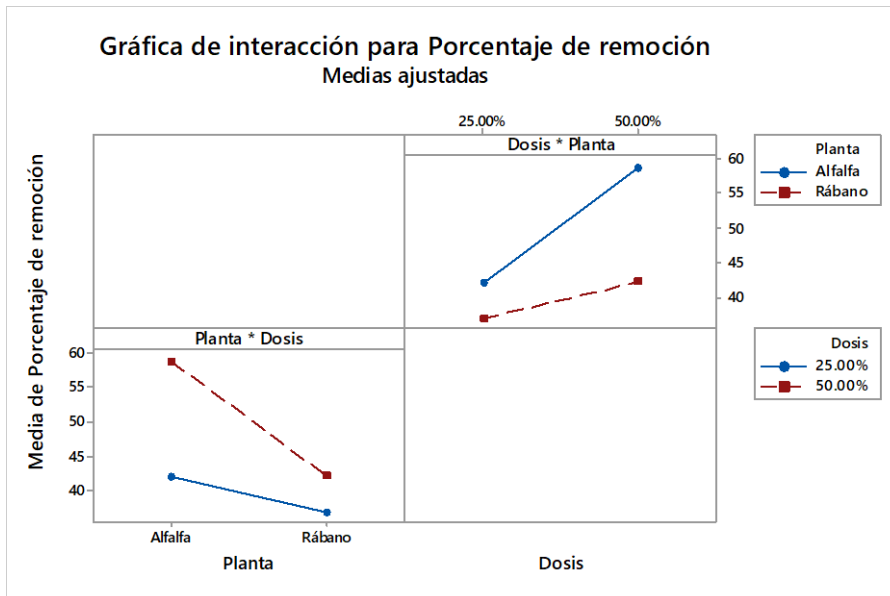
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.418
Levene	0.26	0.850

Prueba de varianzas iguales: Porcentaje de remoción vs. Planta, Dosis

Gráfica de efectos principales para Porcentaje de remoción



Gráfica de interacción para Porcentaje de remoción



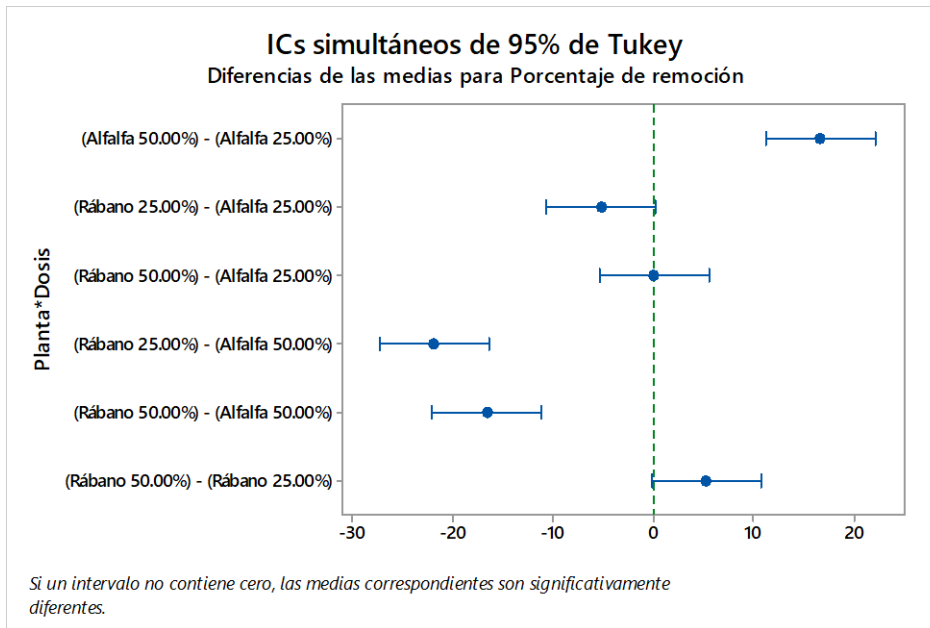
Comparaciones para Porcentaje de remoción

