

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SUELO Y
EL VALOR DE SUS FACTORES DE BIOCONCENTRACIÓN Y
TRASLOCACIÓN EN PLANTAS DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*)**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

EDINSON NICOLÁS SALDAÑA ROJAS

Asesor:

M. Cs. MARCO ALFREDO SÁNCHEZ PEÑA

Cajamarca, Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: Edinson Nicolás Saldaña Rojas
DNI: 19262816
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Maestría, Mención: Gestión Ambiental
2. Asesor: M.Cs. Marco Alfredo Sánchez Peña
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
3. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
4. Título de Trabajo de Investigación:
RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SUELO Y EL VALOR DE SUS FACTORES DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN EN PLANTAS DE LECHUGA (*Lactuca Sativa L.*)
5. Fecha de evaluación: **29/10/2024**
6. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
7. Porcentaje de Informe de Similitud: 18%
8. Código Documento: **3117:399361053**
9. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 29/10/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 M.Cs. Marco Alfredo Sánchez Peña DNI: 41799695

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by
EDINSON NICOLÁS SALDAÑA ROJAS
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 5:40 p.m. horas, del día 22 de febrero del dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. JUAN FRANCISCO SEMINARIO CUNYA**, **Dr. AUGUSTO HUGO MOSQUEIRA ESTRAYER**, **Dr. JUAN FRANCISCO SEMINARIO CUNYA**, **Dr. MARCO ANTONIO RIVERA JACINTO** y en calidad de Asesor el **M.Cs. MARCO ALFREDO SÁNCHEZ PEÑA**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SUELO Y EL VALOR DE SUS FACTORES DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN EN PLANTAS DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*)**, presentada por el Bachiller en Farmacia y Bioquímica, **EDINSON NICOLÁS SALDAÑA ROJAS**.

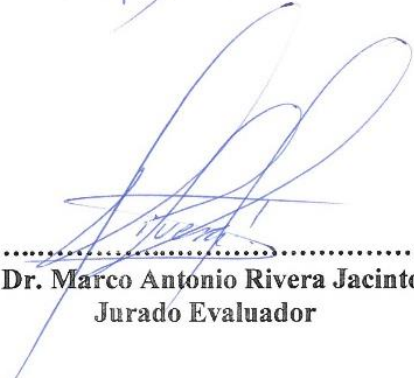
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de DECISIETE la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Farmacia y Bioquímica EDINSON NICOLÁS SALDAÑA ROJAS**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 6:30 p.m. horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
M.Cs. Marco Alfredo Sánchez Peña
Asesor


.....
Dr. Juan Francisco Seminario Cunya
Jurado Evaluador


.....
Dr. Augusto Hugo Mosqueira Estrayer
Jurado Evaluador


.....
Dr. Marco Antonio Rivera Jacinto
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa que ha sido, es y siempre será un aliciente para continuar creciendo profesionalmente.

A mis hijos Mariana y Liam, quienes a su corta edad me han enseñado la importancia de la familia.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor el Dr. Berardo Escalante Zumaeta por su tiempo, compromiso, dedicación y amplio conocimiento para la elaboración de la presente investigación.

A mi asesor Mg. Marco Alfredo Sánchez Peña por su apoyo y compromiso al asumir esta última etapa

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIACIONES Y UNIDADES	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Pregunta General.....	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Hipótesis.....	4
1.4.1. Hipótesis específicas.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Metales pesados y elementos traza.	10
2.2.1.1. El Plomo	11
2.2.1.2. Efectos del plomo en el medio ambiente.....	11
2.2.2. Metales pesados y contaminación del suelo.....	11
2.2.3. Biodisponibilidad y movilidad de los metales pesados en el suelo	12
2.2.4. Toxicidad de los metales pesados en las plantas.....	13
2.2.5. Hortalizas	13
2.2.5.1. La lechuga	13
2.2.6. Contaminación de hortalizas por metales pesados.....	14
2.2.7. Adsorción de metales pesados a superficies biológicas	15
2.2.8. Factores de concentración	16
2.2.8.1. Factor de Bioconcentración (BCF)	16
2.2.8.2. Factor de translocación (TF)	17
2.2.9. Fuentes de contaminación de metales pesados en suelos.....	17
2.3. Definición de términos.....	19

CAPÍTULO III	21
MÉTODOS Y MATERIALES	21
3.1. Ubicación de la investigación.	21
3.2. Material y equipamiento.	22
3.3. Métodos de investigación	23
3.4. Unidad de análisis, Población y muestra.	27
3.5. Toma y envío de muestras.	28
3.6. Cálculo de los factores de bioconcentración, bioacumulación y translocación. ...	30
3.7. Diseño estadístico	30
CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Resultados de los análisis fisicoquímicos del suelo.	35
4.2. Resultados de concentración de Pb en suelo, hojas y raíz.	36
4.3. Cálculo de Ganancia porcentual de Ganancia de Pb en raíz y hojas de lechuga	40
4.4. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas	45
4.5. Normalidad de Kolmogorov-Smirnov de los tamaños de las Raíces	49
CAPÍTULO V	58
CONCLUSIONES	58
CAPÍTULO VI	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CAPÍTULO VII	64
ANEXOS	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonomica de la lechuga	14
Tabla 2. Frecuencia de aplicación de tratamiento de estudio	24
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del suelo.	29
Tabla 4. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo.....	35
Tabla 5. Concentración de plomo en suelo, hoja y raíz de lechuga.....	38
Tabla 6. Cálculo del valor porcentual de ganancia de Pb en raíz y hoja de lechuga	41
Tabla 7. Resultado de factor de BCF, TF y BAF	42
Tabla 8. Resultado de tamaño promedio raíz y tallo tratamiento 1 y 2	43
Tabla 9. Resultado de tamaño promedio raíz y tallo tratamiento 3 y 4.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del experimento.....	21
Figura 2. Modelo de los módulos de experimentación	23
Figura 3. Dosis y frecuencia de aplicación del nitrato de plomo	27
Figura 4. Concentraciones de Pb por tratamiento.....	39
Figura 5. Concentraciones de Pb en raíz y hojas de lechuga	39
Figura 6. Representación del cálculo del valor porcentual de ganancia de Pb	41
Figura 7. Prueba de normalidad de tamaños de hoja para tratamiento 1	45
Figura 8. Prueba de normalidad de tamaños de hoja para tratamiento 2	46
Figura 9. Prueba de normalidad de tamaño de hoja para tratamiento 3.....	47
Figura 10. Prueba de normalidad de tamaño de hoja para tratamiento 4.....	48
Figura 11. Prueba de normalidad de tamaño de raíz para tratamiento 1.....	49
Figura 12. Prueba de normalidad de tamaño de raíz para tratamiento 2.....	50
Figura 13. Prueba de normalidad de tamaño de raíz para tratamiento 3.....	51
Figura 14. Prueba de normalidad de tamaño de raíz para tratamiento 4.....	52
Figura 15. Análisis de medias del tamaño de hojas por tratamiento	53
Figura 16. Resultados de pruebas de Anova entre los intervalos de concentraciones ...	53
Figura 17. Análisis de medias de tamaño de raíz por tratamiento.....	54
Figura 18. Resultados de prueba de Anova entre los intervalos de concentraciones. ...	54
Figura 19. Prueba de correlación entre pH, materia organica y factores	56
Figura 20. Evaluación de la lechuga después del cultivo	64
Figura 21. Evaluación de las hojas de lechuga tratamiento 1.....	64
Figura 22. Evaluación de las hojas de lechuga tratamiento 2.....	64
Figura 23. Evaluación de las hojas de lechuga tratamiento 3.....	65
Figura 24. Evaluación de las hojas de lechuga tratamiento 4.....	65
Figura 25. Evaluación de la raíz de lechuga tratamiento 1.....	65

Figura 26. Evaluación de la raíz de lechuga tratamiento 2.....	65
Figura 27. Evaluación de la raíz de lechuga tratamiento 3.....	66
Figura 28. Evaluación de la raíz de lechuga tratamiento 4.....	66

LISTA DE ABREVIACIONES Y UNIDADES

ECA	:	Estándares de calidad ambiental
LMP	:	Límites máximos permisibles
TF	:	Factor de traslocación
BFC	:	Factor de bioconcentración
BFA	:	Factores de bioacumulación
Pb	:	Plomo
[Pb(NO ₃) ₂]	:	Nitrato de plomo

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la relación entre la concentración de plomo en el suelo, sus propiedades físico-químicas como Fosforo (P), Potasio(K), pH, Materia Orgánica (M.O), Aluminio (Al), Arena, Limo, Arcilla y el valor de sus factores de bioconcentración, bioacumulación y traslocación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), se realizó en tres tratamientos y un control, cada uno con tres repeticiones. El tratamiento control sin contenido de nitrato de plomo, mientras que en los otros tres se administró nitrato de plomo a concentraciones de 35 ppm, 70 ppm y 150 ppm; de esta manera se evaluó el factor de bioconcentración (BFC), factor de bioacumulación (BFA) y traslocación (TF) del plomo. Así, el tratamiento con mayor concentración fue t4 obteniendo un factor de traslocación (TF) de 1.255, t3 obteniendo un factor de bioconcentración (BFC) de 0.419 y t3 con un factor de bioacumulación de 0.501, así mismo los factores de bioacumulación (BFA) y de bioconcentración (BFC) no variaron significativamente en cuanto al control. El TF si mostró una variación significativa en cuanto al control siendo los valores más altos obtenidos del estudio los resultados del tratamiento t4. Los parámetros del suelo que influyeron en la absorción del plomo en la planta fuertemente fueron el pH y la materia orgánica obteniendo un p-value de p-valor “sig bilateral” = $0.043 < \alpha = 0.05$ y un coeficiente de correlación de Pearson (R), significativo, de 0.999 positivo. Se pudo establecer una relación directa entre las concentraciones de los tratamientos aplicados y la concentración de Pb en las plantas.

Palabras claves: Lechuga, concentración de plomo, bioacumulación, traslocación

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the relationship between the concentration of lead in the soil, its physical-chemical properties such as Phosphorus (P), Potassium (K), pH, Organic Matter (OM), Aluminum (Al), Sand, Silt, Clay and the value of its bioconcentration, bioaccumulation and translocation factors in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.), it was carried out in three treatments and a control, each with three replicates. The control treatment contained no lead nitrate, while in the other three, lead nitrate was administered at concentrations of 35 ppm, 70 ppm and 150 ppm; in this way, the bioconcentration factor (BFC), bioaccumulation factor (BFA) and translocation factor (TF) of lead were evaluated. Thus, the treatment with the highest concentration was t4, obtaining a translocation factor (TF) of 1.255, t3 obtained a bioconcentration factor (BFC) of 0.419 and t3 had a bioaccumulation factor of 0.501, and the bioaccumulation factor (BFA) and bioconcentration factor (BFC) did not vary significantly with respect to the control. The TF did show a significant variation with respect to the control, with the highest values obtained in the study being the results of treatment t4. The soil parameters that strongly influenced lead absorption in the plant were pH and organic matter, obtaining a p-value of “bilateral sig” = 0.043 < α = 0.05 and a significant Pearson correlation coefficient (R) of 0.999 positive. It was possible to establish a direct relationship between the concentrations of the applied treatments and the concentration of Pb in the plants.

Key words: Lettuce, lead concentration, bioaccumulation, translocation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente vital de todos los ecosistemas, proporcionando servicios esenciales para la vida en la Tierra, la función del suelo más conocida es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas. Sin embargo, la degradación del suelo, especialmente por la contaminación causada por la acumulación de compuestos orgánicos e inorgánicos provenientes de actividades humanas, como la agricultura, la minería y la gestión inadecuada de residuos, ha provocado una grave contaminación del suelo, agua y aire. Estos contaminantes, incluyendo herbicidas, insecticidas, hidrocarburos y relaves mineros, han degradado los ecosistemas y terrenos agrícolas de comunidades, en donde representan un riesgo para la producción de alimentos y la salud de los ecosistemas.

Los metales pesados se refieren a un grupo de elementos tóxicos que se liberan en los suelos por fuentes naturales y antropogénicas. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos (Galán y Romero, 2008). Desde un punto de vista legal, los contaminantes antropogénicos son los verdaderos contaminantes. Los metales pesados más comúnmente encontrados en sitios contaminados son plomo (Pb), cromo (Cr), arsénico (As), zinc (Zn), cadmio (Cd), cobre (Cu), mercurio (Hg) y níquel (Ni). La toxicidad de los metales es una gran preocupación ambiental global debido a su bioacumulación y no biodegradabilidad en la naturaleza y la mayoría de los metales no sufren degradación microbiana o química (Castebianco, 2018; Igiri et al., 2018).

Los metales pesados, una vez depositados en el suelo, se acumulan en las capas superficiales, volviéndose fácilmente accesibles para las raíces de las plantas. La capacidad de las plantas para absorber y acumular metales pesados, como el plomo, varía significativamente. La lechuga, debido a su sistema radicular extenso y a su rápido crecimiento, es especialmente susceptible a la bioacumulación de estos metales. Esta característica la convierte en un bioindicador útil para evaluar la contaminación de los suelos, pero también representa un riesgo para la salud humana. El consumo de lechuga cultivada en suelos contaminados puede exponer a las personas a niveles elevados de metales pesados, lo que a largo plazo puede provocar diversas enfermedades. Por lo antes mencionado en este trabajo se realizó un análisis, sobre la relación entre la concentración de plomo en suelo y el valor de sus factores de bioconcentración y traslocación en la lechuga.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad el tema relacionado con la calidad, cantidad del agua y sus usos en la región Cajamarca se ha vuelto uno de los principales problemas de conflictos ambientales por las actividades en las que se emplea este líquido de vital importancia y en las cuales se ven afectadas las aguas de los ríos por las actividades humanas, en algunos casos de forma irreversible. Las principales fuentes de contaminación de los ríos son las descargas de efluentes procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como los flujos de retorno generados por las actividades agropecuarias y mineras (Malagón, 2011).

El suelo es un sistema dinámico y complejo que sustenta la vida en la Tierra. A través de procesos como la descomposición de la materia orgánica y la actividad de microorganismos, el suelo proporciona los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, prácticas agrícolas inadecuadas como la deforestación, el

sobrepastoreo y el uso excesivo de fertilizantes pueden degradar el suelo, reduciendo su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales. La conservación del suelo es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y proteger el medio ambiente.

El ingreso de sustancias químicas provenientes de actividades antrópicas en cantidades nocivas, altera la calidad del suelo teniendo como consecuencia suelos contaminados, pérdida de biodiversidad o la reducción de la capacidad para producir bienes. Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, algunos en mayor y en otros en menor concentración, pero se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo (García I., Dorronsoro C., 2021). Una vez que llegan al suelo, siguen dos vías que conducen a la cadena trófica: mediante la absorción por las plantas o el lavado hacia las aguas freáticas, pudiendo llegar a los organismos vivos (Achiba WB, et al., 2009).

La presencia de metales pesados y particularmente plomo genera un grave problema y representa un gran riesgo para la salud en la población humana. En la ciudad de Cajamarca, la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales obliga a la descarga de estas, a los ríos y cuyas aguas transportan contaminantes orgánicos e inorgánicos hacia los distritos agrícolas, donde se siembra gran parte de los productos de consumo en fresco (por ejemplo, hortalizas) que abastecen a los mercados locales de la ciudad de Cajamarca dentro de ellos las lechugas, que son una hortaliza ampliamente consumida por la población.

En consecuencia, la presencia de metales pesados como el Plomo en los suelos es una preocupación, ya que su movilidad a los cultivos podría provocar una fuerte contaminación para los humanos y si a esto le sumamos que las aguas que se utilizan para

el riego están contaminadas por aguas residuales y el uso de plaguicidas químicos en los cultivos, se incrementa aún más el riesgo para la salud.

1.2. Pregunta General

¿Cuál es la relación entre la concentración de plomo en suelo y el valor de sus factores de bioconcentración, bioacumulación y traslocación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.)?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la relación entre la concentración de plomo en el suelo y el valor de sus factores de bioconcentración y traslocación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de plomo en suelo, raíces y hojas en plantas de la lechuga (*Lactuca sativa* L.).
- Establecer los Factores de bioacumulación, bioconcentración y Traslocación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

1.4. Hipótesis

La concentración de plomo en el suelo y el valor de sus factores de bioacumulación, bioconcentración y traslocación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) guardan una relación directamente proporcional.

1.4.1. Hipótesis específicas

- Los tratamientos aplicados con Plomo influyen en el tamaño de las plantaciones de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

- El pH y la materia orgánica tienen una relación positiva alta en los factores de bioconcentración, traslocación y bioacumulación de Pb en las lechugas (*Lactuca sativa* L.).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Ordoñez (2019) en la investigación “Determinación del efecto residual de plomo y cadmio en las hortalizas (*Lactuca sativa*, *Daucus carota* y *Apium graveolens*) que se expenden en el mercado nuevo de Huánuco junio- julio 2019” tuvo como finalidad determinar el efecto residual en las hortalizas (lechuga, zanahoria y apio) expandidos en el mercado nuevo de Huánuco. Para obtener la información de las concentraciones de efecto residual de plomo y cadmio, se realizó el recojo de muestras de los 4 puntos establecidos en 3 periodos de tiempo y luego fue traslado para su análisis laboratorio de análisis de aguas, suelos y ecotoxicología- Universidad Nacional Agraria de la Selva para su análisis respectivo. Las concentraciones de plomo presentaron los siguientes resultados promedio en las hortalizas lechuga es de 4.18 ppm; de la zanahoria es de 6.15 ppm y del apio es de 3.79ppm; las concentraciones del cadmio presentaron los siguientes resultados promedio en la lechuga es de 0.11 ppm, de la zanahoria es de 0.09 ppm, y del apio es de 0.10. Las concentraciones del efecto residual de plomo presentaron los siguientes resultados en las hortalizas lechuga 5.06 ppm, 2.93, ppm,4.59 ppm y 2.92 ppm; en la zanahoria 6.4 ppm, 6.99 ppm,5.84 ppm y 4.96 ppm; y en el apio 3.45 ppm, 5.08 ppm,3.12 ppm y 2.31 ppm. Las concentraciones del efecto residual de cadmio presentaron los siguientes resultados en las hortalizas lechuga 0.10 ppm y en los restantes puntos no presenta el efecto residual -0.13, ppm, -0.18 ppm y -0.14 ppm, en la zanahoria 0.03 ppm y en los restantes no presenta el efecto residual -0.03, ppm, 0 ppm y -0.06 ppm; y en el apio 0.02 ppm y 0.01, y en los restantes no presenta el efecto residual -0.02, ppm, 0 ppm y -0.003 ppm.

Córdova (2019) en el estudio “Efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales totora y la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la comunidad de Totora-Ayacucho 2017-2018” tuvo como objetivo principal determinar la incidencia de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totora en la contaminación de las hortalizas por metales pesados, mediante el uso del Diseño Experimental en Parcelas Divididas, en Bloques Completos Aleatorizados, en un arreglo factorial de 2Fx3E. Se sembraron tres hortalizas: rabanito, espinaca y lechuga, las que fueron regadas con dos fuentes de agua, los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (agua servida) y agua de suministro de la comunidad de Totora (agua de caño), hasta el punto de maduración, necesario para cada hortaliza. La determinación del contenido de los metales pesados cadmio, cromo y plomo en las hortalizas se determinó por ICP-OES. En las hortalizas regadas con agua servidas la absorción de cadmio fue: espinaca 0,42 mg/Kg y está por encima del límite permisible; lechuga 0,176 mg/Kg, ligeramente por debajo del límite permisible; rabanito < 0,10 mg/Kg, está por debajo del límite permisible. La absorción de cromo de las hortalizas regadas con agua servida fue: lechuga 2,63 mg/Kg, está por encima del límite permisible; espinaca 1,04 mg/Kg, está por encima del límite permisible y rabanito 1,00 mg/Kg que está por encima del límite permisible. Los valores de la absorción de plomo de las hortalizas regadas con agua servida, están por encima del límite máximo permisible. Se recomienda realizar la investigación en otras hortalizas, debido a que los niveles de cromo y plomo en rabanito; cadmio y cromo en espinaca y cromo en lechuga, están por encima de los LMP.

