



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

Modelo de decaimiento de biomasa de la especie *Taraxacum officinale* para predecir el potencial de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados y asistidos con enmiendas orgánicas ácidas

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Cabanillas Tafur, Angelica Yeni (0000-0002-3880-5053)

Quispe Pantoja, Bryan Elías(0000-0002-3077-0722)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline(0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2019

Dedicatoria

La presente tesis se la dedicamos principalmente a nuestros padres, por tanta dedicación, apoyo y paciencia durante toda nuestra etapa universitaria, guiándonos a cumplir nuestras metas.

A nuestras familias, amigos por cuidarnos y apoyarnos y toda persona que ha influido positivamente en nosotros y haya hecho posible todo este trabajo forjado con mucho esfuerzo y dedicación.

Agradecimiento

A nuestras padres y hermanos; por mucho amor y dedicación, eternamente agradecidos por su apoyo incondicional e incentivarnos en ser mejores cada día.

A la Mg. Rita Jaqueline Cabello Torres, por su completo apoyo, conocimiento y dedicación para el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Victor Meza Contreras, por su apoyo, conocimiento y dedicación para el desarrollo de la tesis.

A la universidad César Vallejo mi alma mater, por forjarnos en nuestra formación académica.

ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	10
2.1 Tipo y diseño de investigación	10
2.2 Variables, operacionalización.....	11
2.3 Población y muestra.....	13
2.3.1 Población	13
2.3.2 Muestra	13
2.3.3 Tipo de muestreo	13
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez confiabilidad.....	14
2.4.1 Técnicas e instrumentos	14
2.4.2 Validez y confiabilidad	14
2.5 Descripción del procedimiento.....	15
2.6 Método de análisis de datos.....	20
2.7 Aspectos éticos	20
III. RESULTADOS	21
IV. DISCUSIÓN.....	25
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS	34
ANEXOS	45

Índice de tablas

Tabla N° 01: <i>Taxonomía de la especie Taraxacum officinale</i>	5
Tabla N° 02: <i>Cuadro resumen de diseño</i>	10
Tabla N° 03: <i>Operacionalización de variables</i>	12
Tabla N° 04: <i>Validación de equipos para determinar los parámetros fisicoquímicos</i> ..	14
Tabla N° 05: <i>Análisis fisicoquímicos de suelo y planta</i>	20
Tabla N° 06: <i>Caracterización de suelo inicial de Huachipa – Lurigancho Chosica</i> ..	21
Tabla N° 07: <i>Caracterización del Vermicompost</i>	21
Tabla N° 08: <i>Resultados de fisicoquímicos de las muestras enriquecidas iniciales</i> ...	22
Tabla N° 09: <i>Crecimiento de las plantas frente a la bioacumulación de Pb</i>	23
Tabla N° 10: <i>Prueba T de muestras emparejadas</i>	24
Tabla N° 11: <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)</i>	24
Tabla N° 12: <i>Descriptivos</i>	24
Tabla N° 13: <i>%Remoción de Pb en suelo</i>	25
Tabla N° 14: <i>Factor de Translocación y Bioacumulación de la especie Taraxacum officinale</i>	29

Índice de cuadros

Cuadro N° 01: <i>Modelo de bioacumulación Pb en planta a distintos niveles de contaminante en el suelo en el programa JMP</i>	26
Cuadro N° 02: <i>Modelo de efecto de crecimiento de la planta bajo distintos niveles de Pb bioacumulado</i>	27

Índice de figuras

Figura N° 01: <i>Mecanismos de fitorremediación aplicables a metales pesados</i>	3
Figura N° 02: <i>Lugar del estudio</i>	13
Figura N° 03: <i>Flujograma de investigación</i>	15
Figura N° 04: <i>Distintos modelos matemáticos ajustados en cada iteración</i>	28
Figura N° 05: <i>Recolección del suelo 360 kg separados por parcelas cada una contiene 24 kg.</i>	48
Figura N° 06: <i>Determinación pH, CE y potencial redox, M.O</i>	50
Figura N° 07: <i>Determinación digestión por absorción atómica en suelo y especie. – Laboratorio de Biotecnología, Universidad César Vallejo</i>	51

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar los modelos de decaimiento de biomasa de la especie *Taraxacum officinale* que acumulan Pb desde suelos agrícolas contaminados y asistidos con enmiendas orgánicas ácidas para predecir el potencial de fitorremediación. En base a informaciones obtenidos de artículos, revistas, estudios publicados, libros entre otros. La investigación inicio con la selección de la especie *Taraxacum officinale* por su abundancia y fácil adaptabilidad ante cualquier tipo de medio con alto estrés de contaminantes. Las muestras se suelos fueron recolectadas de Huachipa, de la cual se realizó una caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas como pH, materia orgánica, Redox y conductividad. Se cultivaron semillas de *Taraxacum officinale* durante un mes para luego realizar el trasplante. Se fortaleció el suelo agrícola artificialmente con concentraciones de 100 mg/kg, 500 mg/kg, 1000 mg/kg y 2000 mg/marzo. Luego, se aplicó 3 tratamientos por concentración que son el control, jugo de naranja + vermicompost y vermicompost.

Finalmente, se realizaron 5 análisis de los parámetros fisicoquímicos y Pb en 2 meses. A través de los datos obtenidos se observó que entre los modelos de crecimiento Weibull, Exponencial de 3 parámetros, logístico de 3 parámetros y lineal, dando como resultado mejor correlacion en la función Logístico de 3 parámetros para concentración de Pb en el suelo vs concentración del Pb aéreo, con una correlación de 0.9811961 y un p valor < 0.05 , la funciones exponenciales de 3 parámetros para peso seco del aéreo vs concentración de Pb en el aéreo y concentración de Pb en raíz vs concentración de Pb en el suelo, con una correlación de 0.9428641 y 0.98817 respectivamente y un p valor < 0.05 , la función lineal se ajusta mejor para peso seco en la raíz vs concentración de Pb en la raíz, con una correlación de 0.8638223 y un p valor < 0.05 .

Palabras clave: Enmienda orgánica, plomo, factor de bioacumulación, factor de translocación.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the biomass decay models of the *Taraxacum officinale* species that accumulate Pb from contaminated agricultural soils and assisted with acidic organic amendments to predict the potential for phytoremediation. Based on information obtained from articles, magazines, published studies, books among others.

The investigation began with the selection of the *Taraxacum officinale* species for its abundance and easy adaptability to any type of medium with high contaminant stress. The samples were collected from Huachipa, from which a characterization of some physicochemical properties such as pH, organic matter, redox and conductivity was performed. *Taraxacum officinale* seeds were grown for a month and then transplanted. Agricultural soil was artificially strengthened with concentrations of 100 mg / kg, 500 mg / kg, 1000 mg / kg and 2000 mg / March. Then, 3 treatments were applied per concentration that are the control, orange juice + vermicompost and vermicompost.

Finally, 5 analyzes of the physicochemical parameters and Pb were performed in 2 months. Through the data obtained it was observed that among the Weibull, Exponential 3-parameter, 3-parameter and linear growth models, resulting in a better correlation in the 3-parameter Logistic function for Pb concentration in the soil vs. concentration of the soil. Aerial Pb, with a correlation of 0.9811961 and a p value <0.05, the exponential functions of 3 parameters for dry air weight vs. airborne concentration of Pb and root Pb concentration vs. ground Pb concentration, with a correlation of 0.9428641 and 0.98817 respectively and a p value <0.05, the linear function is best adjusted for dry root weight vs Pb concentration at the root, with a correlation of 0.8638223 and a p value <0.05.

Keywords: Organic amendment, lead, bioaccumulation factor, translocation fact.