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Porcentaje de remoción, Término = Planta*Dosis

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Planta*Dosis	N	Media	Agrupación
Alfalfa 50.00%	3	58.7559	A
Rábano 50.00%	3	42.2127	B
Alfalfa 25.00%	3	42.1099	B
Rábano 25.00%	3	36.9011	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



ESTADISTICO PARA EL PORCENTAJE DE GERMINACION

Modelo lineal general: Porcentaje de germinacion vs. Planta, Dosis

Método

Codificación de factores (-1, 0, +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Planta	Fijo	2	Alfalfa, Rábano
Dosis	Fijo	2	25.00%, 50.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Planta	1	90.75	90.750	27.92	0.001
Dosis	1	396.75	396.750	122.08	0.000
Planta*Dosis	1	18.75	18.750	5.77	0.043
Error	8	26.00	3.250		
Total	11	532.25			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.80278	95.12%	93.28%	89.01%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	81.250	0.520	156.12	0.000	
Planta					
Alfalfa	2.750	0.520	5.28	0.001	1.00
Dosis					
25.00%	-5.750	0.520	-11.05	0.000	1.00
Planta*Dosis					
Alfalfa 25.00%	-1.250	0.520	-2.40	0.043	1.00

Ecuación de regresión

$$\begin{aligned}
 \text{Porcentaje de germinacion} = & 81.250 + 2.750 \text{ Planta_Alfalfa} - 2.750 \text{ Planta_Rábano} \\
 & - 5.750 \text{ Dosis_25.00\%} + 5.750 \text{ Dosis_50.00\%} \\
 & - 1.250 \text{ Planta*Dosis_Alfalfa 25.00\%} \\
 + & 1.250 \text{ Planta*Dosis_Alfalfa} \\
 & 50.00\% + 1.250 \text{ Planta*Dosis_Rábano 25.00\%} \\
 & - 1.250 \text{ Planta*Dosis_Rábano 50.00\%}
 \end{aligned}$$

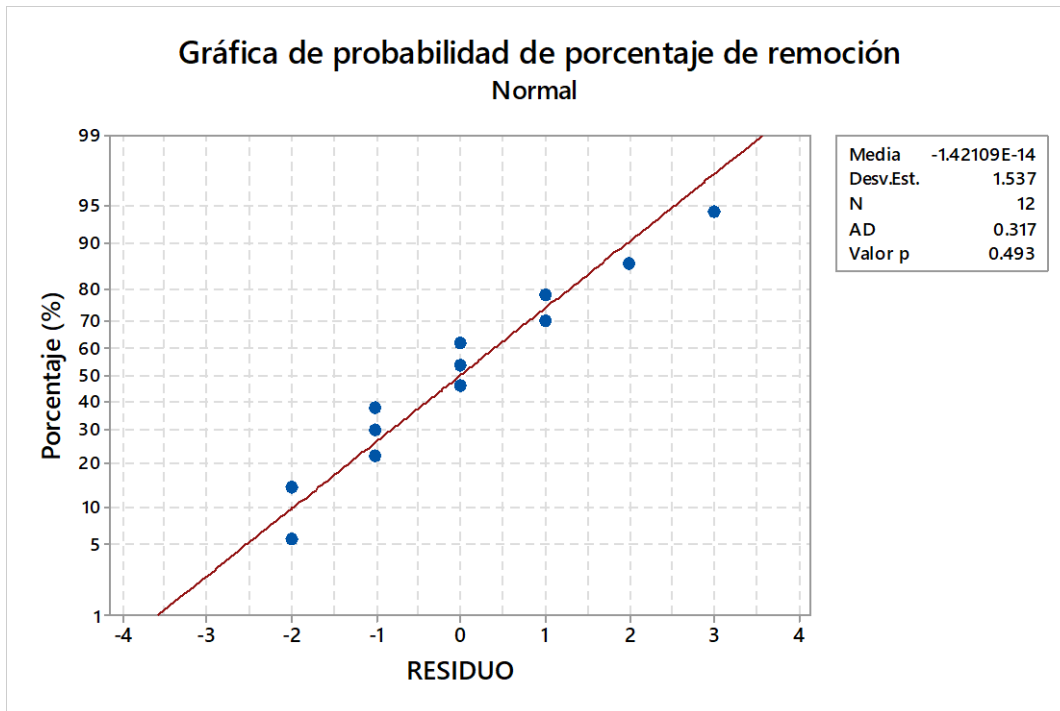
Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Porcentaje de germinacion	Ajuste	Resid	Resid est.	R
12	86.00	83.00	3.00	2.04	R