Por otro lado, Nuñez (2022) en la investigación “Efecto toxicológico agudo del mercurio y plomo sobre *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) Y *Beta vulgaris* (betarraga), Ayacucho 2020” tuvo como objetivo: evaluar el efecto toxicológico agudo de metales pesados (mercurio y plomo) sobre

Lactuca sativa "lechuga", Allium cepa "cebolla", Raphanus sativus "rábano" y Beta vulgaris "betarraga". El estudio experimental se realizó en el Laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNSCH, teniendo como unidades muestrales placas de Petri (para cada especie con 20 semillas), con 5 concentraciones crecientes y cinco repeticiones para cada concentración del metal pesado, para los cuales se utilizó 20 semillas por especie y luego de 192 horas (8 días), se determinó la cantidad de semillas que no lograron germinar en comparación con el blanco. Se realizó la prueba de Kruskal-Wallis hallándose significancia estadística ($p < 0,05$), siendo el más tóxico para las 4 especies de semillas el cloruro de mercurio ($HgCl_2$), seguido por el nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$). El más sensible de los modelos biológicos fue las semillas de Raphanus sativus y el más resistente fue Lactuca sativa. Los valores hallados para la concentración de Inhibición media (CL_{50}) en los dos metales pesados mostraron valores mayores a los indicados por Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La secuencia en orden ascendente para la concentración de inhibición media (CL_{50} en $mg L^{-1}$) del crecimiento radicular de las semillas a 192 horas, fue en la mayoría de los casos el mercurio seguido por el plomo. Por otro lado, la inhibición en las semillas de la lechuga, cebolla, betarraga y rábano se incrementan a medida que las concentraciones de los metales pesados y el tiempo de exposición se incrementan.

Rico (2018) en el estudio "Evaluación de rasgos fitotóxicos y bioacumulación de plomo en acelgas (*Beta vulgaris*) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) y su efecto generado en la interacción plantas-microorganismos rizosféricos" se tuvo como propósito evaluar el efecto agudo y crónico del plomo sobre semillas, plantas de acelga, lechuga y *Pseudomonas fluorescens* como microorganismo rizosférico en diferentes dosis de exposición, fundamentadas en las normas legales vigentes de Colombia para simular en condiciones controladas el efecto tóxico y bioacumulación del plomo. en un

agroecosistema hortícola durante 45 días. En esta investigación se observaron efectos tóxicos agudos y crónicos sobre semillas, plantas de acelga, lechuga en los diferentes experimentos de exposición, causando efectos tóxicos sobre la germinación y crecimiento de semillas mostrando disminución de la longitud de hipocótilo, radícula y un porcentaje de germinación inferior. al 90%, en la dosis de $0,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en acelga, mientras que, en semillas de lechuga no se observaron tales diferencias. En el experimento de exposición crónica a plomo en condiciones controladas, se observa el efecto tóxico nocivo sobre el crecimiento de las plantas de ambas especies, así como también en el crecimiento de *Pseudomonas fluorescens*. La exposición crónica a plomo disminuyó la biomasa vegetal en todas las dosis de exposición a plomo con respecto al control, así como también, la bioacumulación del metal en el tejido vegetal de las plantas expuestas al finalizar los experimentos. En condiciones de hidroponía el plomo en hoja bioacumulado en hoja para acelga y lechuga fue de 0,7; 1,1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Pb, mientras que, en condiciones de invernadero los valores de plomo fueron de 0,60; 0,66 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Pb en acelga para los tratamientos con fertilización con quelatos y sin quelatos, y en lechuga de 0,2; 0,4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Pb en los mismos tratamientos, respectivamente. También, se observaron efectos tóxicos sobre el crecimiento de las bacterias (*Pseudomonas fluorescens*) a los 30 y 45 días de exposición con disminución del diámetro de las colonias y retraso en su crecimiento.

Ackarley (2013) en el estudio “Bioacumulación de cobre, plomo, hierro y zinc en *Lactuca sativa* (lechuga), *Brassica oleracea* (repollo), *Daucus carota* (zanahoria) y *Raphanus sativus* (rabanito)”); tuvo como objetivo determinar la concentración de los metales cobre, plomo, hierro y zinc en la parte comestible de las *Lactuca sativa* “lechuga”, *Brassica oleracea* “repollo”, *Daucus carota* “zanahoria” y *Raphanus sativus* “rabanito”, mediante un diseño experimental cuadrado latino 4x4. Se halló que *L. sativa*”, *D. carota* y *B. oleracea* presentan una alta concentración de zinc en

las raíces (44 ppm, 61 ppm y 48 ppm, respectivamente); la raíz de *R. sativus* acumula predominantemente el hierro (68 ppm). Asimismo, *B. oleracea*, *L. saliva*, *D. carota* y *R. sativus* acumulan en los tallos en mayor proporción el cobre, hierro, plomo y zinc, con 38,7 ppm, 39,5 ppm, 28,8 ppm y 23,5 ppm, respectivamente. *D. carota* y *R. sativus* son las que presentan una mayor capacidad de absorción del metal pesado plomo, esta propiedad podría usarse en términos benéficos para procesos de bio-remediación como “limpiadores” de metales pesados de suelos. *R. sativus* es una hortaliza altamente susceptible a los metales pesados presentes en agua de riego y en un factor de primer orden en la probable causa de enfermedades en la población.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Metales pesados y elementos traza.

El término “metales pesados” se refiere al grupo de metales y metaloides de masa relativamente alta ($>4,5 \text{ g/cm}^3$) como Pb, Cd, Cu, Hg, Sn y Zn, que pueden causar problemas de toxicidad. Un metal pesado es un elemento que tiene propiedades metálicas como ductibilidad, conductividad, densidad, estabilidad como catión y especificidad a ligando (Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez, 2016; Rodríguez-Eugenio et al., 2019). En la tabla periódica de los elementos existen unos 70 elementos metálicos, de los cuales 59 son considerados “metales pesados”. Existen otros elementos que no son metales como As, F y P. Debido a ello, Galán y Romero (2008) consideran que resulta más conveniente hablar de contaminación por “elementos traza”, aun cuando la mayoría de los contaminantes inorgánicos son “metales pesados”. A veces, la contaminación del suelo se puede producir también por altas concentraciones de elementos mayoritarios (Na, Fe, Al). Los metales pesados pueden ser detectados ya sea en su estado elemental, lo que implica que no sufren modificaciones, o enlazados en varios complejos con sales. De cualquier manera, los iones metálicos no pueden ser mineralizados. Una vez en el

ambiente, los metales pueden sufrir transformaciones a diferentes formas móviles y/o pueden ser inmovilizados en trampas ambientales (Cañizares, 2000).

2.2.1.1. El Plomo.

El plomo es una sustancia ambientalmente abundante, que se encuentra en las aguas marinas, con concentraciones entre 0,003 y 0,20 mg/L, en el suelo de terrenos no cultivados, con valores de 8 a 20 mg/kg, mientras que, en terrenos cultivados, se puede llegar a encontrar por encima de 360 mg/kg y cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10 g /kg o más (Rubio et al. 2004). La contaminación del agua por plomo, se debe a los efluentes industriales no tratados, generados por fábricas de pinturas, baterías, municiones, minería, entre otros. Debido a su toxicidad, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo ha clasificado entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud humana (Lavado et al. 2010).

2.2.1.2. Efectos del plomo en el medio ambiente

En los seres humanos, la exposición al plomo puede provocar una variedad de efectos biológicos, según el nivel y la duración de la exposición. Se produce una amplia gama de efectos en un amplio rango de dosis, y los fetos en desarrollo y los bebés son más sensibles que los adultos, efectos y daño agudo o crónico al sistema nervioso. El plomo en el aire contribuye a los niveles de plomo en los alimentos al depositar el polvo cargado de metales y la lluvia en los cultivos y el suelo (Rainer, 2000; Ramírez P, 2008).

2.2.2. Metales pesados y contaminación del suelo.

Los metales pesados son los elementos presentes en la naturaleza más perseverantes y duraderos.

Estos elementos aparte de afectar a los seres humanos y animales también afectan los recursos de la naturaleza como son el agua, el aire y sobre todo el suelo, base

primordial para la producción agrícola. Los metales no se pueden degradar a través del metabolismo, por ende, los organismos vivos alojan estos compuestos en sus tejidos. Dentro de los metales pesados el, Zn, Ni, Co y Cu son relativamente más tóxicos para las plantas y As, Cd, Pb, Cr y Hg son relativamente más tóxicos para los animales superiores (Rodríguez et al., 2019). “En el suelo, normalmente estos compuestos químicos tienden a acumularse, y de acuerdo a las propiedades químicas del suelo se incrementará o reducirá la biodisponibilidad o toxicidad de estas sustancias metálicas” (Jiménez, 2017).

2.2.3. Biodisponibilidad y movilidad de los metales pesados en el suelo

“La biodisponibilidad se refiere a las interacciones físicas, químicas, y biológicas que determinan la exposición de los organismos a los químicos asociados a los suelos” (Rodríguez et al., 2019).

Los metales pesados en el suelo pueden quedar atrapados en el mismo o también pueden ser movilizados por las soluciones del suelo, siempre en cuando existan condiciones que la favorezcan.

En un estudio de la movilización de metales pesados realizado por Solano (2005), se menciona que la movilidad de los metales en el suelo, es de gran importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea, y difiere de si su origen es natural o antrópico. En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías, pueden quedar retenidos en el suelo, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas, pueden pasar a la atmósfera por volatilización o pueden moverse a las aguas superficiales o subterráneas.

La disponibilidad de los metales pesados depende de las condiciones fisicoquímicas del suelo, tales como el pH y el Eh (potencial de oxidación) así como también de las

propiedades orgánicas e inorgánicas del suelo que influyen en las propiedades de retención de metales por adsorción o precipitación fundamentalmente; además de ello, las especies de plantas y microorganismos presentes en el suelo también tienen la capacidad de extraer, estabilizar y bioacumular los metales pesados (Jiménez, 2017; Lago, 2018).

2.2.4. Toxicidad de los metales pesados en las plantas.

“Cuando las plantas están expuestas a altos contenidos de metales pesados, éstas pueden presentar problemas fisiológicos, tales como reducción del tamaño y vigor en su crecimiento (raíces y demás órganos), de tal manera que su comportamiento y desarrollo normal se ven afectados” (Cargua, 2010; Truchado, 2014). “Asimismo, los metales pesados en las plantas originan en ellas estrés oxidativo y daños a nivel estructural” (Truchado, 2014).

2.2.5. Hortalizas.

Las hortalizas se definen como plantas comestibles cultivadas en alguna huerta con fines de comercialización en mercados internos y externos. Las hortalizas poseen gran variedad lo que las ayuda a tener diferentes propiedades nutricionales además de que hay diferentes hortalizas para todo tipo de paladares; gracias a su sabor y a la variedad de platos en los que las hortalizas pueden prepararse es que forman una parte fundamental en nuestra alimentación y son sumamente saludables (Silva, 2017).

2.2.5.1. La lechuga.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una planta que se cultiva para el uso de su hoja como vegetal, se consume generalmente fresca como complemento de otros alimentos. La lechuga es una planta anual y autógama, de raíz que no llega nunca a sobrepasar los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones, las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio, en unos casos siguen así durante todo su desarrollo

(variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado, el tallo es cilíndrico y ramificado (Vera, 2008). En la tabla 2 se muestra la clasificación taxonómica de la lechuga.

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la lechuga

Reino	Plantae
División	Macrophyllophita
Subdivisión	Macrophyllophitina
Clase	Paenopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteráceae
Género	Lactuca
Especie	sativa
Nombre científico	Lactuca sativa
Nombre común	Lechuga

Fuente: Guamán (2010)

Según un artículo publicado por la revista Finacial Food Trocel (2021) indica que en primavera la población española consume hasta un 86% más lechuga que otros tipos de hortalizas en sus hogares. Según el II Observatorio Greenlovers de Primaflor, un 54% encuestados prefieren consumirlas crudas, para conservar sus nutrientes intactos. Pila Fures (2016), indica que la transferencia de Pb de suelos a planta de lechuga es mayor en las hojas. Debemos tener en cuenta que al ser esta la parte de la planta consumible la disponibilidad de este elemento es alta.

2.2.6. Contaminación de hortalizas por metales pesados.

Según Pila Fures (2016), los metales pesados se bioacumulan en diferentes cultivos, en un pequeño grado se pueden incorporar a organismos vivos (plantas y animales) por vía del alimento y lo pueden hacer a través del agua y el aire como medios de traslocación y dependiendo de su movilidad en dichos medios. Las hortalizas tienen

una periodicidad de riego cercana a dos veces por semana, la planta absorbe la carga contaminante solubilizada con la fuente hídrica del agua que queda en el suelo después del riego.

Una de las vías de contaminación de las hojas y frutos con plomo es la deposición de este metal procedente del polvo atmosférico y de los suelos contaminados. Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimenticia, para luego estar disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimenticia. Otro mecanismo de ingreso de estas sustancias, potencialmente, tóxicas a las plantas es mediante la absorción foliar. La disponibilidad, a través de las hojas de algunos elementos trazas provenientes de fuentes aéreas puede tener un impacto significativo en la contaminación de las plantas, encontrándose aquí el problema de la aplicación de fertilizantes foliares.

Debido a la falta de una Normativa Peruana para la concentración máxima permitida de metales pesados en hortalizas (consumo directo), la investigación se basa en la Norma General del CODEX (1995), para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos, en la cual menciona que las hortalizas de hoja (lechuga) deben tener un nivel máximo de 0.30 mg/kg de peso fresco.

2.2.7. Adsorción de metales pesados a superficies biológicas

La adsorción es un proceso por el cual las moléculas se adhieren a superficies sólidas. La adsorción física no es específica, y las fuerzas que atraen a las moléculas a las

superficies de los sólidos son relativamente frágiles. La energía de activación por adsorción física usualmente no es mayor de una Kcal/gmol. En la adsorción, los iones metálicos son secuestrados de la solución a través de algunos mecanismos como intercambio iónico, quelación, adsorción por fuerzas físicas y atrapamiento de iones. En general, los mecanismos de remoción son diferentes entre las distintas especies de plantas y estarán determinados por el tipo de metal. Sin embargo, la adsorción es sin duda el mecanismo de remoción extracelular más reportado en plantas acuáticas (Stirk y Van Staden, 2001).

2.2.8. Factores de concentración.

2.2.8.1. Factor de Bioconcentración (BCF)

También conocido como Índice de bioconcentración (BCF) o Coeficiente de bioacumulación (BAC); se utiliza para medir la capacidad de captación de un metal por una planta (raíz y parte aérea) con relación a su concentración en el suelo. Para las plantas, el BCF se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales en biomasa, donde valores > 1 indican que las especies son potencialmente hiperacumuladora y aquellas especies exclusoras poseen BCF menores que 1, tanto menores cuanto mayor es su capacidad de exclusión (Audet y Charest, 2007). Existen dos factores de bioconcentración que mencionamos a continuación:

➤ Factor de bioconcentración en la raíz de la planta.

También conocida como Factor de concentración biológica (BCF). Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo (Yoon, 2006).

➤ **Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.**

También conocida como Factor de bioacumulación (BAF), Coeficiente de acumulación biológica (BAC), Factor de remediación (RC). Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo (Vyslouzilová, 2003).

2.2.8.2. Factor de translocación (TF)

Es el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y raíz (Olivares, 2009). Factores de traslocación mayores a 1 sugieren gran capacidad para transportar metales desde las raíces a los vástagos, explicada en su mayor parte por eficientes sistemas de transporte de metales (Zaho, 2002) y, probablemente, por secuestro de metales en las vacuolas de las hojas y en el apoplasto (Lasat, 2000). Las plantas hiperacumuladoras se caracterizan por una relación concentración de metal parte aérea / concentración de metal raíz, mayor a 1. En cambio, las plantas no acumuladoras tienen una más alta concentración de metal en raíces que en hojas y tallos (Baker, 2013).

2.2.9. Fuentes de contaminación de metales pesados en suelos

La presencia de metales pesados dentro de los suelos es algo natural, sin embargo, en los últimos años se vio un incremento acelerado de la concentración de estos metales en los suelos a causa de actividades industriales, agrícolas y distribución de residuos de todo tipo. Generalmente, los excesos de metales pesados generados por la actividad humana suelen ingresar en pequeñas cantidades a los suelos, estos a su vez se acumulan en los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo donde son retenidos fuertemente. Los materiales constitutivos de los suelos como limos y arcillas fueron determinantes en la acumulación y disponibilidad de estos elementos. La contaminación de los suelos por metales pesados, puede ser originada también por la irrigación con agua proveniente de

los desechos mineros, aguas residuales contaminadas por la industria, entre otros. Cuando el contenido de metales pesados en el suelo, alcanzan niveles por encima de límites permitidos, causan efectos inmediatos como la inhibición en el desarrollo y crecimiento normal en las plantas, además, pueden causar un disturbio en otros componentes ambientales, como por ejemplo la disminución de poblaciones microbianas en el suelo, lo cual se denomina como “polución de suelos” (Giuffre, 2005).

La corteza terrestre es la fuente principal de todos los elementos traza naturales en los sistemas ambientales, geológicos, biológicos y marinos. A lo largo de los años, las rocas han estado continuamente sujetas a varios procesos físicos y químicos que resultaron en la formación de capas de suelo y sedimentos; los suelos y sedimentos son el sustrato terrestre y acuático para plantas, las cuales absorben y, en algunos casos, bioacumulan elementos requeridos para su alimentación. Como parte importante de la cadena alimentaria, las plantas son la ruta por la cual los animales y humanos incorporan estos elementos. El agua también es otra fuente significativa de metales; mediante los procesos de erosión, lixiviación, disolución, hidratación y carbonatación de ciertos materiales, el agua moviliza y distribuye los metales pesados. Con respecto a las fuentes atmosféricas, la actividad volcánica, los incendios forestales, el polvo atmosférico y la niebla salina contribuyen a la formación de aerosoles, los cuales son la principal fuente del ciclo global de estos elementos traza. Además, la actividad humana, ha contribuido notablemente al aumento de los niveles naturales de metales en las aguas, sedimentos, flora y fauna, tanto marinas como epicontinentales. Aunque la concentración de metales pesados procedentes de fuentes naturales, como la meteorización química de las rocas, se encuentre en estado estacionario a escalas cortas de tiempo, no ocurre lo mismo con la emisión antropogénica, la cual es causante del aumento continuo de la concentración ambiental de algunos de estos metales pesados, existiendo una gran variedad de fuentes

antropogénicas emisoras de metales pesados, como las extracciones de minerales, fundición, agricultura, ganadería y quema de combustibles (García-Navarro, 2003).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Fitotoxicidad.

La fitotoxicidad es un efecto detrimental, nocivo o dañino de una sustancia química que se puede expresar en distintos órganos en la planta. Es una característica indeseable no siempre evitada en el desarrollo de un nuevo compuesto químico (Carmona, 2000).

2.3.2. Fitorremediación.

Es el aprovechamiento de la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar y estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos o compuestos derivados del periodo (Yesenia, 2015).

2.3.3. Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

Un Estándar de Calidad Ambiental (ECA), es la medida que establece el nivel de contracción o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa significativo para la salud de las personas ni al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2000).

2.3.4. Límites Máximos Permisibles (LMP).

El Límite Máximo Permisible (LMP), es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2000).

2.3.5. Muestreo Ambiental.

Los metales pesados son contaminantes inorgánicos prioritarios cuya acumulación y distribución en cuerpos de agua dulce pueden volverlos potencialmente peligrosos, produciendo toxicidad al llegar a organismos vivos que componen la cadena trófica.