I. INTRODUCCIÓN

La polución de suelos por metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, As, Cu) forma parte de los problemas más trascendentales que aqueja a la humanidad, debido a su alta toxicidad y su poca degradabilidad de estos elementos (Syam, et al., 2016, p.13; Covarrubias, 2015, p.40, Hou, et al., 2017, p.1). En el transcurso de los años la problemática se ha incrementado debido a la presencia de diversas fuentes contaminantes como el sector minero, sector agroindustrial, metalurgia incluyendo procesos naturales (Saravanan, et al., 2019, p.1, Kim y Hyun, 2015, p1).

Estas actividades no solo representan un desarrollo económico y social sino también una fuente de contaminación muy tóxica, los metales pesados en el suelo agrícola tienen efectos tanto directos como indirectos en la salud pública a través del consumo de alimentos (Shen et al., 2017, p. 19, Zhan et al., 2018, p. 892).

Originalmente los metales pesados permanecen durante períodos extremadamente largos al no ser biodegradables (Majumdar, et al., 2018, p.118, Kaur, et al., 2018, p. 1), y coexisten en ecosistemas naturales y tienen efectos importantes en el microambiente del suelo al influir en la fisiología de la planta (Huang et al., 2016, p, 269; Jia et al., 2016, p.1, Najeeb et al., 2017, p. 2), algunos de estos elementos, es decir, Cd, Pb, As, etc., no son esenciales y producen síntomas de toxicidad en niveles muy bajos en las plantas, mientras que otros sí son esenciales como el Cu, Fe, Ni, Mn, Zn ayudando al crecimiento de las plantas, pero en proporciones mínimas ya que si la concentración es más alta de lo necesario podría crear en estrés fisiológico (Alloway, 2013,p.12; Ul-Hassan et al., 2017, p. 351, Sandeep, Vijayatha y Anitha, 2019, p. 1612).

La descontaminación de suelos contaminados con metales pesados es un problema principal interés en la legislación ambiental y técnicas convencionales para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, tales como, el aislamiento, contención, solidificación, estabilización, lavado de suelos, y remediación electrocinética, son costosas y no son amigables con el medio ambiente (Ashraf, et al., 2019, p.716, Jiang et al., 2019, p. 502). En consecuencia, la generación de métodos de reparación de superficies contaminados con metales pesados se ha convertido en una necesidad urgente (Zhang, et al., 2016, p.1) que sean menos complejas y eficientes.

En los últimos años, la fitorremediación se ha convertido una técnica sostenible y prometedora para la remediación del suelo debido a su naturaleza rentable y respetuosa con

el medio ambiente (Kumar et al., 2017, p. 242, Martin y Ruby, 2004, p. 35). En general, la fitorremediación usualmente usa plantas de alta biomasa para extraer metales del suelo al absorberlos en el tejido vegetal cosechable (Shahid, et al., 2013, p.390). La efectividad de los métodos de fitorremediación depende de muchos factores, principalmente de la bio-disponibilidad de contaminantes para las raíces de las plantas y los procesos de absorción, translocación y acumulación de contaminantes por las plantas (Grobela y Napora, 2015, p. 2).

Esta actividad es también llamada agro-remediación, botano-remediación o remediación verde. La fitorremediación es la mejor alternativa para tratar suelos contaminados con metales de bajos a medios y se puede aplicar en combinación con otros enfoques tradicionales de remediación del suelo para la eliminación eficiente de contaminantes (Cunningham y Ow, 1996, p. 718; Helmisaari et al., 2007, p. 1145; Khalid et al., 2017, p. 247). Además, es un mecanismo amigable con el medio ambiente en el que las plantas de rápido crecimiento se usan para eliminar, retener o proporcionar contaminantes no tóxicos en el suelo o el agua (Mahar et al., 2016, p. 113). Es una forma estética, económica y respetuosa con el medio ambiente de desintoxicar contaminantes (Zhang et al., 2017, p. 162).

La fitorremediación puede ser exitosa cuando las especies de plantas usadas pueden absorber y almacenar una alta concentración de contaminantes metálicos en sus partes de brotes. La tecnología de fitorremediación se agrupa en cinco subclases que incluyen fitoestabilización, fitoestimulación, fitotransformación, fitofiltración y fitoextracción (Pilon – Smits, 2005, p.19) (Figura 1).

Se sabe que la acumulación de metales pesados produce respuestas fisiológicas y bioquímicas significativas en las plantas vasculares (Bretzel, Benvenuti y Pistelli, 2013, p. 2326). Como afirman Preeti y Tripathi (2011, p. 1009), existe una relación directa entre las características químicas del suelo, la concentración de metales pesados y las respuestas morfológicas y bioquímicas de las plantas. Sin embargo, las respuestas metabólicas y fisiológicas de las plantas a la concentración de metales pesados pueden verse como cambios potencialmente adaptativos de las plantas durante el estrés.

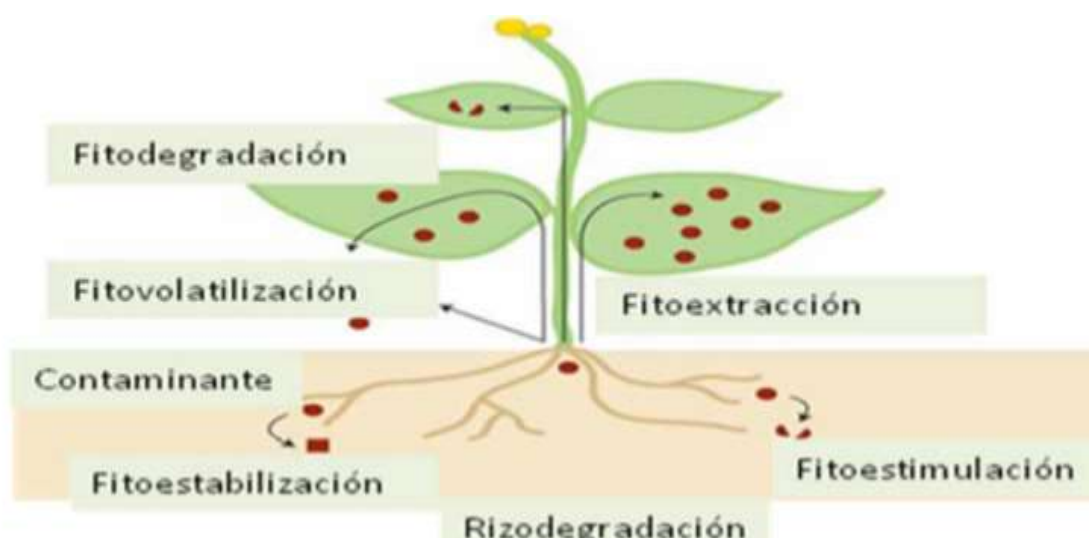


Figura 1. Mecanismos de fitorremediación aplicables a metales pesados

Las plantas que crecen en sitios mineros abandonados y suelos naturalmente enriquecidos son de particular interés en esta perspectiva, ya que son genéticamente tolerantes a altas concentraciones de metales, según lo informado por varios autores (Vanni, et al., 2015, p. 1; Gómez-Arroyo, et al., 2018, p.4740; Giuliani et al., 2008, 376), que estudiaron la flora serpentina endémica (*Alyssum bertoloni*, *A. murale*, *Silene paradoxa*, *Stachys serpentini*, *Thymus ophioliticus*) en varios sitios del mundo y que probablemente son acumuladores de metales o tolerantes.

Comprender los mecanismos de bioacumulación de metales por especies de plantas y de bioreducción de metales por microorganismos es una pista de la eficacia de las técnicas de fitorremediación. La localización y la forma química de los metales en las células son información clave para este propósito (Cheng, et al., 2019, p.2). Después de su asimilación por las plantas, los metales pesados podrían interferir con los procesos metabólicos y son potencialmente tóxicos (Lopareva-Pohu et al., 2011, p. 1726, Kováčik, et al., 2019, p.4).