Residuo grande R

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.
 Recuperando proyecto desde el archivo: 'E:\TESIS NOVIEMBRE\tesis diciembre\tesis sustentacion\tesis 30 de diciembre\Minitab germinacion final ok.MPJ'

Gráfica de probabilidad de RESID1



Prueba de varianzas iguales: Porcentaje de germinacion vs. Planta, Dosis

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Planta	Dosis	N	Desv.Est.	IC
Alfalfa	25.00%	3	2.00000	(0.0076515, 3122.29)
Alfalfa	50.00%	3	1.00000	(0.0038258, 1561.15)
Rábano	25.00%	3	1.00000	(0.0038258, 1561.15)
Rábano	50.00%	3	2.64575	(0.0101220, 4130.41)

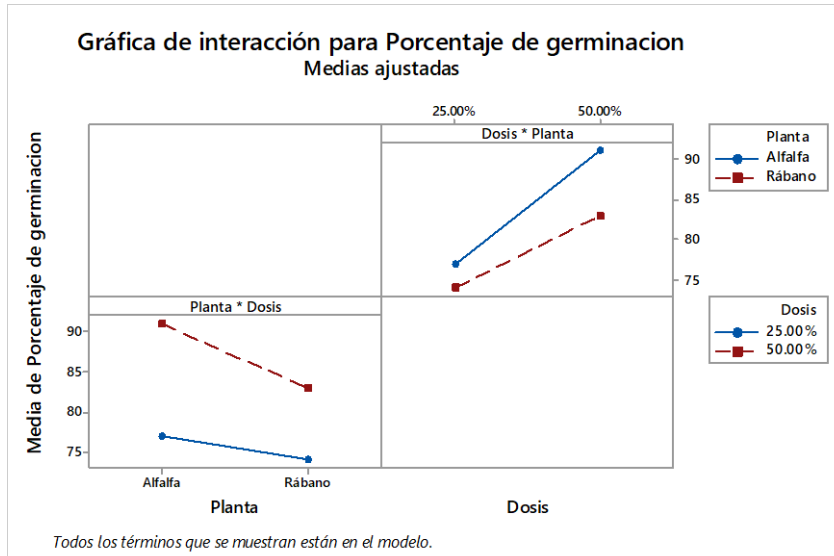
Nivel de confianza individual = 98.75%

Pruebas

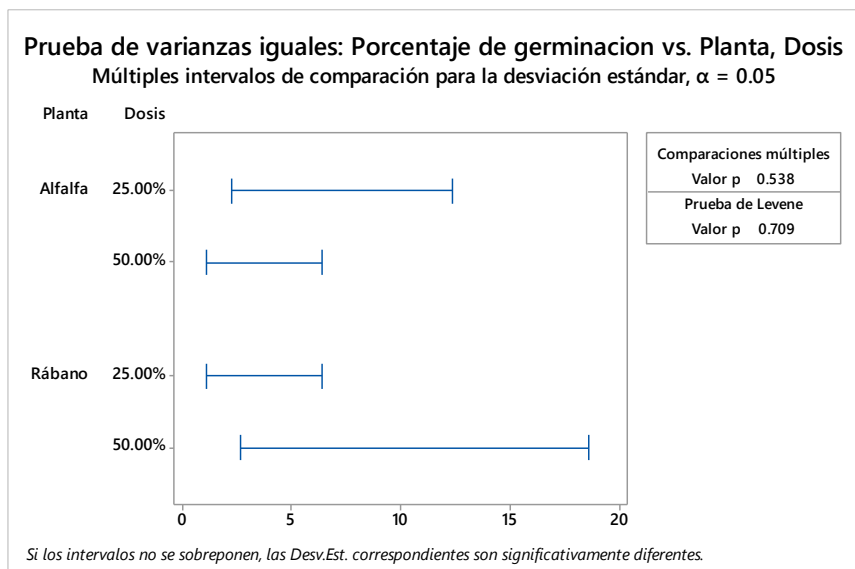
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.538
Levene	0.47	0.709