El muestreo ambiental consiste en tomar muestras representativas que permitan caracterizar el componente ambiental en estudio, las cuales presentan las mismas características o propiedades del componente que se está evaluando. Las muestras tomadas son enviadas a un laboratorio acreditado (OEFA, 2015).

2.3.6. Bioacumulación.

Concentración resultante acumulada en el ambiente o en los tejidos de organismos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos por todas las rutas de exposición por ejemplo por aire, agua, suelo, sedimento y alimento. La acumulación se da debido a su persistencia, la baja o nula alteración por el metabolismo del organismo y/o diversas características fisicoquímicas del contaminante (MINISTERIO DEL AMBIENTE, GLOSARIO DE TERMINOS, 2016).

2.3.7. Metales pesados.

Los metales pesados son un grupo de elementos caracterizados por poseer propiedades metálicas y una densidad superior a 5. Aunque en este grupo se incluyen varios elementos esenciales para el crecimiento, reproducción y/o supervivencia de los organismos vivos, otros muchos con gran importancia económica e industrial pueden ocasionar efectos perjudiciales (Durán, 2010).

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. Ubicación de la investigación.

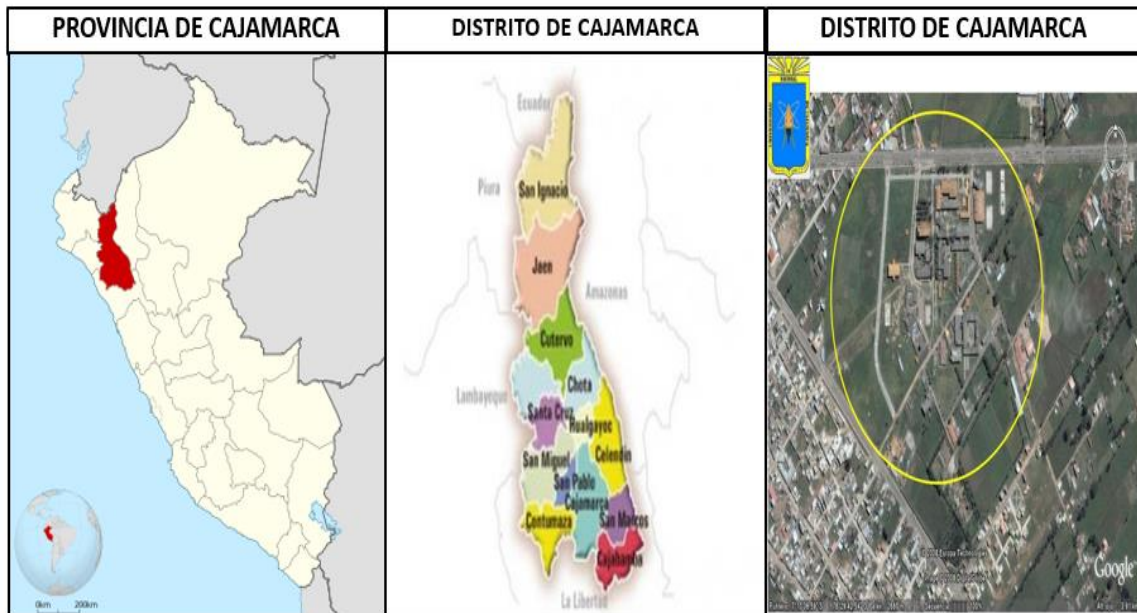


Figura 1. Ubicación del experimento

Fuente: Google Earth, 2024

La presente investigación de carácter experimental se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la ciudad de Cajamarca entre los paralelos $4^{\circ} 33' 7''$ y $8^{\circ} 2' 12''$ latitud sur y los meridianos $78^{\circ} 42' 27''$ y $77^{\circ} 44'$ de longitud oeste de Greenwich, a una altitud de 2720 m.s.n.m. Las muestras de suelo fueron preparadas en el silvo-agropecuaria de la Universidad Nacional de Cajamarca.

El experimento se desarrolló en el vivero de la Facultad de Ingeniería Forestal, donde se acondicionó los módulos de experimentación con las muestras de suelo, en los cuales se han sembrado las semillas botánicas de *Lactuca sativa* L. Todo ello con la finalidad de proteger las muestras de posibles cambios en el clima y lograr una óptima realización del estudio (Fig. 1).

3.2. Material y equipamiento.

➤ Material experimental.

- Sustrato: preparada en el silvo-agropecuario de la Universidad Nacional de Cajamarca y estará compuesto por el 90 % de suelo agrícola y 10 % de turba.
- Semilla botánica de Lechuga (*Lactuca sativa* L.). Marca Hortus
- Solución de nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂]: se preparó cuatro soluciones de nitrato de plomo a concentraciones de 0 ppm, 40 ppm, 70 ppm, 140 ppm.

➤ Equipos.

- pH-metro portátil:

Marca: Metrohm

Resolución: 0.1 pH digital

Rango: 0.00 a 14.00 pH

Precisión 20 °C : ±0.01 pH

- Balanza Digital:

Marca: Ohaus

Modelo: T72P

Medición Máx.: 75 Kg

Precisión: 1g

- Laptop:

Marca: Toshiba

Modelo: Skullcandy Core I3

➤ Otros

- Agua destilada
- Herramientas de labranza (pala, pico)

- Sacos de rafia de 50 kg de capacidad
- 4 Regaderas x 6 L (4)
- Bidones de plástico de 20 L (6)
- Balanza analítica con sensibilidad de 0,0001g, modelo: Mettler Toledo
- Regla graduada de 30cm
- Módulo experimental: Se confeccionó 12 módulo experimental de madera, con medidas de 1 m largo x 1 m de ancho x 20 cm de profundidad, el cual va a ser revestido con plástico para impermeabilizarlo (Fig. 2).

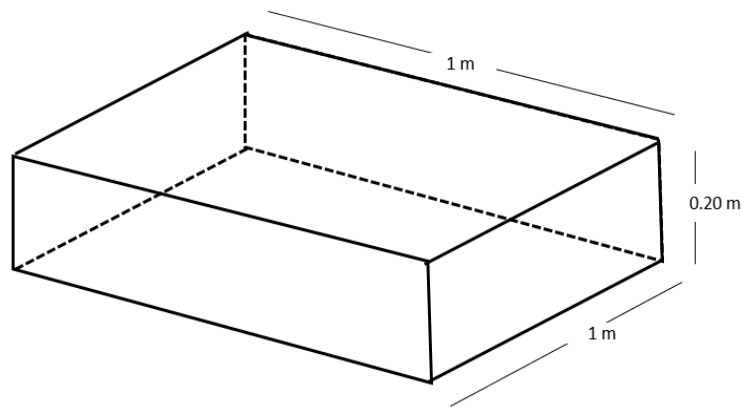


Figura 2. Modelo de los módulos de experimentación

Fuente: Google, 2024

3.3. Métodos de investigación

➤ Tipo de investigación.

La presente, fue una investigación de corte experimental, caracterizada por una secuencia de análisis cuantitativos y muestras de raíz, tallo, de lechugas y muestras del suelo.

➤ Factores, niveles y tratamiento en estudios.

Factor de dilución de la solución aplicada: Dosis de solución de nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂]

d0: Sin solución de nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂]: 0 ppm/l Control

d1: Con solución de nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂]: 35 ppm/l

d2: Con solución de nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂]: 70 ppm/l

d2: Con solución de nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂]: 140 ppm/l

Las dosis se aplicaron por triplicado para cada tratamiento.

Factor F: Frecuencia de aplicación de la solución de nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂]

f1: 30 días ver tabla 2.

Tabla 2. Frecuencia de aplicación de tratamiento de estudio

Tratamiento		
Nº	Clave	Descripción
1	d0f1	Solución de nitrato de plomo [0 ppm/l]
2	d0f1	Solución de nitrato de plomo [35 ppm/l]
3	d0f1	Solución de nitrato de plomo [70 ppm/l]
4	d0f1	Solución de nitrato de plomo [140 ppm/l]

Cada dosis se aplicó por triplicado haciendo un total de 12 módulos ver figura 3.

Los tratamientos se aplicaron cada 30 días. Las dosis aplicadas se calcularon en función de las concentraciones establecidas en los estándares de calidad ambiental de suelo para Pb DS 011-2017-MINAM valor límite de 70 mg/kg para suelos agrícolas.

➤ **Procedimiento del desarrollo de la investigación.**

Para el presente trabajo de investigación experimental se realizaron los siguientes pasos:

- **Confección de módulos experimentales.** Se confeccionó módulos experimentales de madera, con medidas de 1 m de largo x 1 m de ancho x 20 cm de profundidad, la cual fue revestida con plástico para impermeabilizarlo y evitar pérdidas en la solución.

- **Preparación de sustrato.** Se preparó un sustrato compuesto por 90 % de suelo y 10 % de turba, para abastecer los módulos experimentales de madera en razón de 48 kg de suelo agrícola por cada módulo. Esto con el objetivo de uniformizar los sustratos utilizados dentro de las parcelas y así tener una composición uniforme de los sustratos en las 12 parcelas experimentales.
- **Caracterización inicial de muestras.** Se analizó las muestras de sustrato, las cuales fueron enviadas para su análisis físico químico (incluye metales pesados Pb) al Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca. De esta forma se determinó la concentración inicial de Pb en el sustrato antes de la aplicación de los tratamientos
- **Preparación de almacigo de lechugas.** La semilla botánica de lechuga se distribuyó en el sustrato húmedo, “chorro continuo” dentro de líneas de distancia a 5 cm y con una profundidad promedio de 0.5 cm. Por cada parcela experimental se sembraron un promedio de 10 a 15 semillas. Del porcentaje de germinación con las semillas aplicadas fue de 100 % en cada parcela.
- **Trasplante.** Las plantas de lechuga con dos pares de hojas verdaderas se trasplantaron al sustrato húmedo contenido en los módulos de experimentación, a un distanciamiento de 0.20 x 0.30 m.
- **Aplicación de la solución de nitrato de plomo.** Se preparó cuatro soluciones de nitrato de plomo (tabla 3), las cuales se aplicaron en cantidades suficientes para humedecer al sustrato cada 30 días a partir del “prendimiento” del cultivo. De acuerdo al diseño randomizado presentado en la figura 05. El procedimiento se realizó en tres replicas por cada solución. Las parcelas fueron regadas semanalmente con agua destilada para evitar el aporte de Pb del agua de la red de la universidad (el agua que abastece a la universidad es subterránea).

- **Muestreo de planta y sustrato.** Ciento diez días después del “prendimiento”, se extrajeron muestras aleatorias de plantas y sustrato de cada tratamiento en las cuales se analizó el Pb. Para este propósito las plantas fueron segmentadas en raíces, tallos y hojas.
- **Evaluaciones.**
 1. Concentración de plomo en el suelo: Se colectaron muestras de suelos compuestas de cada tratamiento hasta generar un composito de cada tratamiento. Se colectó una cantidad de 250 gr por cada parcela, se almacenaron en bolsas ziploc luego fueron rotuladas y remitidas al laboratorio. Este procedimiento se realizó en tres ocasiones una al inicio del experimento, la segunda muestra a los 30 días y la última a los 110 días de haber sembrado los plántones.
 2. Concentración de plomo en la raíz, tallo y hojas: Para cada muestra de planta se colectaron 5 plántones de cada parcela, las cuales fueron previamente medidas las raíces y los tallos. Las muestras se almacenaron en bolsas ziploc para su envío al laboratorio por separado (raíz y tallo). El análisis de plomo en la planta se realizó a los 30 días de haber sido sembrado y a los 110 días.
 3. Índice de crecimiento:

Se midieron la altura de la planta: distancia entre el “cuello” de la planta y ápice de la hoja más alta.

Longitud de la raíz: distancia entre el “cuello” de la planta y el ápice de la raíz más larga (raíz principal).

4. Se evaluaron visualmente síntomas atípicos en la biomasa aérea y subterránea reflejada, a través de necrosamientos, clorosis, deformación y otros, en la planta de cada tratamiento. Ver anexo 2 panel fotográfico.

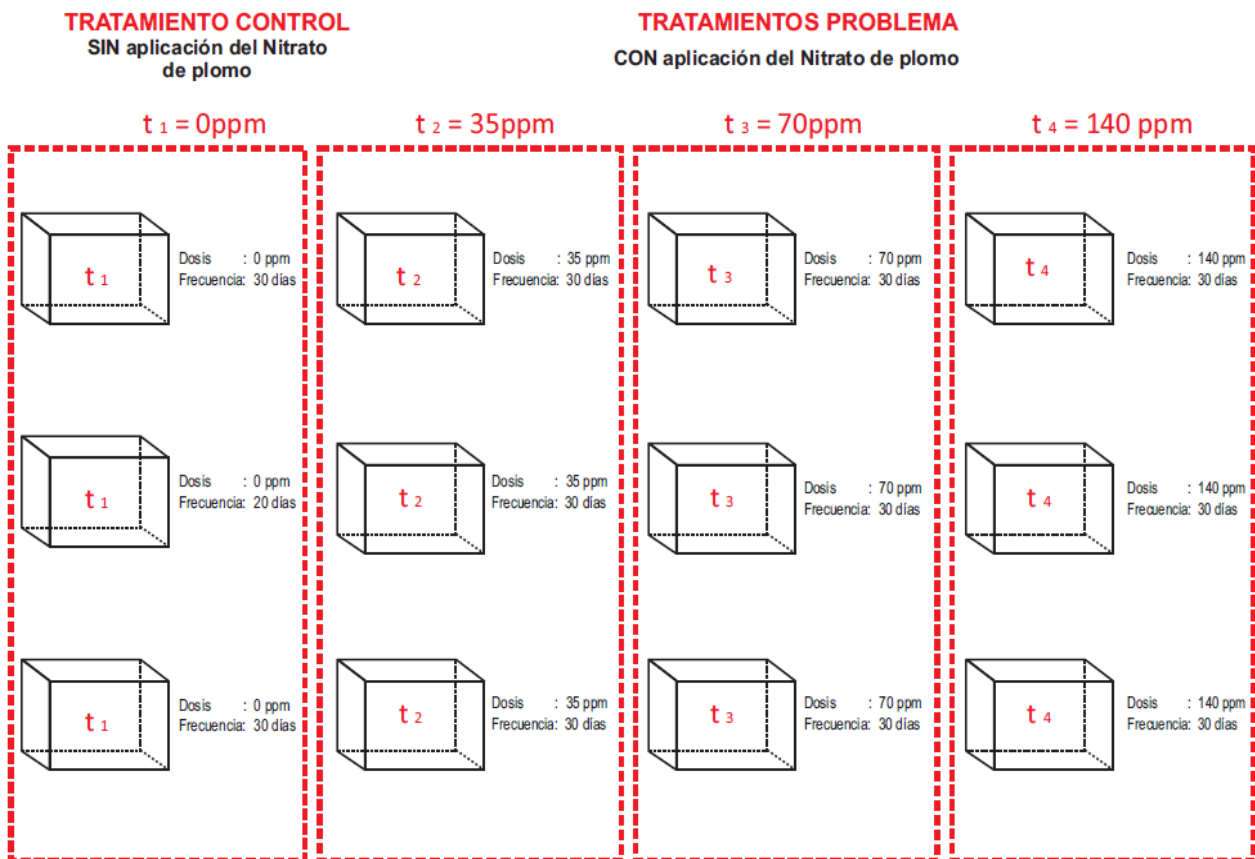


Figura 3. Dosis y frecuencia de aplicación del Nitrato de plomo en cada uno de los módulos de experimentación.

3.4. Unidad de análisis, Población y muestra.

Unidad de análisis

La planta de lechuga. Raíz y tallos por separado. Muestras de Suelo.

Población: Es el cultivo de la lechuga, compuesto por 118 plantones divididos en 12 parcelas experimentales.

Muestra

Se compone de raíces y hojas de plantas de lechuga, previamente separadas y medidas. Una muestra por triplicado de las lechugas por cada uno de los 4 tratamiento a

los 30 días y a los 100 días de haber sido sembradas. Una muestra de suelo utilizado en el experimento antes de ser contaminado y a los 110 días de haber sido contaminado por cada tratamiento.

3.5. Toma y envió de muestras.

Los procedimientos de colecta de muestra se especifican en el apartado de evaluaciones líneas arriba. A continuación, se describen los métodos utilizados por el laboratorio para el análisis de Pb en suelo y en los tejidos vegetales.

➤ Métodos usados para el análisis de Pb en suelo y hoja y raíz de lechuga.

1. Muestras de Suelo:

Para la determinación de metales pesados se usó el método de ensayo: EPA Method 200.7 Rev.4.4, 1994 (validado) 2014. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

2. Muestras de Lechuga:

Para las hoja y raíz, la determinación de metales pesados se usó el método de ensayo: EPA Method 200.7 Rev.4.4, 1994 (validado) 2014. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

3. Las muestras de suelo se caracterizan según el siguiente esquema

Se analizaron los parámetros del suelo de la tabla 4 en un laboratorio de suelos para de esta forma poder contrastar que parámetro fue el que más influyo en la absorción de Pb por las plantas. Ver anexo 3 resultados de laboratorio de suelos.

Se tomó una muestra de suelo compuesta (homogénea) de todos los módulos experimentales, antes de iniciar el trasplante de las lechugas; luego se procedió con la determinación del Pb.

Tabla 3. *Parámetros fisicoquímicos del suelo*

Parámetros	Unidades
Fosforo (P)	Ppm
Potasio(K)	Ppm
pH	
Materia Orgánica (M.O)	%
Aluminio (Al)	meq/100g
Arena	%
Limo	%
Arcilla	%
Clase	Textura

4. La muestra de agua se caracterizó según el siguiente esquema.

Para el regadío de cada uno de los módulos se usó 7 L de agua destilada, la cual se aplicó dos veces por semana. Se aplicó agua destilada para evitar la adición de Pb del sistema de abastecimiento de agua de la Universidad la cuenta con un sistema de abastecimiento de agua subterránea. Esto evita la interferencia de factores externos en el aporte de este compuesto en el experimento.

5. La muestra de hoja y raíz de lechuga se caracterizó según el siguiente esquema.

Tanto para la hoja y raíz de la lechuga (*Lactuca sativa* L.), se tomaron muestras a los 30 días y 110 días después del trasplante. Las muestras de hoja y raíz de los 30 días se tomaron antes de la intoxicación con nitrato de plomo de cada tratamiento y las últimas muestras (110 días) se tomaron a los 10 días de la última intoxicación, luego se procedió con la determinación de los metales pesados.

3.6. Cálculo de los factores de bioconcentración, bioacumulación y translocación.

El cálculo del factor de bioacumulación (BAF's) se hace para estimar la relación entre los residuos de plomo en las plantas de lechuga (hoja y tallos) y las concentraciones medidas en el medio donde viven (suelo). Los factores de bioconcentración BCF se calcularon dividiendo la concentración del plomo en la raíz con la del suelo respectivo. Los factores de traslocación (TF) a los diferentes órganos vegetativos se calcularon dividiendo la concentración en el órgano de interés (hojas y tallos) entre la concentración en la raíz como los realizado en la investigación de Medina (2014). Los factores de bioconcentración y traslocación indicarán qué especies de plantas pueden ser consideradas acumuladoras, tolerantes o exclusoras de los elementos de interés. Las plantas con $BAF > 1$, $BCF > 1$ y $TF > 1$ son considerados como acumuladoras o híper acumuladoras (si las concentraciones exceden 0,1 %), las que presentan valores entre 0.1 y uno, respectivamente, son consideradas como tolerantes y las que presentan valores < 0.1 se consideran como plantas exclusoras.

$$BCF = \frac{\text{Concentración de plomo en la raíz}}{\text{Concentración de plomo en Suelo}}$$

$$BAF = \frac{\text{Concentración de plomo en las Hojas y Tallos}}{\text{Concentración de plomo en Suelo}}$$

$$TF = \frac{\text{Concentración de plomo en la Hoja y Tallos}}{\text{Concentración de plomo en la Raíz}}$$

3.7. Diseño estadístico

Para el análisis de las muestras se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra es un procedimiento de "bondad de ajuste", que permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene

la distribución teórica especificada, es decir, contrasta si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada García (2010). Todos los resultados de las pruebas estadísticas detalladas se muestran en el anexo 3.