La fitotoxicidad produce clorosis, crecimiento débil de la planta, disminución del rendimiento y puede estar acompañada de trastornos en el metabolismo de la planta (Kováčik, et al. 2016, p.160), la plasmólisis y la reducción de la producción de clorofila y carotenoides (Corradi, Bianchi y Albasini, 1993, p. 405). Un hallazgo reportado por Vasquez, Poschenrieder y Barceló (1992, p. 225) el Cd y Pb en vacuolas y núcleos de raíces de frijol al no ser esenciales para la nutrición de las plantas, se sugiere que probablemente estén confinados en las raíces por un efecto barrera como estrategia de defensa durante el

estrés. Por el contrario, los metales esenciales como Zn y Cu se trasladan fácilmente a las partes aéreas.

Entre las plantas silvestres, el diente de león común (*Taraxacum officinale* web) ha recibido atención (Królak, 2003, p. 713; Simon, Martín y Adriano, 1996, p. 351) como planta bioindicadora, y también se ha sugerido en proyectos de remediación (Cheng et al., 2019, p. 7), dada su capacidad para absorber y almacenar metales pesados en los tejidos aéreos. *T. officinale* es una especie muy común, ampliamente difundida en Europa central y meridional, fácil de identificar y muy adaptable a cada sustrato (Keane et al., 2001, p. 63) (Tabla 1).

Estudios previos de Wahsha et al., (2012, p, 112) investigaron la concentración de metales pesados en los suelos desarrollados a partir de desechos de minas y las plantas silvestres (*Salix eleagnos*, *Salix purpurea*, *Salix caprea*, *T. officinale*,) que crecen en esos suelos contaminados, con el fin de determinar la extensión de la dispersión de metales pesados y la absorción por metales conocidos y no declarados especies de plantas tolerantes. Los resultados mostraron que *T. officinale* es una especie tolerante a altas concentraciones de metales, y sugirió su uso como planta bioindicadora. Los metales se acumulan preferentemente en las raíces, pero también dejan órganos acumuladores probados, pudiendo almacenar hasta 129 mg kg⁻¹ Pb y 160 mg kg⁻¹ Zn, mostrando solo pequeños daños (por ejemplo, superficie foliar reducida, desarrollo de plantas reducido).

La eficiencia de la fitorremediación puede aumentarse mediante el uso de agentes quelantes y acidificantes, aplicando corriente eléctrica en el suelo, usando químicos orgánicos e inorgánicos y fertilizantes, cultivando plantas transgénicas, usando bacterias y aplicando reguladores del crecimiento de plantas (Wei, et al., 2010, p.480, Galende et al., 2014, p. 181); sin embargo, el empleo de fertilizantes tiene que ser meticuloso, ya que puede tener reacciones no beneficiosas como el deterioro del suelo y la planta acumuladora. Entre las enmiendas químicas más usadas se reporta el Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), calificado como agente complejante alto en la fitorremediación (Chigbo y Batty, 2013, p. 8961), sin embargo, esta enmienda química a pesar de su alta eficiencia para inducir la extracción de metales, ha sido motivo de preocupación respecto a la mayor movilidad de los metales en el suelo y sus riesgos potenciales de propagación de metales a las aguas subterráneas y al ambiente circundante (Lermanda, et al., 2009, p.138). Ante la preocupación de los efectos que produce estas enmiendas químicas se empezó a aplicar materiales

orgánicos fácilmente biodegradables, menos tóxico, eficiente en la fitorremediación y con menor riesgo ante el ambiente circundante (Baudhdh y Singh, 2015, p.94).

Tabla 1. Taxonomía de la especie *Taraxacum officinale*

Taxonomía	
Familia	Asteraceae
Género	<i>Taraxacum</i>
Especie	<i>officinale</i>
Morfología	
Raíz	Vigorosa, napiforme.
	30 cm de longitud, 1 a 3 cm de ancho.
Tallo	Hueco, erecto, de 10 a 50 cm de alto.
Hojas	Alargadas de 20 a 40 cm, con bordes dentados y microvellosidades.
Inflorescencia	Flores con corola amarilla, hermafroditas
	Diámetro aproximado 25 mm
Fruto	Aquenio, pardo;
	Posee vilano con 60 cerdas blanquecinas de 5 a 8 mm
Requerimientos ecológicos	Aunque es capaz de crecer en diversas condiciones ambientales, su desarrollo es favorecido por las siguientes:
	Luz: Plena
	Temperatura: Calor moderado
	Humedad: moderadamente secos a húmedos
	Acidez: débilmente ácidos pH 4.5-7.5

Fuente: Elaboración propia, 2019

Entre los reguladores orgánicos eficaces del crecimiento de las plantas para mejorar la fitorremediación están las enmiendas orgánicas; la actividad de estos materiales depende de su concentración, tanto como los factores ambientales que afectan su absorción y el estado fisiológico de la planta, usualmente incrementa la biomasa de la planta y reduce los efectos negativos de los contaminantes presentes en la planta (Santana, et al., 2015, p.173; Rostami y Azhdarpoor, 2019, p.820)

Para beneficiar a la planta en su crecimiento y en la fitorremediación se emplearon enmiendas orgánicas que ayuden a la solubilización de metales (Munive, et al., 2018, p.558), entre estas están, el vermicompost, que es un producto empleado como mejorador de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Sharma y Garg, 2018, p. 373) actuando así en beneficio de la calidad del suelo, mediante su acondicionamiento y crecimiento de las plantas.

El ácido cítrico presenta una buena eficiencia en la solubilización de Pb en el suelo (Freitas et al., 2013, p. 1795). Esto es debido a su bajo pH puede ayudar a solubilizar a los metales pesados y favorecer a técnicas o tratamientos en suelos contaminados por metales pesados. La capacidad de una planta como fitorremediador se puede estimar mediante los factores de Bioacumulación (FBA) y Translocación (FT) (Yoon et al., 2006, p. 461), estos factores definen la cantidad de concentración del contaminante que es la captación de iones metálicos por la planta, también se puede emplear para diferenciar entre las plantas su capacidad de absorber los metales de los suelos y trasladarlos a sus brotes (Alaboudi, Ahmed y Brodie, 2018, p. 2).

El factor de bioacumulacion (FBA), se entiende como la relación entre la concentración total de metal en tejido en el brote recolectado (hoja, tallo, corteza y rama) y la concentración total de metal el suelo donde la planta estaba creciendo (Hammami et al., 2015, p. 49; Saravanan et al., 2019, p.3).

Fórmula:

$$FBA = \frac{C_t Brote}{C_t Suelo} \quad (1)$$

Donde, C_t Brote y C_t Suelo son la concentración total de metales presentes en el brote (hoja; tallo; corteza y rama) y el suelo respectivamente.

El factor de translocación (FT), se conoce como la capacidad de la planta para captar y distribuir a través del cuerpo de la planta. A su vez, se entiende como la relación de la

concentración total de metales pesados en los brotes (hoja, tallo, corteza y rama) y la concentración total de metales en la raíz (Ganeshkumar et al., 2018, p. 6; Hammami et al., 2015, p. 49).

Fórmula:

$$FT = \frac{C_t \text{Brote}}{C_t \text{Raíz}} \quad (2)$$

Donde, C_t Brote y C_t Raíz son la concentración de metales presentes en el brote (hoja; tallo; corteza y rama) y la raíz de la planta respectivamente.

En base a que existe información escasa con respecto al comportamiento de esta especie, se pretende generar datos suficientes con respecto al comportamiento de la planta *Taraxacum officinale* a través de modelos de dosis – respuesta para futuras exploraciones. Asimismo, saber cuál es el mecanismo que desarrolla la fitorremediación con plomo aplicando enmiendas orgánicas ácidas, para lo cual se requiere un modelo predictivo para aplicaciones de esta metodología en cualquier lugar del mundo.