Prueba de varianzas iguales: Porcentaje de germinacion vs. Planta, Dosis

Gráfica de interacción para Porcentaje de germinacion



Comparaciones para Porcentaje de germinacion



Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Porcentaje de germinacion, Término = Planta*D

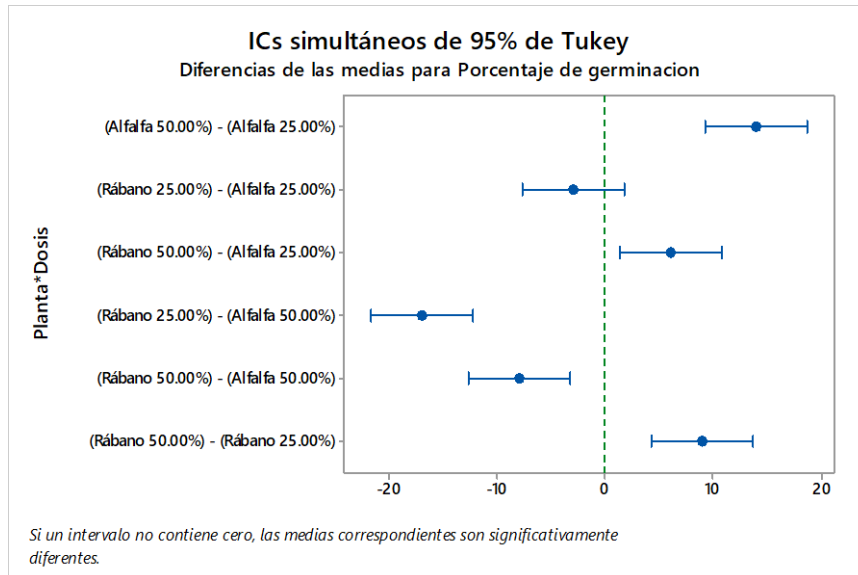
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Planta*Dosis	N	Media	Agrupación
Alfalfa 50.00%	3	91	A
Rábano 50.00%	3	83	B

Alfalfa 25.00%	3	77	C
Rábano 25.00%	3	74	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ICs simultáneos de 95% de Tukey



Anexo D: Panel fotográfico



Figura 1 Ubicación del área de estudio



Figura 2 Especies de estudio



Fotografía 3. Ingreso a la mina artesanal Ollachea.



Fotografía 4. Profundidad de muestreo



Fotografía 5. Toma de muestra de suelo .



Fotografía 6. Cuarteo de muestra.



Fotografía 7. Peso de muestra



Fotografía 8. Preparación de suelo para el proceso de germinación.



Fotografía 9. Proceso de siembra.



Fotografía 10. Resultados del proceso de germinación en la alfalfa al 50%.



Fotografía 11. Resultados del proceso de germinación en la alfalfa al 25%.



Fotografía 10. Resultados del proceso de germinación en el rábano al 50%.

Fotografía 11. Resultados del proceso de germinación en el rábano al 25%.



Fotografía 12. Crecimiento de las especies a los 20 días (25%).





Fotografía 13. Crecimiento de las especies a los 20 días (50%).



Fotografía 14. Crecimiento de las especies a los 40 días (25%).



Fotografía 15. Crecimiento de las especies a los 40 días (50%).



Fotografía 16. Medición del crecimiento de la planta.



Fotografía 17. Crecimiento de las especies a los 60 días

ALFALFA 25 % (T1)

ALFALFA 50 % (T2)

RABANO 25% (T3)

RABANO 50% (T4)