Esta prueba se aplicó para analizar los resultados de las mediciones de tamaños de las raíces y tamaño de las hojas de las lechugas medidas en el experimento.

➤ **PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV**

Cuando la prueba Kolmogorov-Smirnov kolmogorov se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de la población, el estadístico de prueba es la máxima diferencia:

$$D = \text{máx}|F_n(x) - F_0(x)|$$

siendo $F_n(x)$ la función de distribución muestral y $F_0(x)$ la función teórica o correspondiente a la población normal especificada en la hipótesis nula.

La distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula y los valores críticos de este estadístico están tabulados. Si la distribución postulada es la normal y se estiman sus parámetros, los valores críticos se obtienen aplicando la corrección de significación propuesta por Lilliefors (Universidad de Barcelona, 2020).

La prueba de normalidad como se indicó líneas arriba se aplicó para probar la Normalidad de los tamaños de las Hojas, a diferentes concentraciones de Pb. En segundo lugar, se analizó la normalidad de los tamaños de las Raíces, a diferentes concentraciones de Pb.

➤ **PRUEBA DE ANOVA**

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos

una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés (Universidad de Barcelona, 2020).

El Anova requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k = \mu$$

$$H_1: \exists \mu_\delta \neq \mu_j = 1, 2, \dots, K$$

Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.

Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes. Las poblaciones tienen todas igual varianza (homoscedasticidad) (Universidad de Barcelona, 2020).

El ANOVA se basa en la descomposición de la variación total de los datos con respecto a la media global (SCT), que bajo el supuesto de que H_0 es cierta es una estimación obtenida a partir de toda la información muestral, en dos partes:2

- Variación dentro de las muestras (SCD) o Intra-grupos, cuantifica la dispersión de los valores de cada muestra con respecto a sus correspondientes medias (Universidad de Barcelona, 2020).
- Variación entre muestras (SCE) o Inter-grupos, cuantifica la dispersión de las medias de las muestras con respecto a la media global (Universidad de Barcelona, 2020).

Las expresiones para el cálculo de los elementos que intervienen en el Anova son las siguientes:

Media Global

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}}{n}$$

Variación total

$$SCT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{X})^2$$

Variación intra-grupos

$$SCD = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

Variación intra- grupos

$$SCE = \sum_{j=1}^k (\bar{X}_j - \bar{X})^2 n_j$$

Siendo x_{ij} el i -ésimo valor de la muestra j -ésima; n_j el tamaño de dicha muestra y su media.

Cuando la hipótesis nula es cierta $SCE/K-1$ y $SCD/n-K$ son dos estimadores insesgados de la varianza poblacional y el cociente entre ambos se distribuye según una F de Snedecor con $K-1$ grados de libertad en el numerador y $N-K$ grados de libertad en el denominador. Por lo tanto, si H_0 es cierta es de esperar que el cociente entre ambas estimaciones será aproximadamente igual a 1, de forma que se rechazará H_0 si dicho cociente difiere significativamente de 1 (Universidad de Barcelona, 2020).

Esta prueba se aplicó para probar que todas las concentraciones de Plomo generan el mismo tamaño de las hojas y de raíces.

➤ PRUEBA DE CORRELACIÓN DE PERSON

El coeficiente de correlación de Pearson es la principal medida de asociación lineal entre dos variables cuantitativas y se define como:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{X}_1)(x_{2i} - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{X}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{X}_2)^2}}$$

Este coeficiente, cuyo valor no depende de las unidades de medida de las variables, está acotado entre -1 y +1; su signo indica la dirección, positiva o negativa, de la asociación lineal y su valor absoluto la intensidad de la misma. En caso de asociación lineal perfecta toma el valor |1| ; si no hay asociación lineal toma el valor 0, lo cual no implica que no pueda haber asociación de otro tipo (Universidad de Barcelona, 2020).

La prueba de significación del coeficiente de correlación de Pearson puede plantearse:

- Bilateral (a doble cola) si se contrasta la hipótesis nula de ausencia de asociación lineal sin especificar de antemano en la hipótesis alternativa la dirección o sentido de la asociación, en caso de que ésta exista (Universidad de Barcelona, 2020).
- Unilateral (a una sola cola) si se contrasta la hipótesis nula especificando de antemano en la hipótesis alternativa la dirección de la asociación. Si se desea un contraste unilateral es necesario activar la opción correspondiente.

El análisis correlacional se aplicó para probar si existe una relación directa entre los parámetros de suelo analizados como ph, Fosforo (P), Potasio(K), Materia Orgánica (M.O), Aluminio (Al), Arena, Limo, Arcilla, y los factores de bioconcentración, traslocación y bioacumulación de Pb en las plantas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo del desarrollo de la parte experimental de esta tesis, se ha realizado numerosos análisis, tal y como se define en el capítulo anterior, generando datos que comprenden los controles basales y los resultados que corresponden a los tratamientos, propios de la metodología de esta investigación; dada la importancia de estos datos, cuya interpretación dará lugar a las conclusiones, se hace necesario un correcto tratamiento de los datos, con la finalidad de conseguir una relativa facilidad en cuanto a la extracción de conclusiones.

4.1. Resultados de los análisis fisicoquímicos del suelo.

La muestra de suelo analizada es compuesta, obtenida de todos los módulos experimentales, teniendo los siguientes resultados: El pH del suelo es ligeramente alcalino de 7.4 con un contenido de materia orgánica de 6.05% y un contenido de arena de 55%, limo 12%, arcilla 33%. En resultado de laboratorio se muestra en el anexo 1.

En la tabla 4 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de suelos inicial. Los valores de fosforo es 67.73 ppm y de potasio 350 ppm. Los resultados muestran en la estructura del suelo un porcentaje mayor de arena con 55% y bajos contenidos de Materia Orgánica con 6.05 %.

Tabla 4. *Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo inicial*

Parámetros	Unidades	Concentración
Fosforo (P)	ppm	67.73
Potasio(K)	ppm	350
pH		7.4
Materia Orgánica (M.O)	%	6.05
Arena	%	55
Limo	%	12
Arcilla	%	33
Clase	Textura	F Ar A

4.2. Resultados de concentración de Pb en suelo, hojas y raíz.

En la tabla 5, se muestra que la concentración inicial de Pb en suelo de todos los módulos fue de 36.68 mg/kg. A los 30 días de evaluadas las plantas seleccionadas de cada los módulos en una muestra compuesta, se nota que el suelo redujo su concentración a 26.66 mg /kg. Lo que indicaría que durante el desarrollo de la planta esta absorbe el metal del suelo. Durante los diferentes tratamientos aplicados en los siguientes 110 días se observa en las réplicas un incremento notorio en la concentración de Pb en el suelo como era de esperarse. El tratamiento control t1 no presento una variación notable en los análisis posteriores realizados al suelo. No obstante que en el resto de tratamientos se presenta un incremento de las concentraciones Pb (se tomó como valor final el promedio de concentración de las réplicas) en relación con la concentración al día 30 de inicio del muestreo en el siguiente orden: t4 con 289.37mg/kg>t3 con 89.55 mg/kg >t2 con 49.24 mg/kg>t1 con 0.08 mg/kg. La norma peruana Estándar de calidad ambiental de suelos DS 011-2017 del MINAM establece que la concentración umbral de Pb en suelos agrícolas no debe sobrepasar los 70 mg/kg, los resultados de los tratamientos t4, t3 y t2 superan lo establecido en la norma nacional; al realizar esta comparación de los tratamientos t4, t3 y t2, es fácilmente demostrable que el suelo a superado la carga critica del contaminante (Pb), esto nos indica 2 cosas importantes: 1) El suelo, como sistema ambiental, ya no puede depurar o degradar al contaminante (Pb); 2) Las concentraciones excedentes de plomo se tendrían que transferir de un sistema ambiental a otro y a adsorberse en los organismos vegetales como es el de la lechuga, integrándose en la cadena trófica.

En los resultados de los análisis realizados a las hojas se puede indicar lo siguiente: La concentración inicial de Pb en las hojas fue de 5.30 mg/kg a los 30 días de tomada la primera muestra (una vez que las plantas alcanzaron un tamaño óptimo para el muestreo).

El incremento de concentración de Pb en las hojas de lechuga en los tratamientos fue muy notorio con referencia al control. Los resultados de concentración obtenidos por tratamiento en orden decreciente de mayor a menor fueron t4 con 63.94 mg/kg >t3 con 58.20 mg/kg >t2 con 14.08 mg/kg >t1 con 5.59 mg/kg. En la muestra control no se determinaron variaciones muy significativas entre la concentración inicial y la final presentando un incremento de 0.29 mg/kg a los 110 días de realizado el muestreo. Todos los resultados obtenidos superaron los valores máximo permisibles de Pb del Codex Alimentario (0.3 mg/kg) inclusive la muestra control t1. El plomo, ya se encuentra en la cadena trófica, y por su característica de metal pesado y bioacumulable, esto conlleva un alto riesgo para la salud del consumidor

En las raíces la concentración inicial a los 30 días de realizado el muestreo inicial fue de 12.08 mg/kg. Con respecto al control t1 no se notó un incremento significativo obteniendo una concentración final promedio a los 110 días de 12.31 mg/kg y un incremento de 0.23 mg/kg. Los tres tratamientos evidencian un incremento significativo de Pb con concentraciones de mayor a menor en t4 con 50.93 mg/kg > t3 con 48.74 mg/kg > t2 con 35.16 mg/kg > t1 con 12.31 mg/kg.

Tabla 5. Concentración de plomo en suelo, hoja y raíz de lechuga (*Lactuca sativa L.*)

TRATAMIENTO	MATRIZ	Concentración inicial en suelo mg/kg de Pb	Muestra a los 30 días de sembrada la planta	Resultados del análisis de Pb a los 110 días en cada una de las réplicas realizadas en suelos, hoja y raíz en mg/kg			Promedio de concentración de las 3 réplicas mg/Kg	ECA para suelo DS 011-2017 MINAM en mg /Kg	Valores máximos permisibles de Pb en mg/ Kg en hortalizas de hoja según CODEX Alimentario 1995	Incremento de concentración en mg/kg del muestreo a los 30 días hasta los 110 días de análisis
		Concentración de Plomo (mg/kg)								
				Replica1	Replica 2	Replica 3				
t1 0 ppm Control	Suelo	36.68	26.66	26.730	26.250	27.250	26.74	70.00	0.30	0.08
	Hoja	-	5.30	5.720	5.140	5.905	5.59			0.29
	Raíz	-	12.08	12.245	12.041	12.651	12.31			0.23
t2 35 ppm	Suelo	36.68	26.66	75.690	76.270	75.745	75.90			49.24
	Hoja	-	5.30	14.220	14.010	14.013	14.08			8.78
	Raíz	-	12.08	35.190	35.072	35.218	35.16			23.08
t3 70 ppm	Suelo	36.68	26.66	116.162	115.485	116.972	116.21			89.55
	Hoja	-	5.30	58.385	58.310	57.890	58.20			52.90
	Raíz	-	12.08	47.996	49.120	49.110	48.74			36.66
t4 140 ppm	Suelo	36.68	26.66	315.871	316.215	316.010	316.03			289.37
	Hoja	-	5.30	63.703	64.010	64.121	63.94			58.65
	Raíz	-	12.08	50.678	51.210	50.915	50.93			38.85

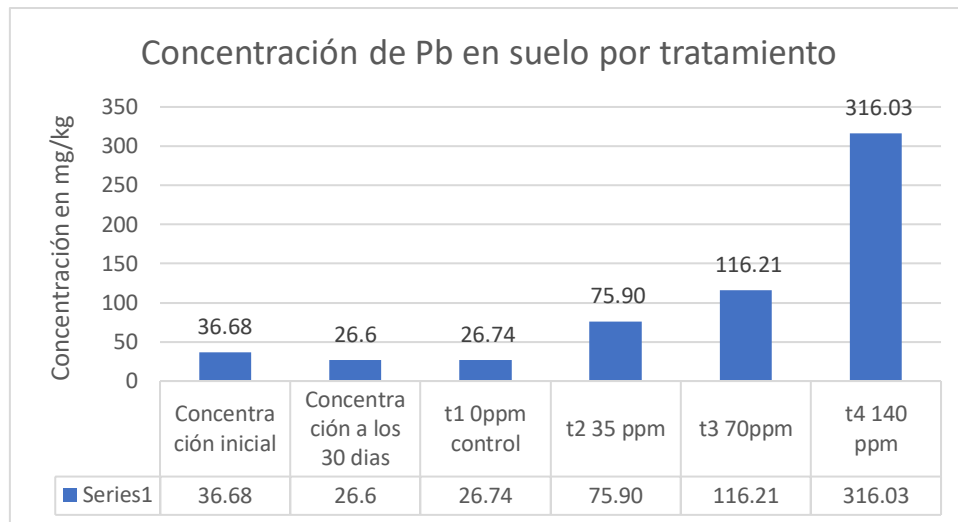


Figura 4. Concentraciones de Pb por tratamiento

Como se observa en la figura 4 las concentraciones de Pb en el suelo tienen un incremento significativo entre tratamientos. Siendo el t4 con mayor cantidad del metal con 316 mg/kg. La concentración inicial de Pb en el suelo se vio reducida en el análisis a los 30 días debido a la absorción de las plantas durante su periodo de crecimiento. Esto corrobora lo descrito por Cabezas (2004) donde las plantas de veza, cebada y girasol fueron incrementando las concentraciones de Zn y Cu en sus hojas y raíces al incrementar la concentración metales en los lodos aplicados en los tratamientos

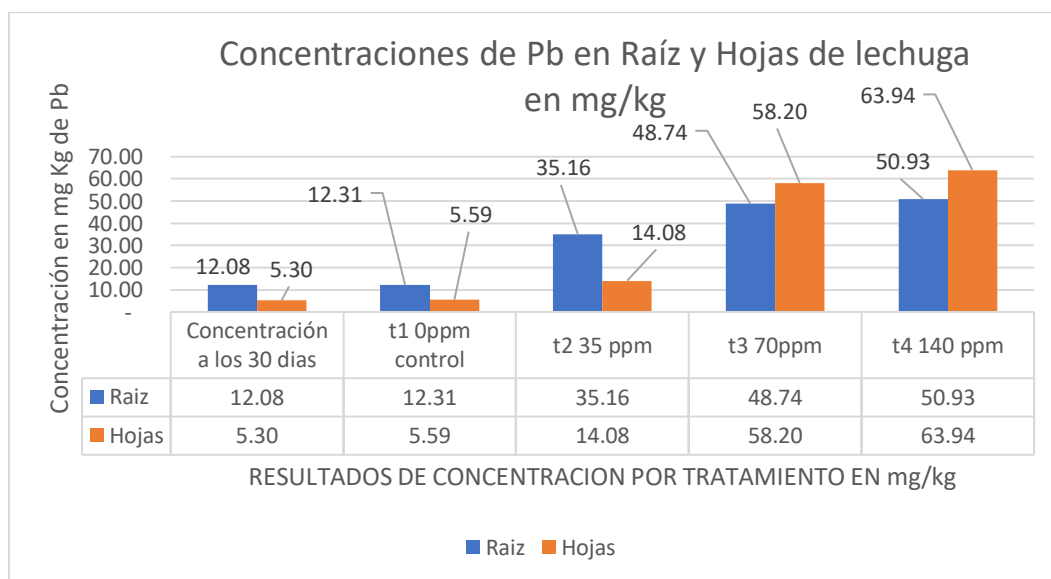


Figura 5. Concentraciones de Pb en raíz y hojas de Lechuga.

Como se observa en la figura 5 la concentración de Pb en la primera muestra realizada los 30 días se presenta una mayor concentración. Conforme la dosis se incrementa en el suelo hasta el tratamiento t2 la raíz presenta una mayor concentración, en los tratamientos t3 y t4 el metal aumenta en las hojas a los 110 días de realizado el muestreo. Se puede indicar que las concentraciones de Pb en las plantas analizadas han ido aculando el metal hasta llegar a niveles tóxicos para salud de los humanos. Aunque la evaluación se realizó en condiciones controladas debemos suponer que de estar presente metales tóxicos en las aguas que riegan este tipo de hortalizas están tienden a absorber los contaminantes presentes en este medio como lo indica (Olivares & Peña, 2009), (Juárez 2012) y (Reyes, 2016), en sus estudios.

4.3. Cálculo de Ganancia porcentual de Ganancia de Pb en raíz y hojas de lechuga por tratamiento

Teniendo en cuenta lo descrito por (Burt et al., 2003), la capacidad de absorción de las plantas es muy variable, por lo cual no podríamos indicar a través de las concentraciones analizadas (ya que son muy distintas y dependerán de biodisponibilidad individual al Pb) que tanto acumulo la lechuga en su raíz y hojas en proporción a su concentración inicial (día 30 del primer muestreo antes del tratamiento). Para establecer un mecanismo que nos permita estimar que tanto fue la proporción con lo que la planta acumulo el Pb se estimó un cálculo porcentual de la ganancia de mg/kg adquiridos por tratamiento en cada parte de la planta en relación con la concentración inicial de Pb en la planta. Los resultados se muestran en la tabla 6 y figura 6. Esto sería relevante ya que la acumulación de este metal al ser la lechuga un producto de consumo de la dieta de las personas, podría poner en riesgo la salud de la población pudiendo ser la causa de cáncer (Gutiérrez 2017).

Tabla 6. Cálculo del valor porcentual de ganancia de Pb en raíz y hojas de lechuga por tratamiento.

Parte de la planta	Concentración a los 30 días	t1 0ppm control	Ganancia en mg/kg en referencia a la concentración inicial	Ganancia expresada en %	t2 35 ppm	Ganancia en mg/kg en referencia a la concentración inicial	Ganancia expresada en %	t3 70ppm	Ganancia en mg/kg en referencia a la concentración inicial	Ganancia expresada en %	t4 140 ppm	Ganancia en mg/kg en referencia a la concentración inicial	Ganancia expresada en %
Raíz	12.08	12.31	0.23	1.9	35.16	23.08	191.1	48.74	36.66	303.5	50.93	38.85	321.6
Hojas	5.30	5.59	0.29	5.48	14.08	8.78	165.78	58.20	52.90	998.43	63.94	58.65	1,106.9

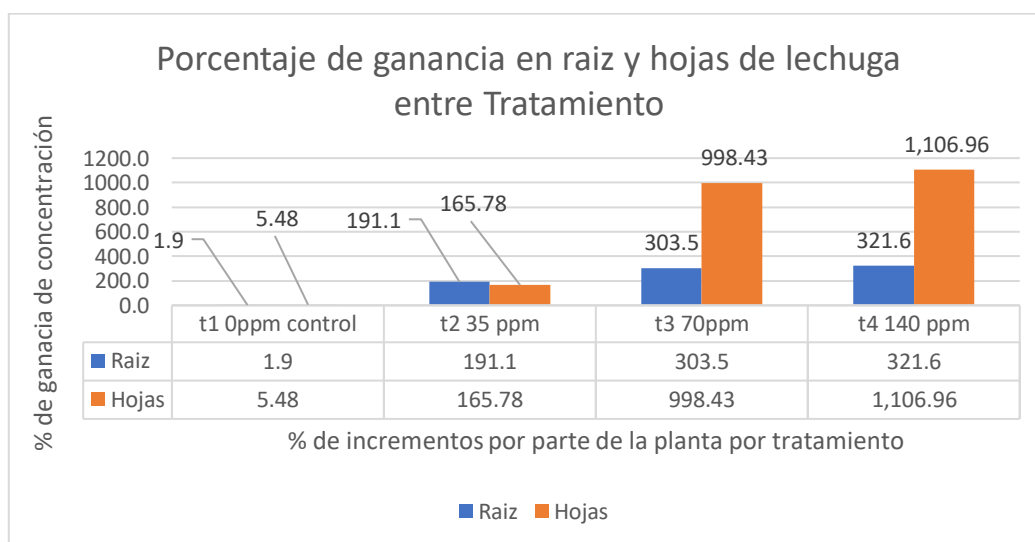


Figura 6. Representación gráfica del cálculo del valor porcentual de ganancia de Pb en raíz y hojas de lechuga por tratamiento.