Los documentos de revisión (Cheng, et al., 2019, p. 3, Bech, et al., 2016, p. 68) han resumido las especies de plantas acumuladoras de metales pesados, entre ellas el Diente de León, empleados en la fitorremediación teniendo como resultados un valor de 1 como factor de bioacumulación (FBC) y un valor máximo de 0.74 de translocación (FT), demostrando la excelente capacidad de acumulación y tolerancia que posee el *Taraxacum officinale* para la aplicación en esta técnica. Estudios anteriores (Chigbo y Batty, 2013, p. 8955, Kaur et al., 2018, p. 309) enfatizaron el favorecimiento que brinda los agentes quelantes y acidificantes orgánicos en la fitorremediación haciéndolas más eficientes.

El modelo de decaimiento de biomasa, entendiéndose como la relación entre la cantidad de contaminante absorbida por la planta y el rendimiento de la biomasa, se expresa en distintos modelos con la finalidad de predecir la cantidad de contaminante que puede extraer dicha planta (Juang, Lai y Chen, 2011, p. 123). La relación del peso seco con la toxicidad del contaminante se usa como un índice para evaluar la tolerancia a los contaminantes de las plantas, estos modelos más adecuados son de decaimiento lineal, exponencial y logarítmico. (Bo-ching, Hung-Yu y Kai-Wei, 2012, p. 393). Un estudio realizado por Bo-Ching, Hung-Yu y Kai-Wei, 2012, menciona que el modelo que se adecuó más es el de función línea que explica la relación entre el peso seco y concentración del contaminante (p. 393),

esta función fue empleada para predecir la cantidad de metales que puede extraer la planta, que son expresadas respectivamente de la siguiente manera:

$$f(x)_L = a-bx \quad (3)$$

Según Zeng (2010) La función lineal es utilizada para ejecutar una relación directa entre el tejido vegetal y las concentraciones de metal en el suelo, por otro lado Cheng (2012) en su estudio menciona que la función lineal se utilizó para predecir la relación entre el vegetal y el peso seco trabajando con otros modelos, mostrando que la función lineal es utilizada para estudiar la relación entre las concentraciones de contaminante en la especie y el peso de la planta, sin embargo no es la más adecuada según ajustes de R² (P.398).

Entre los modelos que se emplean para predecir la estimación de parámetros es de crecimiento de weibull. El modelo predictivo Weibull es una función matemática o no lineal que proporciona estimaciones directas de varios parámetros biológicos importantes, incluido el máximo crecimiento mínimo, respuesta de crecimiento, umbral de toxicidad, y umbral de toxicidad máxima (Taylor, Stadt y Dale, 1991, p.360)

$$a) \text{ Modelo Logístico } Y = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-kx}} \quad (4)$$

$$b) \text{ Modelo Weibull } Y = \alpha - \beta e^{-kx^\delta} \quad (5)$$

$$c) \text{ Modelo Exponencial } Y = \alpha e^{-e^{\beta - kx}} \quad (6)$$

Donde, α ; el valor de la asíntota, β ; valor del crecimiento de las plantas en la etapa inicial, κ ; relación de crecimiento neto, δ ; parámetro en el punto de inflexión (Karadavut, 2010, p. 228)

El modelado cinético utilizando la ecuación logística se estableció para variación de la biomasa en el tiempo, además, explica la estrategia supervivencia en función de dosis de contaminante (Lal et al., 2019, p. 268). Este modelo cinético produce la curva logística, es decir, una sigmoideal curva que representa la variación de la tasa de crecimiento en función del tiempo que puede ser expresado matemáticamente como en la ecuación. La forma de la curva logística dependerá de la magnitud de la tasa de crecimiento, por ejemplo, tienen una forma de S cuando X es igual a 1, si es iguales a 0.4 es lineal y si es igual a 4 convexa (Gou, et al., 2019, p. 3). Si posee una forma de S, tiene tres fases: (1) una tendencia de pendiente suave, (2) una fase de transición con una tendencia ascendente más pronunciada y (3) una

fase en la que la velocidad de transporte es casi máxima. Si es convexa, tiene dos fases: (1) una fase de una fuerte tendencia ascendente y (2) una fase en la que la velocidad de transporte es casi máxima. Cuando X es igual a 0.4, la curva logística aparece aproximadamente lineal (Gou, et al., 2019, p. 4).

Según (Ufuk 2010, p.230) el modelo exponencial es una función relacionada con la tasa de crecimiento de la biomasa, así como la estimación del proceso de crecimiento, para evaluar el crecimiento de los órganos foliares de la especie. Este modelo fue adecuado para ajustarse a los datos de crecimiento de la especie. Por otro lado, Panda (2017) utilizó el modelo de Gompertz para realizar el estudio de la cinética de crecimiento de una bacteria que es ajustado con una alta correlación con el modelo de Gompertz (dependiendo del valor R² de la curva), basándose en una relación exponencial entre la tasa de crecimiento específica y la densidad de la población (p 54).

Para la formulación del problema se tomó como referencia a la realidad problemática indicando ¿Cómo los modelos de decaimiento de biomasa pueden predecir el potencial de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados con Pb cultivando la especie *Taraxacum officinale* asistido con enmiendas orgánicas ácidas? Y los problemas específicos que se presenta es ¿Cuál es el efecto de las enmiendas sobre el desarrollo vegetal durante el proceso de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados con Pb? y ¿Cuál es el efecto de la bioacumulación de Pb en el desarrollo de la biomasa de la especie *Taraxacum officinale* que se puede predecir en el proceso de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados?

La investigación ha modelado el estudio de la evaluación que explica el proceso de fitorremediación de suelos contaminados con Pb usando *Taraxacum officinale* asistido por enmiendas orgánicas, dichas enmiendas serán el vermicompost y vermicompost + jugo de naranja. De tal manera, se planteó las siguientes hipótesis teniendo como a la hipótesis general es: los modelos de decaimiento de biomasa en la fitorremediación de suelos agrícolas contaminados con Pb cultivando la especie *Taraxacum officinale* y asistidas con enmiendas orgánicas ácidas permiten predecir el potencial de fitorremediación, mientras que la hipótesis específica menciona que, las enmiendas orgánicas ácidas aplicadas en suelos agrícolas contaminados con Pb mejoran la calidad de los suelos y disminuye el decaimiento de la biomasa con la acumulación del metal, y como segunda hipótesis específica, la bioacumulación de Pb en la especie *Taraxacum officinale* genera un decaimiento de la biomasa que es posible predecir para mejorar el potencial de fitorremediación de la especie

De la misma manera en este estudio planteo como objetivos i) Evaluar los modelos de decaimiento de biomasa de la especie *Taraxacum officinale* que acumulan Pb desde suelos agrícolas contaminados y asistidos con enmiendas orgánicas ácidas para predecir el potencial de fitorremediación. ii) Determinar el efecto de los suelos enmendados sobre el desarrollo vegetal durante el proceso de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados con Pb asistidos por enmiendas orgánicas ácidas. iii) Determinar el efecto de la bioacumulación de Pb en la especie *Taraxacum officinale* para predecir el decaimiento de la biomasa durante el proceso de fitorremediación de suelos agrícolas.