Como se observa en la tabla 6 y figura 6 el mayor porcentaje de ganancia se obtuvo en el tratamiento 4 en las hojas con 1 106.96 % y en la raíz con 321.6 %. Los porcentajes de ganancia. El control t1 presento el menor incremento porcentual. Todos los tratamientos presentaron incrementos porcentuales por encima del 100%.

Tabla 7. Resultado de factor de Bioconcentración (BCF), Translocación (TF) y Bioacumulación (BAF) a los 110 días de analizadas las plántulas.

Tratamiento	Parte de la planta	Factor analizado	Resultado por Réplica 1	Resultados por replica 2	Resultado por réplica 3	PROMEDIO
t1 0 ppm Control	Hoja	BAF	0.214	0.196	0.217	0.209
	Raíz	BCF	0.458	0.459	0.464	0.460
		TF	0.467	0.427	0.467	0.454
t2 35 ppm	Hoja	BAF	0.188	0.184	0.185	0.186
	Raíz	BCF	0.465	0.460	0.465	0.463
		TF	0.404	0.399	0.398	0.400
t3 70 ppm	Hoja	BAF	0.503	0.505	0.495	0.501
	Raíz	BCF	0.413	0.425	0.420	0.419
		TF	1.216	1.187	1.179	1.194
t4 140 ppm	Hoja	BAF	0.2	0.202	0.203	0.202
	Raíz	BCF	0.16	0.16	0.16	0.2
		TF	1.257	1.250	1.259	1.255

Como se observa en la tabla 7 se puede evidenciar un incremento notorio entre los factores de traslocación a partir del tratamiento tres y cuatro en relación con el control. Los valores del factor de traslocación en ambos tratamientos fueron los más altos del estudio como era de esperarse. Esto nos indica que la planta está movilizand o el metal desde su raíz a la parte aérea de la planta, los valores de traslocación superiores a uno (en negrita) indican una alta capacidad de bioacumulación. En cuanto a los demás factores no se evidencio una diferencia significativa entre las medias por cada tratamiento en cuanto a los BAF y el BCF esto significa que la planta tiene una clara tendencia a transportar el mineral a la parte aérea y no la mantiene en la raíz. Podemos indicar que la planta es acumuladora de Pb en su parte aérea en los tratamientos t3 y t4 todos con valores de traslocación superior a uno. En los estudios de (Medina y Montano 2013), se aplicó el junco y la cortadera para establecer los factores de bioacumulación y traslocación de metales pesados, dando como resultados que estas especies pueden ser acumuladoras de As, Cd, Pb; según los datos obtenidos la lechuga también podría considerada dentro de

este grupo de especies y todo dependería de las concentraciones de los metales en el suelo donde crezca. Esto debe ser considerado por los agricultores ya que al ser una planta comestible se podría poner en riesgo la salud de los consumidores. Partiendo de lo descrito es importante siempre realizar análisis de la concentración de metales pesados en suelos donde se evidencia una alta mineralización o fuentes de contaminación próximas como lo indican (Lavado et al. 2010), (Aguirre et al., 2011) y (Kabata-Pendias & Pendias, 2000).

Tabla 8. Resultado de la medición de tamaños promedio de raíz y tallo para los tratamientos 1 y 2.

TRATAMIENTO	MATRIZ	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	PROMEDIO REPETICIÓN	Tamaño promedio de raíz por tratamiento	Tamaño promedio de tallo por tratamiento	
t1 0 ppm	R 1	HOJA	26,8	28,2	31,1	29,7	29,4	28,2	27,1	27,2	28,46	13.5	27.1
		RAIZ	9,9	14,2	15,4	12,9	8,9	15,4	14,7	16,1	13,44		
	R 2	HOJA	29,9	23,4	30	32,9	24,4	29,9	25,7	23,4	27,45		
		RAIZ	12,2	10,8	17,3	13,2	14,7	16,0	12,0	12,9	13,64		
	R 3	HOJA	20,6	25,4	28,7	19,7	25,4	29,1	25,4	28,9	25,40		
		RAIZ	18,4	12,2	13,7	10,7	14,2	16,2	11,0	10,1	13,31		
t2 35 ppm	R 1	HOJA	25,6	23,4	24,1	22,8	24,7	22,2	30,2	27,9	25,11	13.3	26.8
		RAIZ	15,2	12,4	14,1	15,2	12,1	11,3	13,2	14,1	13,45		
	R 2	HOJA	24,1	25,5	29,0	24,6	27,4	25,2	24,6	22,8	25,40		
		RAIZ	11,9	14,2	13,2	14,4	18,2	13,3	8,9	9,2	12,91		
	R 3	HOJA	32,6	26,4	33,7	26,8	29,4	30,6	31,1	28,1	29,84		
		RAIZ	13,4	13,1	15,9	13,4	9,0	15,6	14,0	13,9	13,45		

Tabla 9. Resultados de la medición de tamaños promedio de raíz y tallo para los tratamientos 3 y 4.

TRATAMIENTO	MATRIZ	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	PROMEDIO REPETICIÓN	Tamaño promedio de raíz por tratamiento	Tamaño promedio de tallo por tratamiento	
t3 70 ppm	R 1	HOJ A	25,4	25,6	25,3	30,6	26,9	26,6	29,2	25,6	26,9	12.7	25.8
		RAI Z	15,9	15,9	11,1	9,4	11,6	8,4	15,6	7,4	11,91		
	R 2	HOJ A	27,6	23,2	27,1	22,1	28,2	27,1	18,4	19,2	24,11		
		RAI Z	14,3	12,4	10,2	10,1	13,7	15,2	15,0	13,7	13,08		
	R 3	HOJ A	31,1	24,8	26,5	23,6	27,1	27,1	24,9	27,1	26,53		
		RAI Z	13,7	12,7	11,2	12,6	14,6	14,6	10,9	14,6	13,11		
t4 140 ppm	R 1	HOJ A	28,4	26,9	25,4	23,5	25,0	26,6	27,6	22,2	25,70	14	25.35
		RAI Z	17,3	17,6	17,4	9,2	13,2	13,0	10,2	17,1	14,38		
	R 2	HOJ A	28,9	19,2	27,4	25,3	27,0	24,0	26,7	26,7	25,65		
		RAI Z	16,0	10,1	14,9	13,4	15,6	14,2	12,1	12,4	13,58		
	R 3	HOJ A	24,9	21,7	28,9	24,8	25,2	27,4	21,3	23,4	24,7		
		RAI Z	11,9	15,0	11,9	11,7	14,6	14,2	11,2	13,0	12,94		

En las tablas 8 y 9 se muestra los resultados de las mediciones de los tamaños de la raíz y tallo realizadas por triplicado en 8 plantas por cada tratamiento. El tamaño de raíz más grande se presentó en el tratamiento cuatro (t4) con 14 cm y mientras que el tamaño más grande de hojas los presento el tratamiento control (t1) con 27.1 cm.

4.4. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas

Las primeras pruebas corresponden a probar la Normalidad de Kolmogorov-Smirnov de los tamaños de las Hojas, a diferentes concentraciones de Pb.

➤ Prueba de Normalidad de los tamaños de Hoja con el tratamiento 1 (t1): Grupo Control

H0: Los tamaños de la Hoja con el t1 se ajustan a una Distribución Normal

H1: Los tamaños de la Hoja con el t1 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

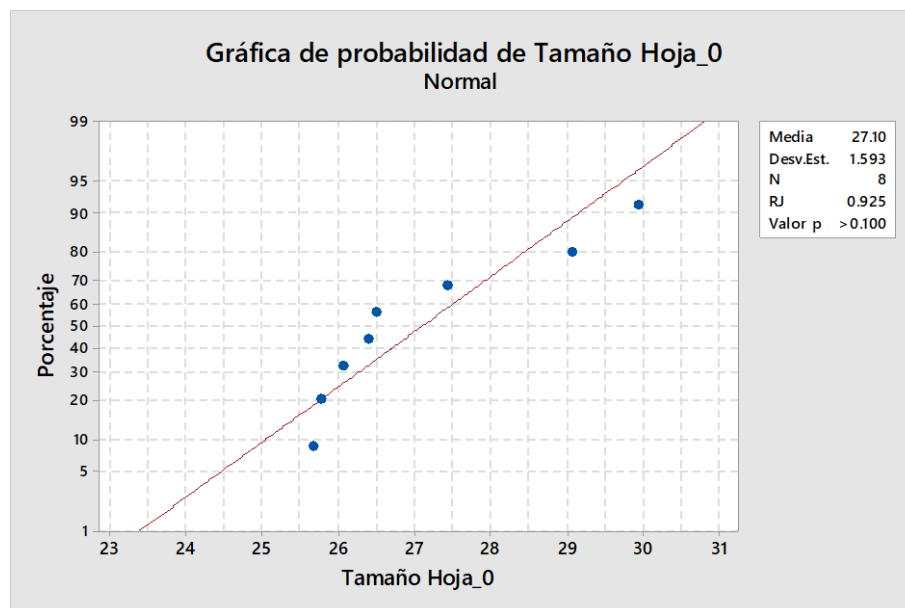


Figura 7. Prueba de normalidad de tamaños de hoja para el tratamiento 1 (t1)

Como p- value para los tamaños de Hoja con el tratamiento 1: Grupo Control, es mayor a 0.10, entonces se acepta H0 y se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

➤ **Prueba de Normalidad de los tamaños de Hoja con el tratamiento 2 (t2): 35 ppm de Pb**

H0: Los tamaños de la Hoja con el t2 se ajustan a una Distribución Normal

H1: Los tamaños de la Hoja con el t2 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

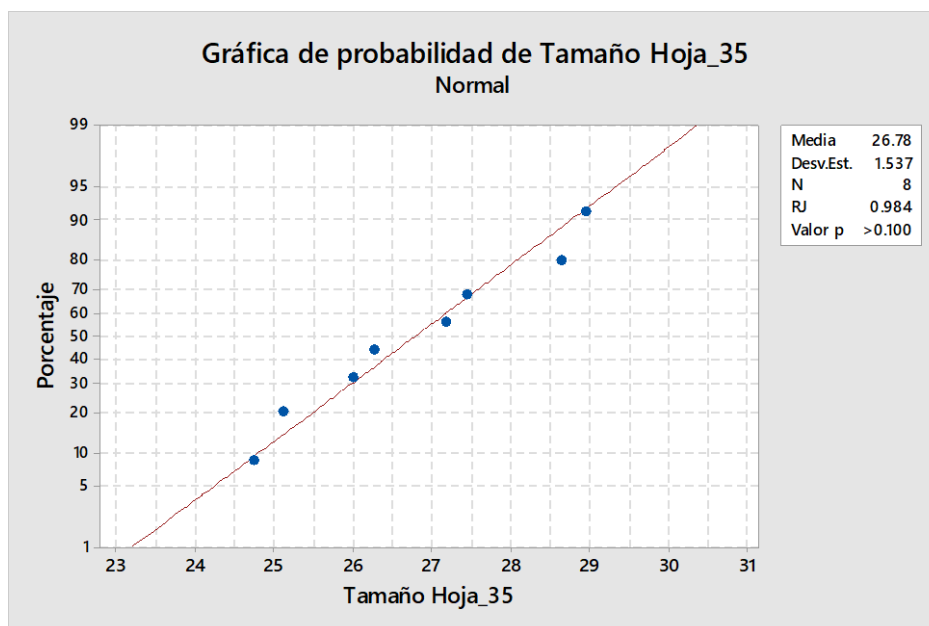


Figura 8. Prueba de normalidad de tamaños de hoja para el tratamiento 2 (t2)

Como p- value para los tamaños de Hoja con el tratamiento 2: 35 ppm de Pb, es mayor a 0.10, entonces se acepta H0 y se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

➤ **Prueba de Normalidad de los tamaños de Hoja con el tratamiento 3 (t3): 70 ppm de Pb**

H_0 : Los tamaños de la Hoja con el t3 se ajustan a una Distribución Normal

H_1 : Los tamaños de la Hoja con el t3 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

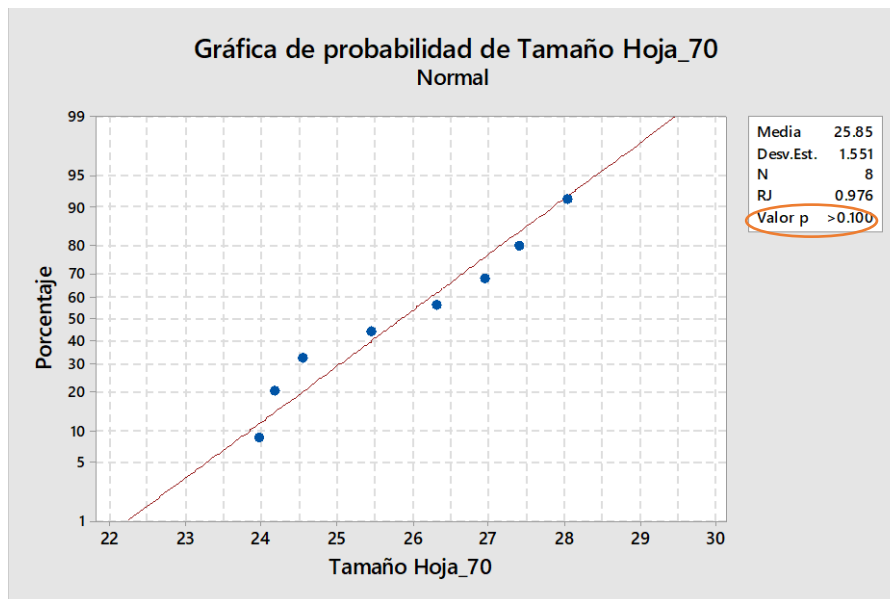


Figura 9. Prueba de normalidad de tamaños de hoja para el tratamiento 3 (t3)

Como p- value para los tamaños de Hoja con el tratamiento 3: 70 ppm de Pb, es mayor a 0.10, entonces se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

➤ **Prueba de Normalidad de los tamaños de Hoja con el tratamiento 4 (t4): 140 ppm de Pb**

H_0 : Los tamaños de la Hoja con el t4 se ajustan a una Distribución Normal

H_1 : Los tamaños de la Hoja con el t4 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

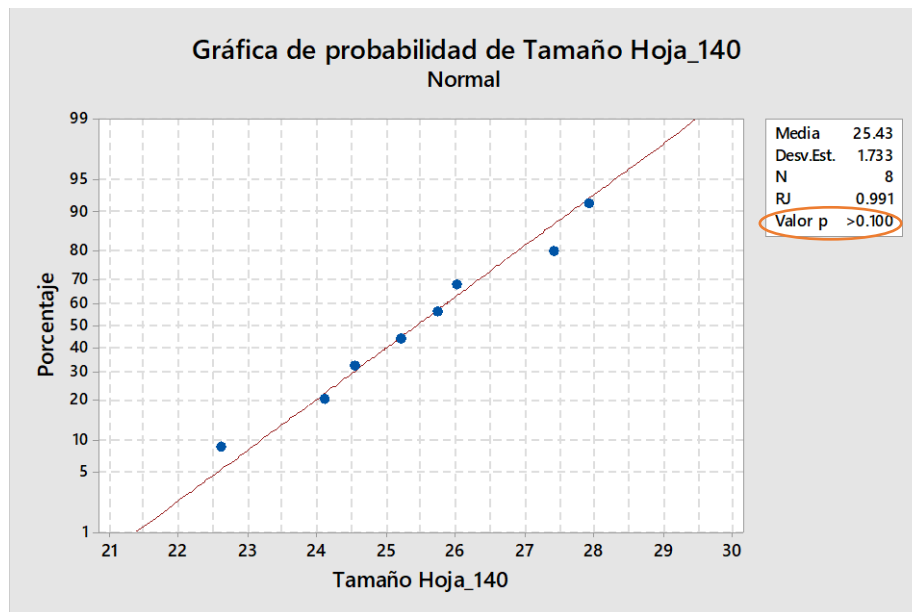


Figura 10. Prueba de normalidad de tamaños de hoja para el tratamiento 4 (t4)

Como p- value para los tamaños de Hoja con el tratamiento 4: 140 ppm de Pb, es mayor a 0.10, entonces se acepta H_0 y se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

4.5. La segunda prueba corresponde a probar la Normalidad de Kolmogorov-Smirnov de los tamaños de las Raíces, a diferentes concentraciones de Pb.

➤ Prueba de Normalidad de los tamaños de Raíz con el tratamiento 1 (t1): Grupo control

H_0 : Los tamaños de la Raíz con el t1 se ajustan a una Distribución Normal

H_1 : Los tamaños de la Raíz con el t1 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

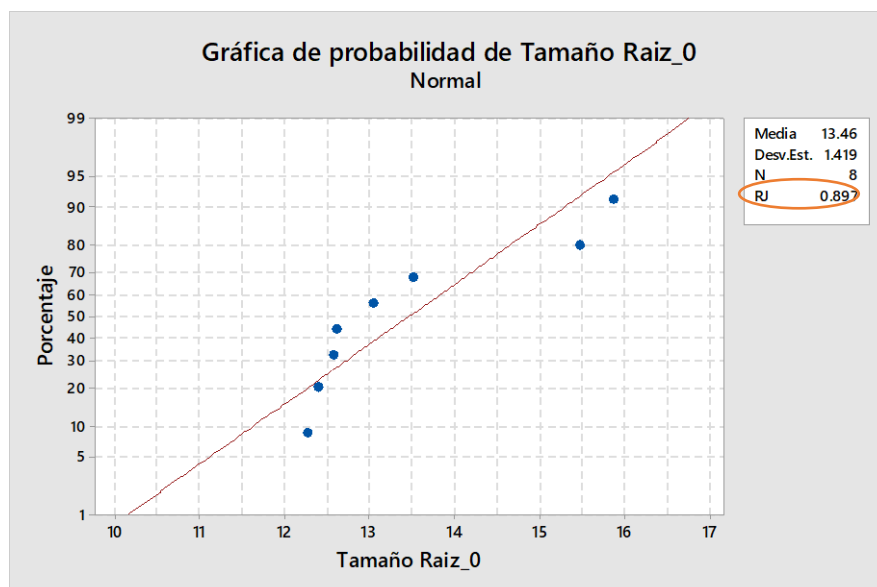


Figura 11. Prueba de normalidad de tamaños de raíz para el tratamiento 1 (t1)

Como p- value para los tamaños de raíz con el tratamiento 1: Grupo Control, es mayor a 0.10, entonces se acepta H_0 y se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

➤ **Prueba de Normalidad de los tamaños de Raíz con el tratamiento 2 (t2): 35 ppm de Pb**

H_0 : Los tamaños de la Raíz con el t2 se ajustan a una Distribución Normal

H_1 : Los tamaños de la Raíz con el t2 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