II. MÉTODO

2.1 Tipo y Diseño de investigación

Es un estudio completamente experimental, ya que manipula intencionalmente una variable independiente para evaluar los probables efectos sobre las variables dependientes, donde se pretende establecer un efecto en consecuencia de una manipulación de pre y post prueba; debido a que maneja las dos variables; para observar los cambios que ocurran en el proceso de descontaminación de este estudio. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.122)

Tabla 2: Cuadro resumen de diseño

Concentración de Pb en suelos	Muestras	Cantidad de parcelas	Especie <i>Taraxacum officinale</i>	Análisis de suelo y planta	
C0 – no hay concentración	72 kilos	3 parcelas pequeñas que contiene 24 kg de suelo	Se plantó 12 especies por parcelas, 2 repeticiones	Cada	Análisis fisicoquímicos.
C1 – 100 mg/kg	72 kilos	3 parcelas pequeñas que contiene 24 kg de suelo	Se plantó 12 especies por parcelas, 2 repeticiones		Análisis Morfológicos.

C2 – 500 mg /kg	72 kilos	3 parcelas pequeñas que contiene 24 kg de suelo	Se plantó 12 especies por parcelas, 2 repeticiones	15 días, 30 días, 45 días,	Análisis de concentración de Pb de suelos. Análisis de concentración de Pb en la especie.
C3 – 1000 mg/kg	72 kilos	3 parcelas pequeñas que contiene 24 kg de suelo	Se plantó 12 especies por parcelas, 2 repeticiones	60 días	
C4 – 2000 mg/kg	72 kilos	3 parcelas pequeñas que contiene 24 kg de suelo	Se plantó 12 especies por parcelas, 2 repeticiones		
TOTAL	360 kg	15 parcelas	180 especies	60 días de tratamiento	

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.2 Variables, operacionalización

Variable independiente:

- Modelo de decaimiento de biomasa de la especie *Taraxacum officinale*.

Variable dependiente:

- Predicción del potencial de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados y asistidos con enmiendas orgánicas ácidas

Tabla 3: Operacionalización de variables

	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
GENERAL	Modelo de decaimiento de biomasa	Factores de concentración	Factor de bioconcentración de Pb	ORDINAL
			Factor de translocación de Pb	ORDINAL
		Ajuste de modelos	WeibullWeibull, lienal, exponencial y logisitco	ORDINAL
ESPECIFICO	Predicción del potencial de fitorremediación	Crecimiento de la planta	Peso aéreo	ORDINAL
			Peso de la raíz	ORDINAL
		Metales extractables de suelos	Concentración de Pb en suelos	ORDINAL

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.3 Población y Muestra

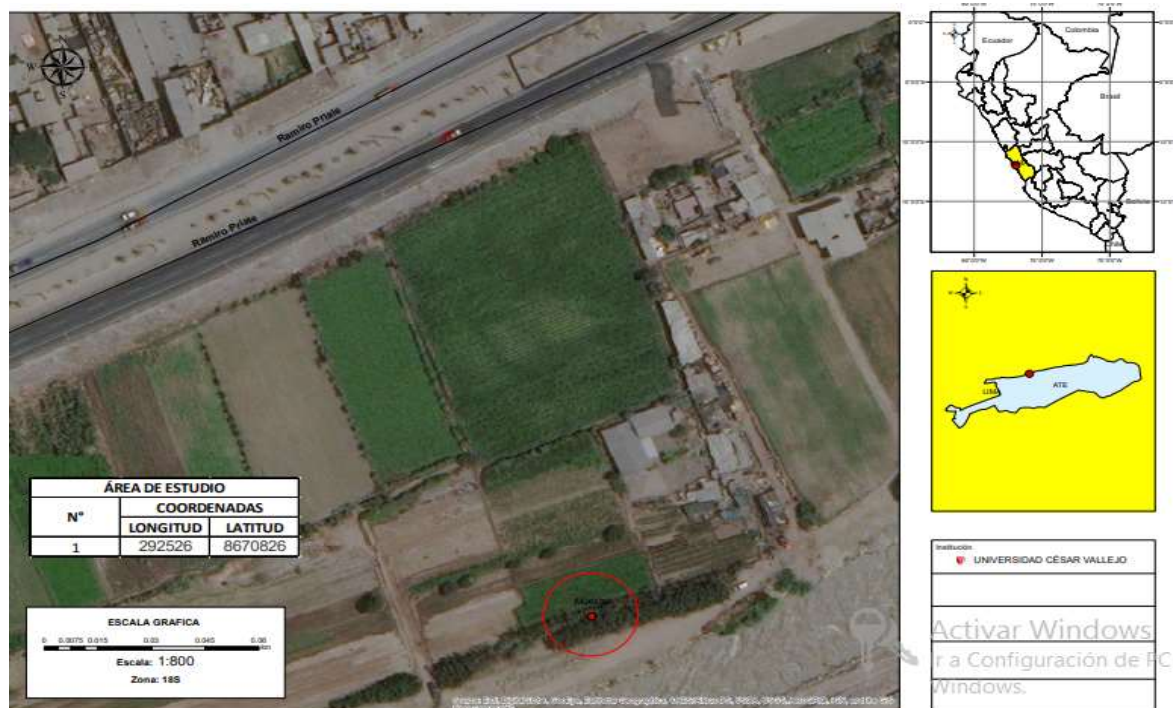
2.3.1 Población

Suelos agrícolas del Distrito de Lurigancho – Chosica (Huachipa), se encuentra limitada por el sur con el río Rímac (Ate) y por el oeste con el distrito de San Juan de Lurigancho. El área donde se obtuvo el suelo agrícola se seleccionó por cumplir ciertas características óptimas para este estudio.

2.3.2 Muestra

Se recolectó de 360 kg de muestra de suelos para la investigación; 24 kilos de suelo por cada parcela del distrito de Lurigancho - Chosica, al margen derecho del Rio Rímac. Considerando 30 cm de profundidad teniendo ciertas características que son representativas cuando fue seleccionada al azar para estudiar estadísticamente e inferir resultados para la población. (Hernández, 2012 p.17)

Figura 2. Lugar del estudio



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.3.3 Tipo de muestreo

Se aplicó un muestreo no probabilístico con el fin de investigar la existencia de algún contaminante en el suelo mediante la obtención de muestras representativas para establecer

los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el D.S. N°11-2017-MINAM. Para realizar la toma de puntos se empleó un muestreo aleatorio simple, recomendada para áreas menores a 5 hectáreas. (MINAM, 2014 p.40)

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad



2.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos




Las técnicas que se emplean es la recolección los datos en el laboratorio y describe detalles a través de la ficha de observación, esto después de haber realizado la determinación de los análisis fisicoquímicos; ya que es esencial conocer la concentración inicial del contaminante, crecimiento de la especie; los parámetros fisicoquímicos, inicio, durante y final del tratamiento de este estudio.

2.4.2 Validez y Confiabilidad

La validez es un instrumento que es definido como el grado en que se mide un determinado parámetro con claridad (Dini et al., 2014; Soriano, 2015) La confiabilidad se relaciona con la precisión con la que un instrumento de medición mide aquello que se desea. (Kerlinger y Lee, 2002 p.571) Los equipos que se emplearon fueron validados por el laboratorio de la universidad Cesar Vallejo, contando con una calibración previa, a modo que se obtenga un resultado preciso en los análisis fisicoquímicos del suelo y planta.

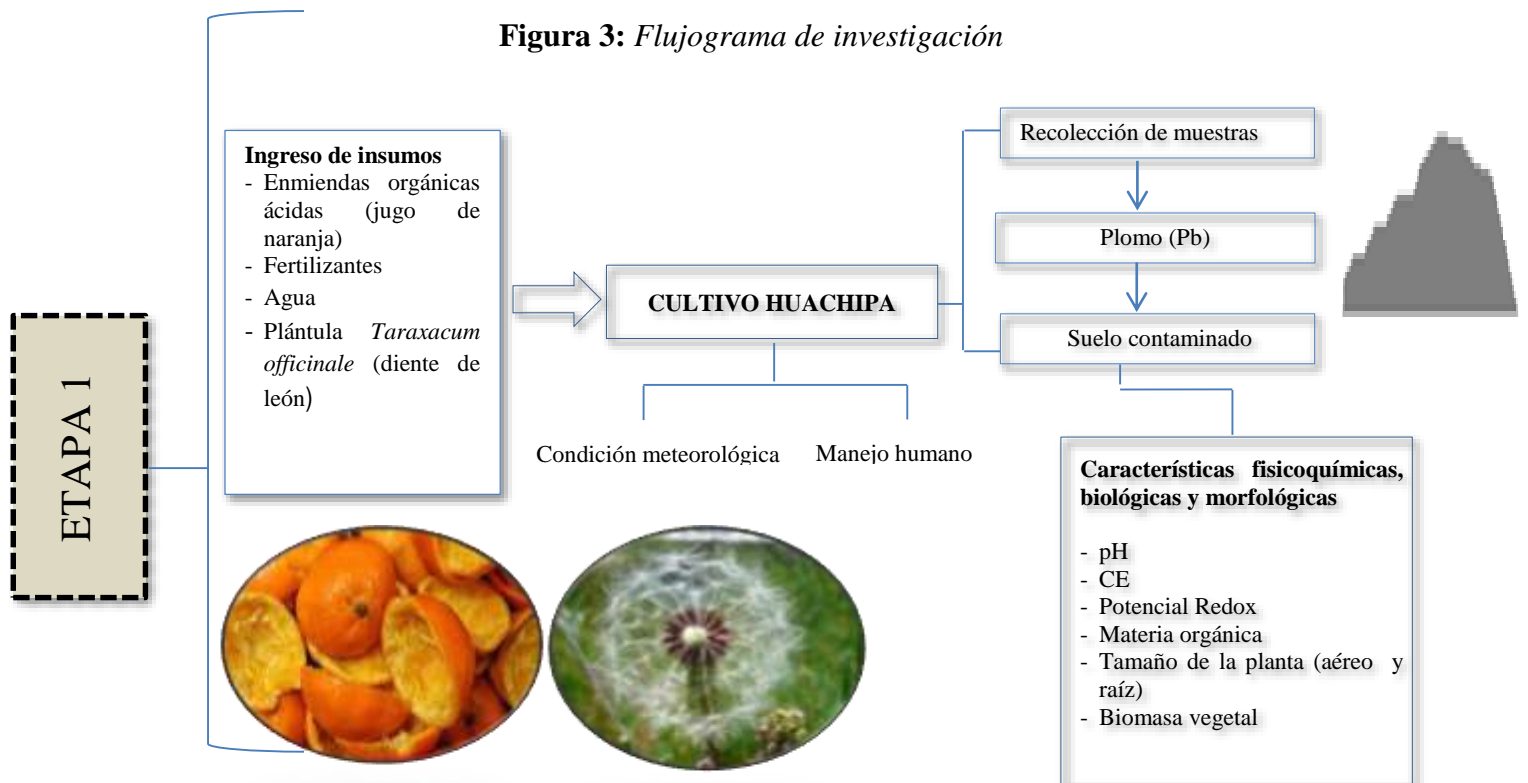
Tabla 5: Validación de equipos para determinar los parámetros fisicoquímicos.

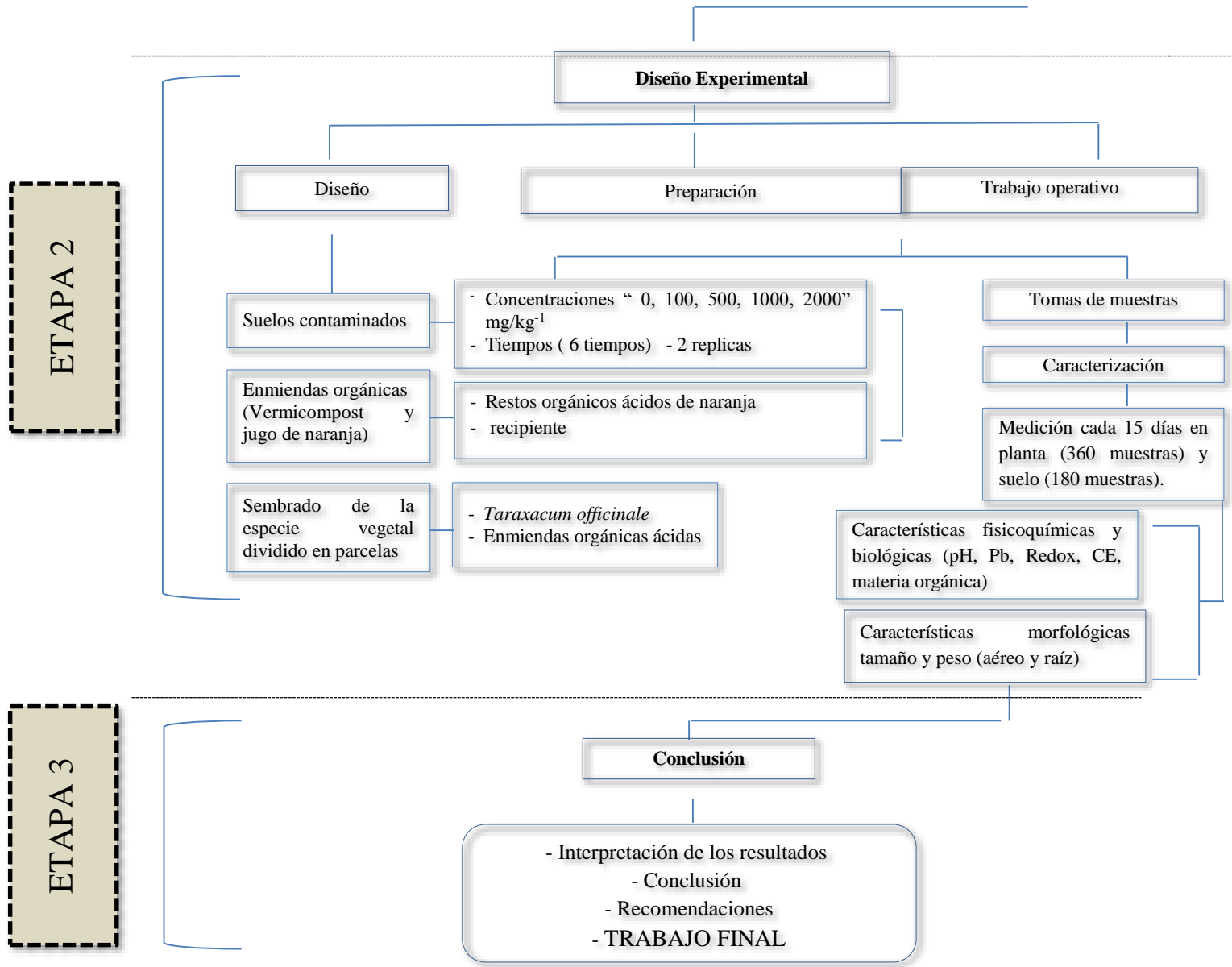
Nombre	Concepto	Marca/serie	IMAGEN
Agitador Magnético	El agitador permite mezclar distintas sustancias líquidas mediante una agitación ejercida por un campo magnético de forma homogénea. (Riehn et al., 2013)	TSF100/ TSF100	
Potenciómetro	Es un instrumento mide la actividad del ion hidrogeno en soluciones que contienen agua indicando el alcance ácido o alcalino en dicha solución, está diseñado para registrar un valor de potencial de cero a pH 7. (Jeanneret, et al., 2015)	HACH/ HACH	