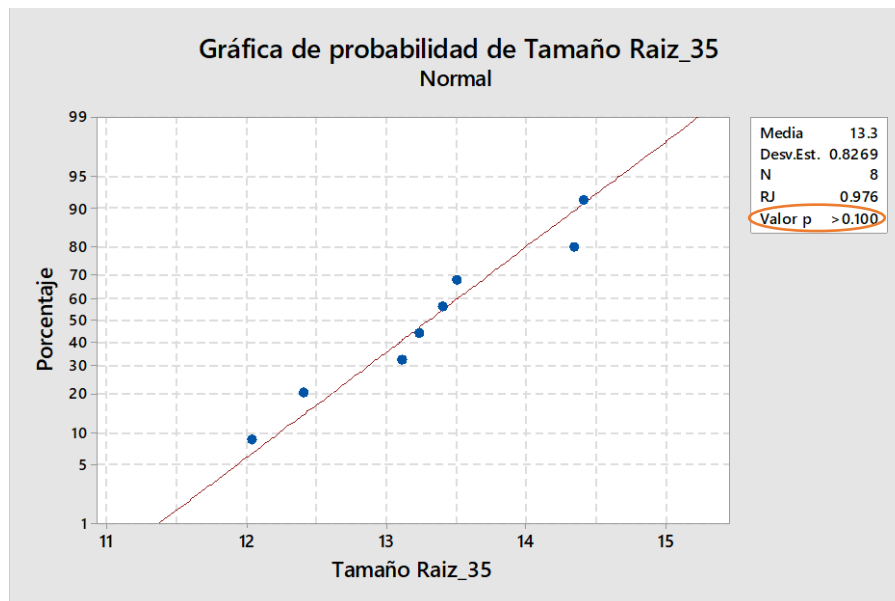


Figura 12. Prueba de normalidad de tamaños de raíz para el tratamiento 2 (t2)

Como p- value para los tamaños de raíz con el tratamiento 2:35 ppm de Pb, es mayor a 0.10, entonces se acepta H_0 y se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

➤ **Prueba de Normalidad de los tamaños de Raíz con el tratamiento 3(t3): 70 ppm de Pb**

H_0 : Los tamaños de la Raíz con el t3 se ajustan a una Distribución Normal

H_1 : Los tamaños de la Raíz con el t3 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

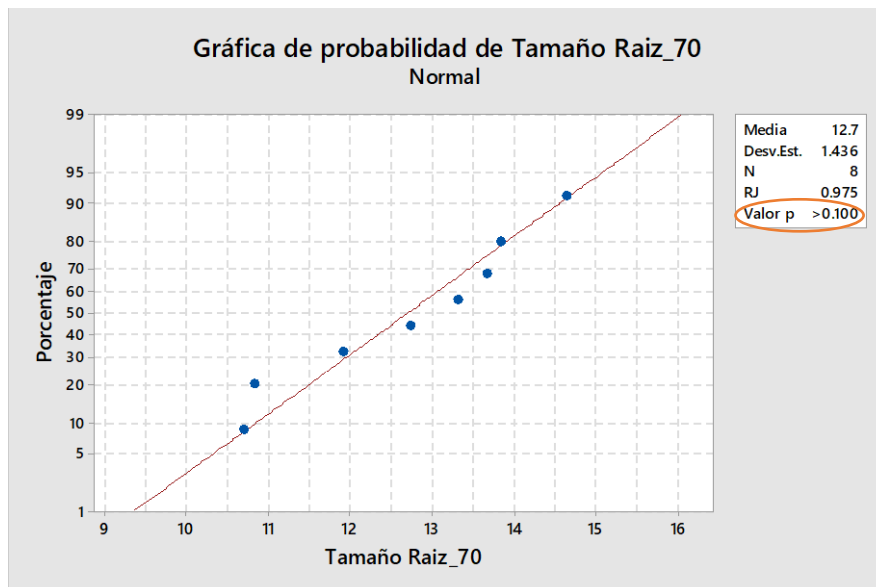


Figura 13. Prueba de normalidad de tamaños de raíz para el tratamiento 3 (t3)

Como p- value para los tamaños de raíz con el tratamiento 3: 70 ppm de Pb, es mayor a 0.10, entonces se acepta H_0 y se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

➤ **Prueba de Normalidad de los tamaños de Raíz con el tratamiento 4 (t4): 140 ppm de Pb**

H_0 : Los tamaños de la Raíz con el t4 se ajustan a una Distribución Normal

H_1 : Los tamaños de la Raíz con el t4 NO se ajustan a una Distribución Normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

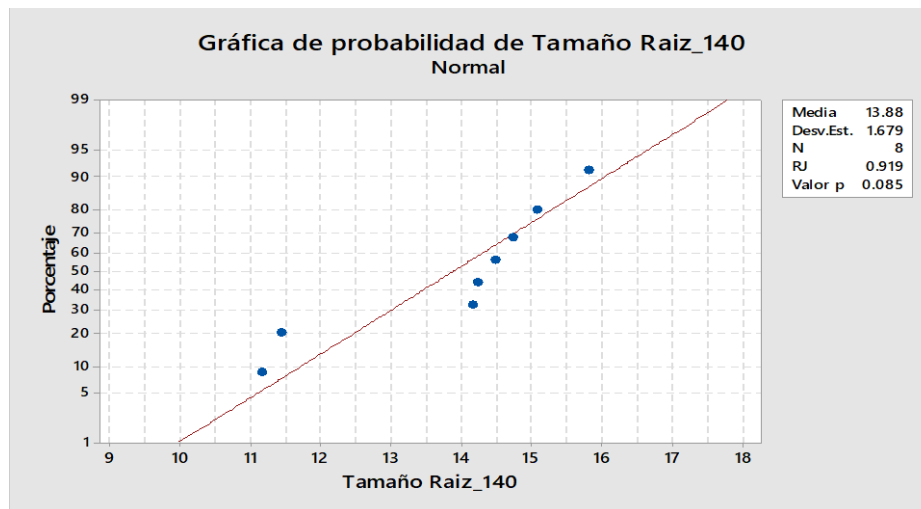


Figura 14. Prueba de normalidad de tamaños de raíz para el tratamiento 4 (t4)

Como p- value para los tamaños de Raíz con el tratamiento 4: 140 ppm de Pb, es 0.085, mayor a $\alpha = 0.05$, entonces se acepta H_0 y se concluye que se ajustan a un comportamiento de una distribución normal.

La tercera prueba corresponde a probar que todas las concentraciones de Plomo generan el mismo tamaño de la hoja (prueba de Anova)

1. Prueba de Hipótesis de Medias

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_4$ (Todas las concentraciones de Plomo generan el mismo tamaño de la Hoja).

H_1 : $\mu_1 \neq 0$ (Al menos una de las concentraciones de Plomo genera distinto tamaño de Hoja).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

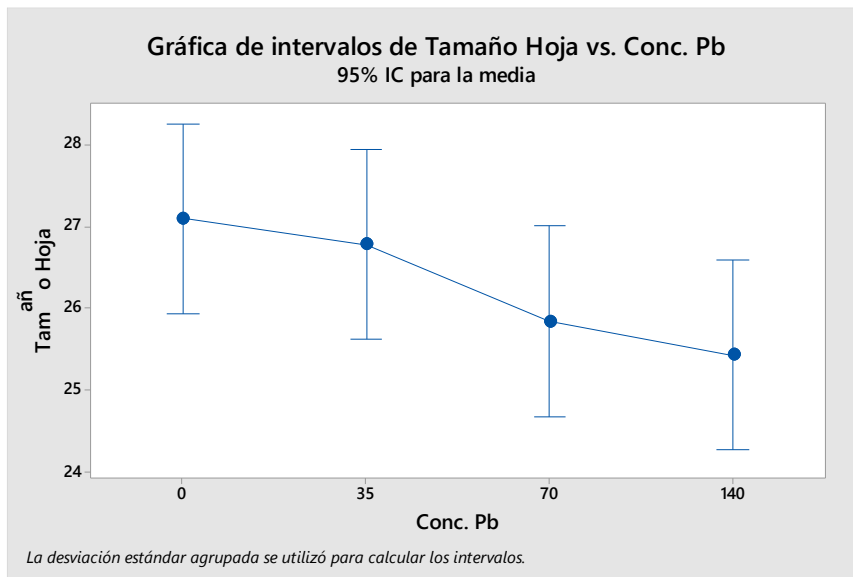


Figura 15. Análisis de medias del tamaño de hojas por tratamiento entre la concentración del tratamiento para la selección de intervalos en la prueba de Anova.

ANOVA de un solo factor: Hoja Tamaño vs. Hoja Ttos

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Conc. Pb	3	14.70	4.900	1.90	0.152
Error	28	72.15	2.577		
Total	31	86.85			

Figura 16. Resultados de la prueba de Anova entre los intervalos de concentraciones por tratamiento y el tamaño promedio de las hojas de las plantas

Como p - value = $0.152 > \alpha = 0.05$, entonces se Acepta H_0 . Todas las concentraciones de Plomo generan el mismo tamaño de la Hoja.

La cuarta prueba corresponde a probar que Todas las concentraciones de Plomo generan el mismo tamaño de raíz (prueba de Anova)

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_4$ (Todas las concentraciones de Plomo generan el mismo tamaño de la Raíz).

$H_1: \mu_1 \neq 0$ (Al menos una de las concentraciones de Plomo genera distinto tamaño de Raíz).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Condición: Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza H_0

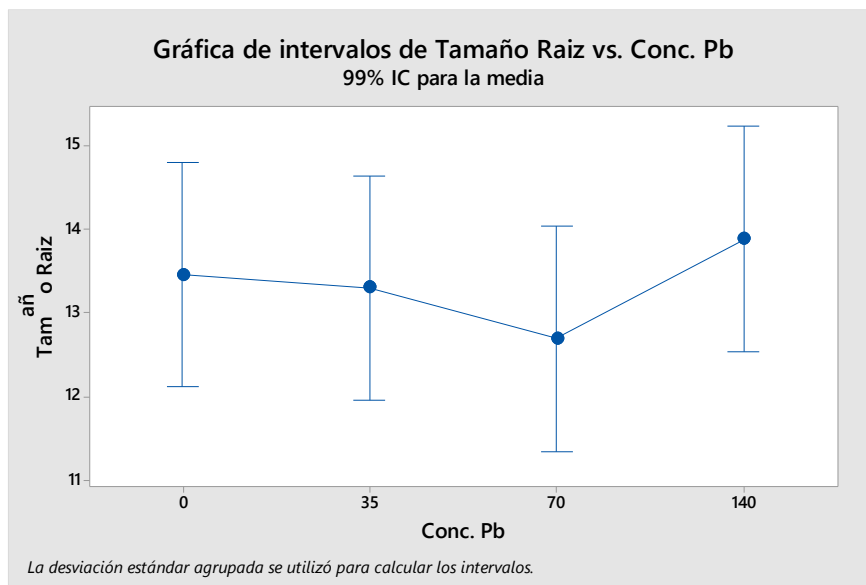


Figura 17. Análisis de medias del tamaño de raíz por tratamiento entre la concentración del tratamiento para la selección de intervalos en la prueba de Anova.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Conc. Pb	4	0, 35, 70, 140

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Conc. Pb	3	5.771	1.924	1.02	0.401
Error	28	53.039	1.894		
Total	31	58.810			

Figura 18. Resultados de la prueba de Anova entre los intervalos de concentraciones por tratamiento y el tamaño promedio de las raíces de las plantas

Como $p\text{-value} = 0.401 > \alpha = 0.05$, entonces se Acepta H_0 : Todas las concentraciones de Plomo generan el mismo tamaño promedio en la Raíz.

De los resultados de la prueba de normalidad de Kolgomorov - Smirnov y la prueba de Anova entre las concentraciones de Pb de los 4 tratamientos y las medias de los valores obtenidos de los tamaños y raíz medidos en las plantas en cada uno de los tratamientos se puede deducir lo siguiente: ninguno de las concentraciones aplicadas en los tratamientos influyo en el tamaño de la raíz y hojas de la planta.

➤ **Prueba de correlación de Person entre los resultados de los análisis fisicoquímicos del suelo y los factores de Bioconcentración, Translocación y Bioacumulación.**

En la prueba de correlación de Person se cruzaron los resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo analizados con cada uno de los resultados obtenidos de los tres factores para ver cual influye más en los diversos factores haciendo un total de 21 pruebas. A continuación, solo se presentará el resultado que obtuvo un grado de $p\text{-value}$ menor a $\alpha = 0.05$ y la correlación más próxima a 1. Los demás resultados de las 20 correlaciones restantes aplicadas que superaron el $p\text{-value}$ $\alpha = 0.05$ no se consideran en este capítulo, al no ser representativas en este estudio, no obstante, se muestran en el anexo 3 (Resultados de las pruebas de correlación de Person).

➤ **Prueba de Correlación 1 (BAF)**

H_0 : No Existe relación entre el pH, Materia Orgánica y el Factor de bioacumulación (BFA) en la Hoja ($\rho=0$)

H_1 : Existe relación entre el pH, Materia Orgánica y el Factor de bioacumulación (BFA) en la Hoja ($\rho \neq 0$)

Variable Dependiente: Factor de de bioacumulación (BFA) en la Hoja

Variable Independientes: pH y Materia Orgánica

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la ***H*₀**

Según el p -valor “sig bilateral” = $0.043 < \alpha = 0.05$, lo que nos conlleva a Rechazar la H_0 y se concluye que existe asociación directa entre el pH, Materia Orgánica y el Factor de bioacumulación (BFA) en la planta.

El valor del coeficiente de correlación de Pearson (R), es significativo, con un valor de 0.999 positivo, el cual se interpreta como muy fuerte la relación entre el pH, Materia Orgánica y el Factor de bioacumulación (BFA) de la planta.

El resultado nos indica que el pH del suelo y la materia orgánica presente influyen directamente en el factor de bioacumulación (BFA) del plomo en la planta. Mientras más alcalino el suelo y mayor la carga orgánica presente más mayor será la acumulación del mineral.

Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple	0.99906772				
Coefficiente de determinación R^2	0.99813631				
R^2 ajustado	0.99440893				
Error típico	0.01131371				
Observaciones	4				

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad de cuadrado de los cua		F	Valor crítico de F	
Regresión	2	0.068553	0.0342765	267.7851563	0.04317046
Residuos	1	0.000128	0.000128		
Total	3	0.068681			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%
Intercepción	143.264	6.17891123	23.1859618	0.027440116	64.75348885
X3 (PH)	-0.805	0.05656854	-14.230524	0.044662795	-1.523771483
X4 (Materia Orgánica)	-22.65	0.9797959	-23.1170594	0.027521802	-35.09948727

Figura 19. Prueba de correlación entre pH, Materia Orgánica y el Factor de bioacumulación (BFA) en la planta ($p \neq 0$).

Fuente: Resultados de Prueba de Correlación de Pearson

Según lo descrito por varios autores como (Sauquillo et al., 2003), subterráneas (García & Dorronsoro, 2005), (Buatier et al., 2001) describen que el ph, la materia

orgánica, la especiación del metal y su concentración son algunos de los factores más relevantes que influyen en la concentración de los metales pesados en las plantas. Esto corrobora nuestros resultados.

Entonces resumiendo los resultados obtenidos podemos indicar los siguiente:

A mayor concentración de Pb en el suelo la lechuga los factores de bioconcentración, trasloación y bioacumulación se incrementan. Como se pudo observar en los tratamientos 3 y 4.

Las concentraciones de Pb en los tratamientos no influyen en el tamaño de las raíces y hoja de las plantas de lechuga.

El pH y la materia orgánica tienen una relación próxima uno positiva con un valor de 0.999 en cuanto al factor de bioacumulación de Pb en las lechugas, mientras más alcalino el suelo y mayor la carga orgánica presente más mayor será la acumulación del mineral en la planta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Las conclusiones de nuestra investigación son las siguientes:

- Se pudo establecer una relación directa entre las concentraciones de los tratamientos aplicados y la concentración de Pb en las plantas. A mayor concentración de Pb en el tratamiento mayor la concentración del metal en la planta. Así pues, el tratamiento con mayor concentración fue t4 obteniendo un factor de traslocación (TF) de 1.255, t3 obtenido un factor de bioconcentración (BFC) de 0.419 y t3 con un factor de bioacumulación de 0.501.
- Se observó que los factores de bioacumulación (BFA) y de bioconcentración (BFC) no varían significativamente en cuanto al control. El TF sí mostró una variación significativa en cuanto al control siendo los valores más altos obtenidos del estudio los resultados del tratamiento t4.
- De los resultados de la prueba de normalidad de Kolmogorov - Smirnov y la prueba de Anova entre las concentraciones de Pb de los 4 tratamientos y las medias de los valores obtenidos de los tamaños y raíz medidos en las plantas en cada uno de los tratamientos se puede deducir lo siguiente: ninguna de las concentraciones aplicadas en los tratamientos influyó en el tamaño de la raíz y hojas de la planta.
- Los parámetros del suelo que influyeron en la absorción del plomo en la planta fuertemente fueron el pH y la materia orgánica obteniendo un coeficiente de correlación de Pearson (R), significativo, de 0.999 positivo.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackarley, M. M. C., & Orbegoso, R. A. B. (2013). Bioacumulación de cobre, plomo, hierro y zinc en *Lactuca sativa* “lechuga”, *Brassica oleracea* “repollo”, *Daucus carota* “zanahoria” y *Raphanus sativus* “rabanito”. *CONOCIMIENTO PARA EL DESARROLLO*, 4(2).
- Achiba, WB, Gabteni, N., Lakhdar, A., Du Laing, G., Verloo, M., Jedidi, N., y Gallali, T. (2009). Efectos de la aplicación durante cinco años de compost de residuos sólidos urbanos en la distribución y movilidad de metales pesados en un suelo calcáreo tunecino. *Agricultura, ecosistemas y medio ambiente*, 130 (3-4), 156-163.
- Audet, P., & Charest, C. (2007). Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective. *Environmental Pollution*.
- Baker, A., McGrath, S., Reeves, R., & Smith, J. (2013). Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*.
- Beltrán-Pineda, M. y Gómez-Rodríguez A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197.
<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42, 141-143.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf>

- Cargua, J. (2010). Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Carmona M.W. (2000). Heavy metals trends in floodplain sediments and Valley Fili. *Catena* 30, .Pág. 53-68
- Castebianco, J. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 21-35.
- Córdova Miranda, A. I. (2019). Efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales totora y la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018.
- Duran Cuevas, P.A. (2010). Transferencia de metales de suelo a la planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la cordillera Prelitoral Catalana. Obtenido de deposit.ub.edu: <http://deposit.ub.edu/dspace/handle/2445/36122>
- Galán, H. E. y Romero, B. A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados., *Macla Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48-60. Depósito legal: M-38920- 2004 • ISSN: 1885-7264. http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Galán, H. E. y Romero, B. A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. , *Macla Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48-60. Depósito legal: M-38920- 2004 • ISSN: 1885-7264. http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- García-Navarro, A. (2003). Gestión y conservación del suelo . departamento de biología y producción de los vegetales , Universidad de Extremadura, Badajoz, España.

Giuffre, a. s. (2005). riesgo por metales pesados en horticultura urbana. ciencia del suelo, 1101-106.

Guamán, R. (2010). Estudio bioagronómico de 10 cultivares de lechuga de cabeza (*Lactuca sativa*) utilizando dos tipos de fertilizantes orgánicos, en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

<https://books.google.com.pe/books?id=iZg6DwAAQBAJ>

Igiri, B., Okoduwa, S., Idoko, G., Akabuogu, E., Adeyi, A. y Ejiogu I. (2018). Toxicity and bioremediation of heavy metals contaminated ecosystem from tannery wastewater: A Review. *Journal of Toxicology*, Volume 2018, Article ID 2568038, 16 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/2568038>

Jiménez, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos: Ediciones MundiPrensa.

Lago, M. (2018). Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados. Universidad de Vigo.

Lavado, C., Sun Kou, M., & Bendezú, S. (2010). Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄. *Rev. Soc. Quím. Perú.*, 76(2):165-178.

Martín, F., Diez, M., García, I., Simón, M., Dorronsoro, C., Iriarte, A., & Aguilar, J. (2021). Alteración de minerales primarios y movilidad de elementos mayores en superficies afectadas por una capa de depósitos piríticos.

Ministerio del Ambiente. (2000). Ley General del Ambiente - Ley 28611. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente.

Nuñez Romero, H. (2022). Efecto toxicológico agudo del mercurio y plomo sobre *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) Y *Beta vulgaris* (betarraga), Ayacucho 2020.