Balanza analítica	Aparato que tiene como finalidad pesar masas pequeñas, cuentan con una sensibilidad $\leq 0,0001$ gr. (Popek,2018)	AES200/ 67875	
Conductímetro	Este instrumento determina concentraciones de sales disueltas presentes en las muestras. Se mide en uS/cm o mS/cm respectivamente. (Moret, et al., 2012)	BASIC/ D7012292	
Espectro fotómetro UV-Visible	Este instrumento mide la longitud de absorción de la luz y la fuerza de absorbancia de una muestra soluto, utilizando unas muestras patrón con el fin de determinar la concentración de una sustancia de solución (Burgess, 2017)	TERMO FISHER/ G10SYVIS	

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.5 Descripción del procedimiento





Colecta de suelo agrícola y caracterización

Se recolectaron 360 kg de suelo superficial (0–20 cm) de uso agrícola en el distrito de Lurigancho - Chosica, al margen derecho del río Rímac en Lima, Perú entre $12^{\circ} 02' 00''$ LS y $77^{\circ} 01' 00''$ LO. Una vez colectado, fue tamizado en una malla raschel de 2 mm de partícula, luego se tomó una alícuota de 100 g y se digirió 2,0 g mediante el método de agua regia EPA / ROC (2002) y posteriormente analizarlos en un equipo absorción atómica de llama (FAAS) para conocer la presencia de Pb en su matriz, también se separó una segunda alícuota de 2 kg, a partir del cual se hicieron una serie de análisis fisicoquímicos para caracterizar el suelo original.

La determinación del pH se realizó aplicando el método AS-02 (Mckean, 1993, p.9), la conductividad eléctrica y sales disueltas siguiendo las referencias de Tamayo (2017, p.35), para el potencial redox se consideró una dilución de 1:2, 30 g de la muestra en 60 ml de agua desionizada y agitada durante por 15 minutos. La materia orgánica se analizó mediante el método de ignición a partir de 5 g de suelo secado en estufa a 120°C por 2 horas y calcinado en una mufla 1 hora a 500°C según Dabadie et al., (2018).

Contaminación del suelo

Las muestras de suelo fueron divididas en 5 fracciones que luego fueron enriquecidas con soluciones preparadas de $Pb(NO_3)_2$ en concentraciones de 98.2, 486.45, 971.09 y 1967.2 mg/Kg de suelo; mediante la aspersión de las soluciones patrones, posteriormente se homogenizaron en un trompo mezclador y luego se dejaron reposar por 2 semanas para su estabilización y tratamiento posterior, la quinta fracción no fue contaminada porque se usó como control de las pruebas con una concentración de 53.69 mg/Kg. Estos valores suelen encontrarse en el Perú, pero en sitios diversos, siendo importante medir las variables respuestas desde una matriz de suelo, el enriquecimiento con la solución metálica permite evaluar las variables de respuesta es decir el porcentaje de remoción y el efecto del contaminante en el desarrollo de la biomasa vegetal en este proceso se pudo evaluar a fin de modelar la capacidad fitoremediadora en sitios especiales de alta contaminación por Pb.

Planta fitoremediadora y sus características morfológicas

Se utilizó la especie *Taraxacum officinale* como planta fitorremediadora. Se adquirieron semillas de la Universidad Nacional Agraria la Molina, 250 semillas fueron colocadas a 1 mm de la superficie de tierra liviana preparada con sustratos no contaminados dispuestas en cajas de germinación y expuestas a un ambiente húmedo, durante 20 días hasta su trasplante, En la morfología la especie *Taraxacum officinale* se tomó en cuenta algunas medidas preliminares como el ancho y largo de las hojas y el tamaño de longitud de la raíz antes del trasplante y poder hacer frente a los efectos iniciales del contaminante.

Vermicompost y ácido cítrico de naranja

Se adquirió vermicompost de estiércol de caballo y de vaca en la Universidad Nacional Agraria La Molina, se realizó la caracterización para conocer sus propiedades fisicoquímicas esta enmienda fue aplicada en partículas de 2 mm en promedio y en dosis del 2% en relación

el peso al suelo cultivado. El ácido cítrico de la naranja, fue obtenido mediante la recolección de residuos orgánicos de un mercado local en San Juan de Lurigancho de una especie normalmente comercializada en los mercados de Lima denominada *Citrus sinences* (naranja Washington Navel). La metodología consistió en exprimir el jugo restante de los residuos teniendo en cuenta las recomendaciones hechas por Lessage et al., (2005, p.143) por cada Kg de suelo se adicionan 1.6 ml de jugo de naranja para obtener 0.01 mmol de ácido cítrico/Kg de suelo, se tal forma que fueron agregados 69.7ml/Kg de suelo tratado.

Preparación de parcelas experimentales

El experimento se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria la Molina, bajo los cuidados y normativas de gestión ambiental, para lo cual, se usaron 0.108 m² de un área de estudios de fitoremediación de la Facultad de Ciencias.

Inicialmente se hizo una excavación de suelos de 30 cm después de lo cual fue depositada una geomalla para proteger el suelo de posibles lixiviaciones durante el tratamiento. Una vez protegido el suelo natural proveído por la universidad, se procedió a hacer divisiones del terreno en pequeñas parcelas de 20 cm x 30 cm donde se depositaron 24 kg de cada suelo enriquecido con Pb constituyéndose en una unidad experimental. El experimento mantuvo 180 unidades experimentales distribuidas en un área total de 0.108 m². El estudio comprendió una muestra control y las muestras contaminadas con 98.2, 486.45, 971.09 y 1967.2 mg/kg Pb dispuestas por triplicado y evaluadas en 05 tiempos comprendidos entre 15, 30,45 y 60 días posteriores al trasplante.

El trasplante de las plántulas de la especie *Taraxacum officinale* se efectuó a 20 días de su germinación para asegurar su sobrevivencia y comprender mejor su potencial y el mecanismo de bioacumulación. Las medidas del trasplante se mantuvieron en un rango de ancho de hoja de 0.7 cm a 1 cm, de largo de hojas entre 1 y 1.3 cm y de tamaño de raíz entre 1.3 cm y 1.5 cm. Se aplicaron 02 tratamientos y un control dispuesto de la siguiente manera: T1: Vermicompost, T2: vermicompost + jugo de naranja, Control: sin enmiendas (C). Con la finalidad de evaluar el efecto o mejora en la bioacumulación de Pb, de quelación sobre la bioconcentración o translocación del metal en la planta que pudiera influir en el tiempo de cosecha y mejora de las características biométricas de la planta. Se esperaba que el nivel de fertilidad del suelo fuera óptimo para el desarrollo de la planta y potenciar su capacidad fitoremediadora.

Digestión de la especie para determinación de plomo.

Una vez cosechada la planta se pesaron los brotes y raíces frescos y luego fueron sometidos a secado a 60 °C en una estufa por 24 horas y estabilizadas en un desecador, luego las muestras secas fueron trituradas con mortero y pesadas (0.5 gramos de muestra). La digestión ácida se realizó con 8 ml de H₂SO₄ a 440°C durante 04 minutos y oxidada con 20 ml H₂O₂ al 30% (w/w), hasta la decoloración total que indica la destrucción del material orgánico, el líquido sobrenadante fue depositado en frascos graduados y enrasados a 25 ml con HCL 1N, por último, filtrar y realizar la lectura en el espectrofotómetro. (Benton, 1989, p.11).

Digestión de suelo para determinar la concentración de plomo

Para determinar la concentración de plomo en suelo se procedió a pesar 0.5 gramos de muestra en la balanza analítica AES 200, se le adicionaron 5ml de H₂SO₄ a 440°C por cuatro minutos y se le aplicó el mismo método de los vegetales para su lectura por absorción atómica. (Benton, 1989, p.11)

Análisis del Factor de Bioacumulación (FB) y Factor de translocación (FT)

El análisis de FB y FT fueron realizados con los resultados del contenido de Pb en los tejidos vegetales al final del experimento y el contenido inicial de Pb en los suelos contaminados.