- OEFA. (2015). Instrumentos Básicos para la Fiscalización Ambienta. ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL.
- Olivares, E., & Peña, E. (2009). Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación. Interciencia.
- Ordoñez Velasquez, H. (2019). DETERMINACIÓN DEL EFECTO RESIDUAL DE PLOMO Y CADMIO EN LAS HORTALIZAS (*Lactuca Sativa*, *Daucus Carota* y *Apium Graveolens*) QUE SE EXPENDEN EN EL MERCADO NUEVO DE HUÁNUCO JUNIO-JULIO 2019.
- Pila Fueres, C. Y. (2016). Determinación de la presencia de plomo y cadmio en dos hortalizas lechuga (*Lactuca sativa*) Y ZANAHORIA (*Daucus carota*) EN EL QUINCHE. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Rainer, G.-C. (2000). Química Inorgánica Descriptiva. México (Vol. Segunda ed).
- Ramírez P, M. A. (2008). Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo. Exp en México.
- Rico Fragozo, K. M. (2018). Evaluación de rasgos fitotóxicos y bioacumulación de plomo en acelgas (*Beta vulgaris*) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) y su efecto generado en la interacción plantas-microorganismos rizosféricos (Doctoral dissertation).
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta (FAO (Ed.)).
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. FAO, Roma 144 pp.
- <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

- Rubio, C., Gutiérrez, A., Martín Izquierdo, R., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Rev. Toxicología (España)*, 21:72-80.
- Silva, E. J. (2017). El cultivo de las hortalizas. Manual para el Productor. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. La Paz, Bolivia.
- Solano, A. M. (2005). Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del Cinc. Universidad de Murcia.
- Stirk, W. A., & Van Staden, J. (2001). The role of cytokinins in root development of pea seedlings. *Plant Growth Regul.*, 34: 173-180.
- Truchado, D. (2014). Investigación en salud ambiental y ecotoxicología_Efectos de los metales pesados en las plantas. 11 de Diciembre.
- Universidad de Barcelona. (2020). Universidad de Barcelona. Recuperado el 27 de Enero de 2021, de [www.ub.edu: http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm)
- Vera, M. (2008). . Adaptación y comportamiento agronómico de diferentes híbridos de lechuga sembradas mediante sistemas hidropónicos de raíz flotante en la zona de Babahoyo. Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Vyslouzilová, M., Tlustos, P., Száková, J., & Pavlikova, D. (2013). As, Cd, Pb and Zn uptake by different *Salix* spp. Grown at soils enriched by high loads of these elements. Czech Republic: Czech University of Agriculture in Prague.
- Yesenia, M. R. (2015). blogspot. Obtenido de <http://teamredaccion.blogspot.pe/>
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of The Total Environment*.
- Zaho, F. J., Hamon, R. E., Lombi, E., & McLaughlin, M. J. (2002). Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Australia: *Journal of Experimental Botany*.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Panel fotográfico.



Figura 20. Evaluación de las lechugas después del cultivo



Figura 21. Evaluación de las hojas de lechugas después del cultivo (tratamiento 1)



Figura 22. Evaluación de las hojas de lechuga después del cultivo (tratamiento 2)



Figura 23. Evaluación de las hojas de lechugas después del cultivo (tratamiento 3)



Figura 24. Evaluación de las hojas de lechuga después del cultivo (tratamiento 4)



Figura 25. Evaluación de las raíces de lechugas después del cultivo (tratamiento 1)



Figura 26. Evaluación de las raíces de lechuga después del cultivo (tratamiento 2)




Figura 27. Evaluación de las raíces de lechugas después del cultivo (tratamiento 3)



Figura 28. Evaluación de las raíces de lechuga después del cultivo (tratamiento 4)

Resultado de los análisis realizados en laboratorio




LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - C

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Raíz - 1	T3 - Raíz - 2	T3 - Raíz - 3	T4 - Raíz - 1	T4 - Raíz - 2	T4 - Raíz - 3
Código Laboratorio			1218774-26	1218774-26	1218774-27	1218774-34	1218774-36	1218774-36
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	1151	1243	1063	1288	631.7	1032
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	12.71	10.34	9.340	9.330	8.662	10.17
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	33.96	16.51	14.68	21.07	10.72	18.21
Berio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	8537	2674	2605	2932	2049	3043
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	0.839	0.880	0.593	0.744	0.400	0.654
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	1.129	1.042	0.663	0.864	0.315	0.579
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	8.610	4.542	5.024	5.721	4.433	4.962
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	1430	1848	1393	1899	812.2	1330
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.20	46404	34781	30073	26297	30767	31906
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1439	979.8	863.7	882.1	809.7	842.1
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	36.90	29.55	26.40	44.89	16.28	29.98
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.644	0.546	0.638	0.719	0.460	0.774
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1466	1472	934.5	865.6	1013	1130
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.80	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	2642	3367	2637	2405	2853	2347
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	12.345	12.041	12.851	35.19	35.072	35.218
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	0.324	0.474	0.330	0.339
Selenio (Se)	mg/Kg	8.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.80	263.9	266.2	387.8	323.4	427.7	360.0
Estañio (Sn)	mg/Kg	1.70	1.818	<LCM	1.944	1.847	1.749	1.782
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.60	46.26	23.68	22.91	25.29	19.84	26.75
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	8.725	9.942	7.720	9.440	4.968	7.462
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	3.920	3.331	2.671	3.544	1.784	2.716
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	26.20	18.48	19.53	18.74	14.96	16.52

Cajamarca, 27 de Diciembre de 2018.



3 de 4

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA. ASSEGURA LA VERACIDAD Y LA CREDIBILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 DR. LUIS ALBERTO GARCERAN, UNO DE LOS EXPERTOS EN LA MATERIA DEL GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - PERÚ
 email: laboratorio@grajamarca.gob.pe Telf: 0532-266111



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - C

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Raíz - 1	T3 - Raíz - 2	T3 - Raíz - 3	T4 - Raíz - 1	T4 - Raíz - 2	T4 - Raíz - 3
Código Laboratorio			1218774-26	1218774-26	1218774-27	1218774-34	1218774-35	1218774-36
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	1151	1343	1063	1288	631.7	1032
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	12.71	10.34	9.340	9.330	8.862	10.17
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	33.96	15.51	14.68	21.07	16.72	18.21
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	6537	2874	2605	2932	2049	3043
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	0.839	0.860	0.593	0.744	0.490	0.654
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	1.129	1.042	0.663	0.864	0.315	0.579
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	8.610	4.542	5.024	5.721	4.433	4.962
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	1430	1849	1393	1369	812.2	1333
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.60	46404	34781	30573	26297	35767	31905
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1439	979.8	863.7	882.1	809.7	842.1
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	36.90	28.65	26.40	44.89	16.26	28.98
Moibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.844	0.546	0.638	0.719	0.460	0.774
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1486	1473	934.5	865.6	1013	1130
Niquel (Ni)	mg/Kg	1.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	2842	3367	2637	2405	2853	2347
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	47.994	49.120	49.110	50.879	51.210	50.915
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	0.324	0.474	0.330	0.339
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	263.9	286.2	307.8	323.4	427.7	350.0
Estaño (Sn)	mg/Kg	1.70	1.818	<LCM	1.844	1.847	1.749	1.782
Stroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	46.26	23.56	22.91	25.29	19.84	26.79
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	8.725	9.942	7.720	9.440	4.968	7.462
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	3.920	3.331	2.671	3.544	1.794	2.716
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	26.20	18.48	19.63	18.74	14.96	16.62

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.



3 de 4



INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - A

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T1 - Suelo - 123	T1 - Suelo - 1	T1 - Suelo	T2 - Suelo - 1	T2 - Suelo - 2	T2 - Suelo - 3
Código Laboratorio			1218774-01	1218774-02	1218774-03	1218774-10	1218774-11	1218774-12
Matriz			SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LOM	Resultados					
Plata (Ag)	ng/Kg	1.70	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM
Aluminio (Al)	ng/Kg	2.20	11814	13212	13334	11984	11729	11117
Antimonio (As)	ng/Kg	0.20	1.845	1.987	1.535	3.005	1.789	3.126
Boro (B)	ng/Kg	2.10	12.67	14.24	13.88	13.31	13.53	13.37
Bario (Ba)	ng/Kg	0.20	118.1	131.2	123.8	118.2	117.8	119.0
Berilio (Be)	ng/Kg	0.20	0.817	0.884	0.690	0.844	0.810	0.809
Cálcico (Ca)	ng/Kg	1.80	11515	10983	12324	9302	9635	10992
Cadmio (Cd)	ng/Kg	1.00	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM
Cobalto (Co)	ng/Kg	0.20	5.685	7.659	6.234	6.807	6.782	6.733
Cromo (Cr)	ng/Kg	0.20	7.516	8.838	8.089	7.990	7.996	7.925
Cobre (Cu)	ng/Kg	0.20	18.16	21.67	18.72	16.46	17.07	17.66
Hierro (Fe)	ng/Kg	1.40	19305	19366	19369	17891	18648	18058
Mercurio (Hg)	ng/Kg	0.02	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM
Potasio (K)	ng/Kg	1.90	2839	4389	2703	2841	2908	2864
Litio (Li)	ng/Kg	4.90	6.277	7.248	7.064	5.802	6.372	6.243
Magnesio (Mg)	ng/Kg	0.40	1655	1677	1663	1468	1484	1575
Manganeso (Mn)	ng/Kg	1.70	429.8	546.4	417.8	391.9	391.6	382.3
Níquel (Ni)	ng/Kg	0.20	1.393	1.670	1.535	1.257	1.239	1.258
Sodio (Na)	ng/Kg	0.20	193.3	297.5	189.8	143.5	171.8	168.4
Níquel (Ni)	ng/Kg	1.80	6.442	7.297	6.909	6.782	7.086	6.532
Fósforo (P)	ng/Kg	0.20	1332	1621	1324	1807	1149	1329
Plomo (Pb)	ng/Kg	2.00	26.73	26.25	27.85	75.89	76.27	75.745
Antimonio (Sb)	ng/Kg	0.20	1.393	1.625	1.553	1.649	1.644	1.523
Selenio (Se)	ng/Kg	8.90	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM
Silicio (Si)	ng/Kg	0.90	213.1	185.0	189.1	208.1	208.8	218.5
Estaño (Sn)	ng/Kg	1.70	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM
Estroncio (Sr)	ng/Kg	8.90	46.55	49.34	52.13	42.63	43.92	46.34
Titanio (Ti)	ng/Kg	0.20	29.95	28.37	33.63	31.49	31.79	31.36
Talio (Tl)	ng/Kg	0.40	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM	<LOM
Vanadio (V)	ng/Kg	0.20	29.58	30.82	29.85	30.17	29.54	29.78
Zinc (Zn)	ng/Kg	0.40	58.41	58.60	60.34	54.66	53.87	57.28

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - A

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Suelo - 1	T3 - Suelo - 2	T3 - Suelo - 3	T4 - Suelo - 1	T4 - Suelo - 2	T4 - Suelo - 3
Código Laboratorio			1218774-19	1218774-20	1218774-21	1218774-22	1218774-23	1218774-24
Matriz			SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	ng/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	ng/Kg	2.20	12454	12714	11390	11416	11693	10737
Arsénico (As)	ng/Kg	0.30	1.501	1.539	1.835	1.371	1.695	1.880
Boro (B)	ng/Kg	2.10	13.24	13.33	12.98	12.66	12.39	12.81
Bario (Ba)	ng/Kg	0.20	116.4	121.4	121.3	119.6	116.9	116.8
Berilio (Be)	ng/Kg	0.20	0.613	0.649	0.616	0.691	0.692	0.621
Calcio (Ca)	ng/Kg	1.00	9531	10201	9665	9151	8954	11323
Cadmio (Cd)	ng/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	ng/Kg	0.20	6.020	6.056	5.673	6.418	5.707	5.940
Cromo (Cr)	ng/Kg	0.20	8.684	8.113	7.169	7.332	7.186	8.013
Cobre (Cu)	ng/Kg	0.20	16.17	18.36	16.39	16.61	17.20	15.93
Hierro (Fe)	ng/Kg	1.40	17815	18189	17431	16890	17117	18272
Mercurio (Hg)	ng/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	ng/Kg	1.90	3003	2907	2804	2896	3032	2788
Litio (Li)	ng/Kg	4.90	5.768	6.844	5.821	6.135	6.619	5.736
Magnesio (Mg)	ng/Kg	0.40	1566	1571	1427.4	1421.8	1496	1413
Manganeso (Mn)	ng/Kg	1.70	358.1	391.2	365.3	387.93	361.4	376.6
Moibdeno (Mo)	ng/Kg	0.20	1.337	1.334	1.293	1.172	1.175	1.288
Sodio (Na)	ng/Kg	0.20	262.8	173.5	306.1	169.2	163.8	181.0
Niquel (Ni)	ng/Kg	1.80	6.444	6.794	6.404	6.289	6.014	6.084
Fósforo (P)	ng/Kg	0.20	1327	1171	1218	1108	1293	1157
Plomo (Pb)	ng/Kg	2.00	116.162	115.485	116.972	315.871	316.215	308.01
Antimonio (Sb)	ng/Kg	0.30	1.471	1.564	1.372	1.485	1.285	1.397
Selenio (Se)	ng/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Stroncio (Sr)	ng/Kg	0.50	195.4	218.5	210.0	287.8	101.9	246.7
Vanadio (V)	ng/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	ng/Kg	8.50	45.64	45.32	43.01	43.02	46.14	46.17
Tiario (Ti)	ng/Kg	0.20	31.84	32.04	31.23	32.55	17.40	28.97
Talio (Tl)	ng/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	ng/Kg	0.30	29.41	30.31	28.3	28.48	26.77	29.18
Zinc (Zn)	ng/Kg	0.40	66.21	68.30	61.20	62.41	64.64	61.99



Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - B

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T1 - Hoja - 120	T1 - Hoja - 1	T1 - Hoja	T2 - Hoja - 1	T2 - Hoja - 2	T2 - Hoja - 3
Código Laboratorio			1218774-04	1218774-05	1218774-06	1218774-11	1218774-14	1218774-19
Materia			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	44.68	56.24	69.13	83.67	24.01	16.02
Ársenico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	20.31	26.56	21.61	23.00	17.91	20.02
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	10.90	6.089	10.89	12.79	10.37	9.455
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	14215	9958	13197	15108	11546	11627
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	<LCM	0.395	6.455	0.344	0.295	<LCM
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	6.560	4.984	5.889	5.834	5.106	4.827
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	103.3	132.3	163.4	164.9	76.86	62.92
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	89137	72235	92611	93938	69769	96982
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	4750	4013	5519	6564	3272	4035
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	44.37	32.83	60.69	67.19	31.29	26.12
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	0.209	<LCM	0.254
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1697	2495	1678	1761	1185	1455
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.80	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	3381	3997	3963	2618	2671	2854
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	5.720	5.140	5.905	14.220	14.010	14.013
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/Kg	8.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.60	173.4	216.0	224.7	201.1	155.5	175.0
Estroncio (Sr)	mg/Kg	1.70	<LCM	2.150	<LCM	1.740	<LCM	1.903
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.00	47.61	32.96	42.18	51.15	44.68	44.74
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	0.505	0.675	1.040	0.932	0.375	0.384
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.884	0.620	1.015	0.967	6.820	0.603
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	37.43	31.53	46.28	48.35	34.28	29.75

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - B

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Hoja - 1	T3 - Hoja - 2	T3 - Hoja - 3	T4 - Hoja - 1	T4 - Hoja - 2	T4 - Hoja - 3
Código Laboratorio			121874-02	121874-03	121874-04	121874-01	121874-02	121874-03
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fósforo (P)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	43.77	39.14	47.28	66.94	43.62	19.07
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	19.35	19.28	16.67	19.96	16.39	16.41
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	9.912	10.11	9.92	13.73	9.410	10.92
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cadmio (Cd)	mg/Kg	1.60	10725	12807	10961	11831	12963	12079
Cadmio (Co)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	0.843	0.779	<LCM	<LCM	0.220	0.320
Cobalto (Cu)	mg/Kg	0.20	6.636	6.202	4.265	4.390	4.091	4.381
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	120.4	137.6	106.2	164.6	102.0	99.07
Mercúrio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	89262	91823	100910	110939	99740	89528
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	3601	3263	3161	3551	4078	3811
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	60.61	62.67	31.62	28.15	35.50	30.86
Níquel (Ni)	mg/Kg	0.20	0.219	0.289	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	2375	1819	1529	1726	1740	1679
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	3063	2691	2446	2186	2097	2219
Potasio (P)	mg/Kg	2.00	58.385	56.31	57.89	63.703	64.01	64.321
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	187.28	124.4	188.9	197.4	166.5	164.1
Estadío (Sr)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estadío (Sr)	mg/Kg	6.60	41.30	42.12	41.30	49.15	49.13	43.33
Tiempo (Ti)	mg/Kg	0.20	0.653	0.505	0.546	0.891	0.634	0.320
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.628	0.678	0.610	0.866	0.674	0.600
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	46.87	43.16	29.17	24.42	32.45	27.87

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.



3 de 4



INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - C

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Raz - 1	T3 - Raz - 2	T3 - Raz - 3	T4 - Raz - 1	T4 - Raz - 2	T4 - Raz - 3
Código Laboratorio			1218774-26	1218774-28	1218774-27	1218774-34	1218774-38	1218774-36
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Raz	Raz	Raz	Raz	Raz	Raz
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plomo (Pb)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	1151	1343	1053	1288	931.7	1032
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	12.71	10.34	9.340	9.330	8.862	10.17
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	33.96	15.51	14.68	21.07	10.72	18.21
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	8537	2874	2605	2932	2049	3043
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	0.839	0.680	0.593	0.744	0.400	0.654
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	1.129	1.042	0.863	0.884	0.315	0.575
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	8.610	4.642	6.024	8.721	4.433	4.962
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	1430	1849	1393	1989	812.2	1333
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	46404	34781	30073	26297	30767	31905
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1439	979.8	863.7	882.1	809.7	842.1
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	36.90	29.56	26.40	44.89	16.26	28.98
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.844	0.548	0.638	0.719	0.460	0.774
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1466	1472	934.5	865.6	1013	1130
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.80	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	2842	3367	2637	2405	2853	2347
Planta (Pb)	mg/Kg	2.00	12.246	12.041	12.461	35.19	35.972	35.218
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	0.324	0.474	0.330	0.339
Selenio (Se)	mg/Kg	8.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	263.9	266.2	387.8	323.4	427.7	350.0
Estadío (Sr)	mg/Kg	1.70	1.818	<LCM	1.944	1.847	1.749	1.782
Stroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	46.26	23.58	22.91	25.29	19.84	26.75
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	8.735	9.942	7.720	9.440	4.968	7.482
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	3.920	3.331	2.871	3.544	1.784	2.715
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	29.20	18.48	19.53	18.74	14.96	16.52

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - C

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Raíz - 1	T3 - Raíz - 2	T3 - Raíz - 3	T4 - Raíz - 1	T4 - Raíz - 2	T4 - Raíz - 3
Código Laboratorio			1218774-25	1218774-26	1218774-27	1218774-34	1218774-35	1218774-36
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	1151	1343	1063	1288	631.7	1032
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.70	12.71	10.34	9.340	9.330	8.662	10.17
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	33.96	15.51	14.68	21.07	10.72	18.21
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	7.60	6537	2674	2605	2932	2049	3043
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	0.839	0.880	0.593	0.744	0.409	0.654
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	1.129	1.042	0.863	0.894	0.315	0.579
Cesio (Cs)	mg/Kg	0.20	6.610	4.642	5.024	5.721	4.433	4.962
Hierro (Fe)	mg/Kg	7.40	1430	1849	1393	1959	812.2	1333
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	7.00	46404	34781	30073	28297	30767	31905
Litio (Li)	mg/Kg	4.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1439	979.8	883.7	882.1	809.7	842.1
Manganeso (Mn)	mg/Kg	7.70	36.90	29.55	26.40	44.89	16.26	28.96
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.844	0.546	0.838	0.719	0.469	0.774
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1466	1472	934.5	865.6	1013	1130
Níquel (Ni)	mg/Kg	7.80	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	2842	3367	2637	2695	2853	2347
Plata (Pt)	mg/Kg	2.00	47.906	49.320	49.110	50.878	51.218	50.915
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	0.324	0.474	0.330	0.539
Selenio (Se)	mg/Kg	8.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.90	263.9	266.2	357.8	323.4	427.7	360.0
Estaño (Sn)	mg/Kg	7.70	1.818	<LCM	1.944	1.847	1.749	1.782
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.60	46.26	23.58	22.91	25.29	19.84	26.75
Tiempo (Ti)	mg/Kg	0.20	8.725	8.942	7.720	8.440	4.968	7.482
Taio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	3.920	3.331	2.671	3.544	1.764	2.715
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	26.20	18.48	19.63	18.74	14.98	16.52

Cajamarca, 27 de Diciembre de 2018.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - A

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T1 - Suelo - 100	T1 - Suelo - 1	T1 - Suelo	T2 - Suelo - 1	T2 - Suelo - 2	T2 - Suelo - 3
Código Laboratorio			1218774-01	1218774-02	1218774-03	1218774-10	1218774-11	1218774-12
Matriz			SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Ptata (Ag)	ng/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	ng/Kg	2.20	11814	13212	13334	11564	11729	11117
Arsénico (As)	ng/Kg	0.30	1.846	1.987	1.535	3.005	1.769	3.126
Boro (B)	ng/Kg	2.10	12.67	14.24	13.88	13.31	13.63	13.37
Bario (Ba)	ng/Kg	0.20	118.1	131.2	123.0	118.2	117.6	119.0
Berilio (Be)	ng/Kg	0.20	0.617	0.664	0.650	0.644	0.610	0.609
Calcio (Ca)	ng/Kg	1.60	11516	10983	12324	9302	9635	10692
Cadmio (Cd)	ng/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cesio (Cs)	ng/Kg	0.20	5.685	7.689	6.234	6.807	6.792	5.733
Cromo (Cr)	ng/Kg	0.20	7.516	8.838	8.089	7.600	7.506	7.926
Cobre (Cu)	ng/Kg	0.20	18.16	21.57	18.72	16.46	17.07	17.66
Hierro (Fe)	ng/Kg	1.40	19305	19366	18888	17891	18646	18068
Mercurio (Hg)	ng/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	ng/Kg	1.30	2639	4369	2703	2841	2908	2664
Litio (Li)	ng/Kg	4.90	6.277	7.248	7.064	5.802	6.372	6.243
Magnesio (Mg)	ng/Kg	0.40	1655	1677	1653	1488	1494	1575
Manganeso (Mn)	ng/Kg	1.70	420.8	546.4	417.8	391.9	361.6	382.3
Molibdeno (Mo)	ng/Kg	0.20	1.393	1.570	1.535	1.257	1.239	1.258
Sodio (Na)	ng/Kg	0.20	193.3	297.5	188.8	143.5	171.8	168.4
Níquel (Ni)	ng/Kg	1.30	8.442	7.297	6.909	6.782	7.006	6.632
Fósforo (P)	ng/Kg	0.20	1332	1521	1324	1887	1149	1329
Plomo (Pb)	ng/Kg	2.00	26.73	26.25	27.65	25.69	26.27	25.746
Antimonio (Sb)	ng/Kg	0.30	1.393	1.694	1.460	1.649	1.644	1.673
Selenio (Se)	ng/Kg	6.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	ng/Kg	0.50	213.1	186.0	188.1	208.1	209.8	218.5
Estaño (Sn)	ng/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	ng/Kg	8.50	46.66	49.34	62.13	42.93	43.92	46.34
Titanio (Ti)	ng/Kg	0.20	29.95	29.37	33.53	31.49	31.79	31.36
Talio (Tl)	ng/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	ng/Kg	0.30	28.58	30.92	29.85	30.17	29.64	29.78
Zinc (Zn)	ng/Kg	0.40	56.41	58.60	60.34	54.85	53.87	57.26

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2016.



2 de 4



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - A

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Suelo - 1	T3 - Suelo - 2	T3 - Suelo - 3	T4 - Suelo - 1	T4 - Suelo - 2	T4 - Suelo - 3
Código Laboratorio			1218774-18	1218774-20	1218774-21	1218774-28	1218774-29	1218774-33
Matriz			SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	12454	12714	11390	11416	11663	10737
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	1.501	1.539	1.835	1.371	1.605	1.680
Boro (B)	mg/Kg	2.10	13.24	13.33	12.66	12.66	12.39	12.81
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	116.4	121.4	121.3	116.6	116.9	116.6
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	0.613	0.649	0.616	0.591	0.582	0.621
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	9531	10201	9665	9151	9894	11323
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	6.020	6.055	5.673	6.418	5.707	5.940
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	8.594	8.113	7.169	7.332	7.185	8.013
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	16.17	16.08	16.39	16.61	17.20	15.93
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	17815	18189	17431	16890	17117	18272
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	3503	2807	2604	2696	3032	2788
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	6.766	6.844	5.921	6.135	6.619	5.736
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1566	1571	1427.4	1421.8	1496	1413
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	358.1	391.2	365.3	387.93	361.4	373.6
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	1.337	1.334	1.293	1.172	1.175	1.268
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	262.6	173.5	305.1	169.2	163.8	181.0
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.80	6.444	6.784	6.494	6.289	6.014	6.084
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	1327	1171	1218	1108	1293	1157
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	116.162	115.485	116.972	115.971	116.215	116.01
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	1.471	1.584	1.372	1.485	1.285	1.397
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.60	195.4	218.5	210.0	367.6	101.9	246.7
Estato (Sr)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.60	45.64	46.32	43.01	43.02	45.14	46.17
Tiario (Ti)	mg/Kg	0.20	31.84	32.04	31.23	32.55	17.40	28.97
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	29.41	30.31	28.3	28.48	28.77	26.18
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	66.21	66.30	63.00	62.41	64.64	61.89



Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - B

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T1 - Hoja - 128	T1 - Hoja - 1	T1 - Hoja	T2 - Hoja - 1	T2 - Hoja - 2	T2 - Hoja - 3
Código Laboratorio			1218774-04	1218774-05	1218774-06	1218774-12	1218774-14	1218774-15
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	44.68	55.24	99.13	83.57	24.01	16.02
Arsenico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	20.31	25.56	21.61	23.00	17.91	20.02
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	10.90	6.059	10.89	12.79	10.37	9.455
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	14215	9858	13197	15108	11546	11527
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	<LCM	0.395	0.455	0.344	0.265	<LCM
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	5.660	4.954	5.859	5.834	5.105	4.827
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	103.3	132.3	183.4	164.9	76.88	82.92
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.60	89137	72235	92631	92839	99759	99382
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	4750	4313	5519	5564	3272	4035
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	44.37	32.83	50.59	57.19	31.29	25.12
Mercurio (Na)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	0.209	<LCM	0.254
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1697	2405	1578	1761	1185	1455
Niquel (Ni)	mg/Kg	1.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	3381	3997	3063	2518	2671	2854
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	5.720	5.140	5.905	14.220	14.010	14.013
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/Kg	8.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	173.4	218.0	224.7	201.1	155.5	175.0
Estadío (Sn)	mg/Kg	1.70	<LCM	2.150	<LCM	1.740	<LCM	1.903
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	47.51	32.96	42.38	51.15	44.68	44.74
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	0.805	0.675	1.040	0.932	0.375	0.354
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.884	0.920	1.085	0.967	0.820	0.803
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	37.43	31.53	46.25	46.35	34.28	29.75



Cajamarca, 27 de Diciembre de 2018.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - B

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Hoja - 1	T3 - Hoja - 2	T3 - Hoja - 3	T4 - Hoja - 1	T4 - Hoja - 2	T4 - Hoja - 3
Código Laboratorio			1218774-22	1218774-23	1218774-24	1218774-21	1218774-22	1218774-23
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	43.77	39.14	47.28	66.94	43.82	19.07
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	19.35	19.28	16.47	19.99	18.39	16.41
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	9.912	10.11	9.92	13.73	9.410	10.92
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	10725	12807	10961	11831	12993	12070
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	0.843	0.779	<LCM	<LCM	0.220	0.320
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	6.636	6.202	4.285	4.390	4.091	4.381
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	120.4	137.5	106.2	164.6	102.0	99.07
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	88252	91823	100510	110939	99740	89928
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	3501	5283	3161	3551	4078	3811
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	90.61	62.67	31.62	28.15	36.50	30.88
Moibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.219	0.289	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	2375	1819	1529	1726	1740	1579
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	3063	2691	2448	2186	2097	2219
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	58.385	58.31	57.89	63.703	64.01	64.121
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	187.28	124.4	188.9	197.4	166.6	164.1
Estaño (Sn)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Stroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	41.30	42.12	41.30	49.15	49.13	43.33
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	0.653	0.505	0.546	0.661	0.534	0.320
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.628	0.578	0.610	0.666	0.674	0.600
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	45.87	43.15	29.17	24.42	32.46	27.87

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - C

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Raz - 1	T3 - Raz - 2	T3 - Raz - 3	T4 - Raz - 1	T4 - Raz - 2	T4 - Raz - 3
Código Laboratorio			1218774-26	1218774-28	1218774-27	1218774-34	1218774-36	1218774-38
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Raz	Raz	Raz	Raz	Raz	Raz
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	1151	1343	1063	1288	631.7	1032
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	12.71	10.34	9.340	9.330	8.862	10.17
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	33.98	15.51	14.68	21.07	10.72	18.21
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	8537	2674	2805	2932	2949	3043
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	0.839	0.880	0.593	0.744	0.400	0.654
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	1.129	1.042	0.863	0.884	0.315	0.579
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	8.610	4.542	5.024	5.721	4.433	4.962
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	1430	1849	1393	1989	812.2	1333
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	48404	34781	35073	26297	30767	31905
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1439	979.8	883.7	882.1	809.7	842.1
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	36.90	29.55	26.40	44.89	16.26	28.98
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.844	0.548	0.838	0.719	0.460	0.774
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1466	1472	934.5	865.6	1013	1130
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.80	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	2842	3367	2637	2405	2853	2347
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	12.245	12.041	12.851	35.19	35.072	35.218
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	0.324	0.474	0.330	0.339
Selenio (Se)	mg/Kg	8.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	263.9	266.2	357.8	323.4	427.7	350.0
Estadío (Sn)	mg/Kg	1.70	1.818	<LCM	1.944	1.847	1.749	1.782
Stroncio (Sr)	mg/Kg	8.60	46.26	23.58	22.91	25.29	19.84	26.75
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	8.725	9.942	7.720	9.440	4.968	7.482
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	3.920	3.331	2.871	3.544	1.784	2.715
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	26.20	18.48	19.53	18.74	14.96	16.52

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - C

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Raíz - 1	T3 - Raíz - 2	T3 - Raíz - 3	T4 - Raíz - 1	T4 - Raíz - 2	T4 - Raíz - 3
Código Laboratorio			1218774-25	1218774-26	1218774-27	1218774-34	1218774-35	1218774-38
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz	Raíz
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	1151	1343	1663	1288	631.7	1032
Arsenico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	12.71	10.34	9.340	9.330	8.662	10.17
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	33.96	15.51	14.68	21.07	10.72	18.21
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	8337	2674	2605	2932	2049	3043
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	0.839	0.680	0.593	0.744	0.400	0.654
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	1.129	1.042	0.663	0.864	0.315	0.579
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	6.610	4.542	5.024	5.721	4.433	4.962
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	1430	1849	1393	1989	812.2	1333
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	46404	34791	35073	29297	30767	31905
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1439	979.8	863.7	882.1	809.7	842.1
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	36.90	29.55	26.40	44.89	16.26	28.98
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.844	0.546	0.638	0.719	0.460	0.774
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1466	1472	934.5	865.6	1013	1130
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	2842	3367	2637	2495	2853	2347
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	47.966	46.120	46.190	50.678	51.216	50.915
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	0.324	0.474	0.330	0.339
Selenio (Se)	mg/Kg	8.60	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.90	263.9	266.2	357.8	323.4	427.7	360.0
Estadío (Sn)	mg/Kg	1.70	1.818	<LCM	1.944	1.647	1.749	1.792
Stroncio (Sr)	mg/Kg	8.80	46.26	23.58	22.91	25.29	19.84	26.75
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	8.725	9.942	7.720	9.440	4.968	7.462
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	3.920	3.331	2.671	3.544	1.784	2.715
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	29.20	18.48	19.53	18.74	14.96	16.52

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - A

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T1 - Suelo - 120	T1 - Suelo - 1	T1 - Suelo	T2 - Suelo - 1	T2 - Suelo - 2	T2 - Suelo - 3
Código Laboratorio			1218774-01	1218774-02	1218774-03	1218774-10	1218774-11	1218774-12
Matriz			SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	11814	13212	13334	11994	11729	11117
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	1.845	1.987	1.535	3.005	1.769	3.125
Boro (B)	mg/Kg	2.10	12.67	14.24	13.08	13.31	13.53	13.37
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	118.1	131.2	123.0	118.2	117.8	119.0
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	0.817	0.664	0.850	0.644	0.810	0.609
Cadmio (Cd)	mg/Kg	1.60	11515	10993	12324	9302	9635	10892
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cesio (Cs)	mg/Kg	0.20	5.585	7.559	6.234	6.807	6.792	5.733
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	7.516	8.838	8.089	7.500	7.505	7.825
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	18.16	21.57	18.72	16.46	17.07	17.88
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	19305	19385	18958	17891	18540	18058
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.80	2839	4389	2703	2841	2908	2884
Litio (Li)	mg/Kg	4.80	6.277	7.248	7.064	5.802	6.372	6.249
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1655	1677	1603	1480	1494	1575
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	420.8	546.4	417.8	391.9	381.5	382.3
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	1.393	1.570	1.535	1.257	1.239	1.258
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	193.3	297.3	188.8	143.5	171.8	168.4
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.80	8.442	7.297	6.909	6.782	7.005	6.532
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	1332	1521	1324	1887	1149	1329
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	26.73	26.25	27.95	75.89	76.27	75.745
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	1.393	1.634	1.440	1.649	1.564	1.573
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	213.1	185.0	188.1	208.1	208.8	218.5
Estaño (Sn)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	46.65	49.34	52.13	42.63	43.92	46.34
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	29.95	29.37	33.53	31.49	31.79	31.35
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	28.58	30.92	29.85	30.17	29.54	29.78
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	56.41	58.80	60.34	54.65	53.87	57.28

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - A

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Suelo - 1	T3 - Suelo - 2	T3 - Suelo - 3	T4 - Suelo - 1	T4 - Suelo - 2	T4 - Suelo - 3
Código Laboratorio			1218774-19	1218774-20	1218774-21	1218774-26	1218774-29	1218774-31
Matriz			SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	12454	12714	11390	11416	11663	10737
Antimonio (As)	mg/Kg	0.30	1.501	1.539	1.835	1.371	1.505	1.680
Boro (B)	mg/Kg	2.70	13.24	13.33	12.86	12.86	12.39	12.81
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	116.4	121.4	121.3	119.6	116.9	116.8
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	0.613	0.649	0.616	0.591	0.582	0.521
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	9531	10201	9565	9151	9894	11323
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	6.020	6.055	6.673	6.418	6.707	6.940
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	8.584	8.113	7.169	7.332	7.186	8.013
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	16.17	16.06	16.39	16.61	17.20	15.93
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	17815	18189	17431	16890	17117	18272
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	3503	2897	2604	2696	3032	2788
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	6.766	6.844	6.921	6.135	6.619	6.736
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	1566	1571	1427.4	1421.8	1496	1413
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	358.1	391.2	365.3	387.93	361.4	378.6
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	1.337	1.334	1.293	1.172	1.175	1.268
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	262.6	173.5	305.1	169.2	163.8	161.0
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.60	6.444	6.784	6.404	6.289	6.014	6.264
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	1327	1171	1218	1106	1293	1157
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	116.162	115.485	116.972	115.871	116.215	116.01
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	1.471	1.564	1.372	1.485	1.285	1.397
Selenio (Se)	mg/Kg	6.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	195.4	218.5	210.0	367.6	101.9	246.7
Estato (Sr)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.00	45.64	45.32	43.01	43.02	45.14	46.17
Talio (Tl)	mg/Kg	0.20	31.84	32.04	31.33	32.55	17.40	28.97
Tanio (Ta)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	29.41	30.31	28.3	28.48	26.77	28.18
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	56.21	56.30	53.00	52.41	54.64	51.99

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.





INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - B

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T1 - Hoja - 123	T1 - Hoja - 1	T1 - Hoja	T2 - Hoja - 1	T2 - Hoja - 2	T2 - Hoja - 3
Código Laboratorio			1218774-04	1218774-05	1218774-06	1218774-13	1218774-14	1218774-15
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	7.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	44.68	55.24	99.13	83.57	24.01	16.02
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	20.31	25.56	21.61	23.00	17.91	20.02
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	10.90	6.059	10.69	12.79	10.37	9.455
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.00	14215	9958	13197	15108	11546	11627
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	<LCM	0.395	0.455	0.344	0.265	<LCM
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	6.960	4.954	6.869	6.634	6.105	4.627
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	103.3	132.3	183.4	164.9	76.86	62.92
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.50	89137	72235	92631	92935	99759	99382
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	4750	4313	5519	5564	3272	4035
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	44.37	32.83	50.59	57.19	31.29	25.12
Moibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	0.209	<LCM	0.254
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	1697	2405	1578	1761	1185	1455
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	3381	3997	3063	2516	2671	2854
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	5.720	5.540	5.905	14.220	14.910	14.813
Amonio (Se)	mg/Kg	0.10	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	173.4	216.0	224.7	201.1	155.5	175.0
Estanho (Sn)	mg/Kg	1.70	<LCM	2.150	<LCM	1.740	<LCM	1.903
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	47.51	32.96	42.98	51.15	44.68	44.74
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	0.505	0.675	1.040	0.932	0.375	0.354
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.884	0.920	1.085	0.967	0.620	0.603
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	37.43	31.53	46.28	46.35	34.28	29.75



Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018.



INFORME DE ENSAYO N° IE 1218744 - B

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			T3 - Hoja - 1	T3 - Hoja - 2	T3 - Hoja - 3	T4 - Hoja - 1	T4 - Hoja - 2	T4 - Hoja - 3
Código Laboratorio			1218774-22	1218774-23	1218774-24	1218774-31	1218774-32	1218774-33
Matriz			PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA	PLANTA
Descripción			Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja	Hoja
Localización de la Muestra			UNC	UNC	UNC	UNC	UNC	UNC
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	43.77	39.14	47.28	66.94	43.82	19.07
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/Kg	2.10	19.35	19.25	16.67	19.99	18.39	16.41
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	9.912	10.11	9.92	13.73	9.410	10.92
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	10725	12807	10991	11831	12993	12070
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	0.843	0.779	<LCM	<LCM	0.220	0.320
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	6.636	6.202	4.265	4.390	4.091	4.381
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	120.4	137.6	106.2	164.6	102.0	99.07
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	88252	91823	100510	110939	99740	89928
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	3501	5293	3161	3551	4078	3811
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	60.61	62.67	31.62	28.15	35.50	30.88
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	0.219	0.289	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	2375	1819	1529	1726	1740	1679
Níquel (Ni)	mg/Kg	1.80	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	3063	2691	2446	2186	2097	2219
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	53.385	58.31	57.86	63.703	64.01	64.121
Platino (Pt)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/Kg	0.50	187.28	124.4	188.9	197.4	186.6	164.1
Estadío (Sr)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Stroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	41.30	42.12	41.30	49.15	49.13	43.33
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	0.663	0.505	0.545	0.661	0.534	0.320
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.628	0.578	0.610	0.666	0.674	0.600
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	46.87	43.15	29.17	24.42	32.45	27.87

Cajamarca, 21 de Diciembre de 2018