Diseño Experimental

Respecto al suelo se aplicó un diseño experimental completamente al azar mediante 04 tratamientos que incluyó a la muestra control sin enmiendas, además de considerar 05 concentraciones de suelos artificialmente contaminados medidos periódicamente cada 15 días durante 02 meses, cada unidad experimental se desarrolló por triplicado haciendo un total de 180 unidades experimentales. Respecto a la planta, esta fue cosechada cada 15 días para lo cual se efectuaron mediciones de peso y talla en la planta fresca y seca seccionada en dos partes: raíces y brotes (parte aérea), además se efectuaron las mediciones de Pb en peso seco con cada parte de la planta, así como en suelos, la medición de Pb se efectuó por digestión ácida cuya solución fue leída en un equipo espectrofotómetro de absorción atómica.

Tabla 4: Análisis fisicoquímicos de suelo y planta

Parámetros Fisicoquímicos	Equipos	Parámetros	Equipos
pH	Potenciómetro	Peso en planta (raíz, aéreo)	Balanza analítica Estufa
REDOX		Altura de la planta (raíz, aéreo)	Regla
C.E	Conductímetro		
M.O	Estufa	Metales (Pb) en planta (raíz, aéreo)	Espectrofotómetro
Metales	Espectrofotómetro		

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6 Métodos de análisis de datos

Se empleó el software JMP trial 2015, para la evaluación de los modelos de crecimiento del *Taraxacum officinale* que relacionaron el contenido de plomo en sus raíces y brotes, así como su evolución en el suelo. Se determinaron modelos matemáticos para explicar el efecto de crecimiento de la planta ante este elemento tóxico presente en el suelo y determinar su potencial de aplicación de manera predictiva. Asimismo, se utilizó el software JAMOVI v.1.0.7.0, para el análisis estadístico de prueba de T de muestras emparejadas y prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) de la comparación de tratamientos correlacionados mediante su significancia estadística declarada para un p valor igual o inferior a 0,05 (Bini, 2010) y comprender los mecanismos que gobernaron el proceso de fitoremediación.

2.7 Aspectos éticos

El siguiente estudio Modelo de decaimiento de biomasa de la especie *Taraxacum officinale* para predecir el potencial de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados y asistidos con enmiendas orgánicas ácidas se ejecutó para que exponga resultados reales, pueden ser corroborados por todo interesado en el mismo, dado que la metodología y el resultado de la fase experimental son revelados al público para su consulta según sea el caso. Asimismo, las citas bibliográficas se redactarán en Norma ISO en cuanto a la recolección de muestra y resultados que se ejecutó a base de la guía de muestreos del MINAM (D.S. 011 – 2017).

III. RESULTADOS

Tabla 6: Caracterización de suelo inicial de Huachipa – Lurigancho Chosica

Muestra Inicial	pH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		
							Arena %	Limo %	Arcilla %
	7.29	3.33	1.6	1.66	91.2	990	52	30	18
Clase textural	CIC	Cationes cambiabiles					Suma de cationes	Suma de bases	% Sat. De bases
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	AL ⁺³ + H ⁺			
		meq/ 100g							
Fr.	11.2	6.04	1.58	2.7	0.87	0	11.2	11.2	100

Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se observa en la tabla 6, los suelos correspondieron a suelos de tipo franco, ideales para la agricultura, sin embargo, el contenido de materia orgánica fue bajo, así como se evidencio un bajo contenido de sales que se reflejaron en una discreta conductividad eléctrica (3.33 dS/cm) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Tabla 7: Caracterización del Vermicompost

En esta tabla presentan los resultados de la caracterización del vermicompost antes del tratamiento:

pH	C.E. dS/m	M.O.%	N%	P ₂ O ₂ %	K ₂ O%	CaO %	MgO
7.24	4.79	26.25	1.47	1.55	0.46	5.15	1.41
Hd %	Na%	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	
44.37	0.09	13530	62	290	397	119	

Fuente: Elaboración propia, 2019

Los valores encontrados respecto al pH se consideran normales, mientras que la conductividad eléctrica refleja el contenido salino que normalmente se rescata en este tipo de materiales, así los valores de N%, K₂O%, CaO%, son comunes (2015), a excepción de P₂O₂% que resulto mayor al obtenido en una granja agrícola (0.046-0.054 %) según Lalander et al. (2015), mientras que el porcentaje de materia orgánica también fue comparable.

La disponibilidad de nutrientes mantiene una alta humedad se considera como un sustrato adecuado para los procesos agrícolas debido a la descarboxilación producida por la degradación de ácidos orgánicos (Tognetti et al., 2005).

Resultados de fisicoquímicos de las muestras enriquecidas iniciales

A continuación, se presentan los resultados de las características fisicoquímicas iniciales de los sujetos enriquecidos con Pb y enmendados mediante los tratamientos T1 y T2, así como los suelos de control (C).

Tabla 8: Resultados de fisicoquímicos de las muestras enriquecidas iniciales

Tratamiento	Parámetro	Co (59.63mg/Kg)	C1 (100 mg/Kg)	C2 (486.45 mg/Kg)	C3 (971.09 mg/Kg)	C4 (1967.18 mg/Kg)
C	pH	7.29 ± 0.014	7.29±0.007	7.27±0.00	7.26±0.007	7.25±0.007
C	Eh (mv)	-36.95±1.768	-35.60±0.141	-28.60±0.00	-27.90±0.000	-27.40±1.414
C	C.E (dS/m)	3.38±0.064	3.33±0.000	3.18±0.00	2.67±0.163	2.75±0.042
C	M.O (%)	1.67±0.007	1.67±0.007	1.66±0.00	1.67±0.007	1.66±0.000
C	Pb (mg/Kg)	59.63	98.2	486.45	971.09	1967.18
T1	pH	7.16 ± 0.007	7.17±0.021	7.15±0.000	7.13±0.00	7.09±0.014
T1	Eh (mv)	-17.75±0.007	-17.90±1.838	-16.20±0.566	-14.10±0.00	-10.15±0.919
T1	C.E (dS/m)	2.72±0.474	2.92±0.007	2.70±0.304	2.90±0.00	2.49±0.000
T1	M.O (%)	5.63±0.000	5.64±0.007	5.63±0.000	5.63±0.00	5.61±0.035
T1	Pb (mg/Kg)	59.63	98.2	486.45	971.09	1967.18
T2	pH	7.23±0.007	7.23±0.00	7.23±0.014	7.20±0.00	7.17±0.007
T2	Eh (mv)	-24.25±0.354	-24.70±0.00	-23.50±0.000	-21.30±0.00	-18.80±0.000
T2	C.E (dS/m)	2.98±0.728	3.12±0.00	3.19±0.000	3.08±0.00	2.70±0.000
T2	M.O (%)	5.98±0.000	5.98±0.00	5.99±0.007	5.98±0.00	5.98±0.000
T2	Pb (mg/Kg)	59.63	98.2	486.45	971.09	1967.18

Fuente: Elaboración propia, 2019

pH: Potencial de hidrógeno; Eh: Potencial redox; M.O: Materia Orgánica; C: control; T1: vermicompost; T2_ V+J: vermicompost + jugo de naranja.

De acuerdo a la tabla, se observa que el pH tiende a bajar sus valores en cada tratamiento, por ejemplo, en las muestras de control los valores se iniciaron con un pH igual a 7.29 (53.63 mg/Kg Pb) y disminuyeron hasta 7.25 (1967.18 mg//Kg), de manera similar ocurre con el potencial redox, y la conductividad eléctrica, sin embargo, el contenido de materia orgánica fue constante e independiente de las aplicaciones de las distintas enmiendas. Se observa además que el contenido de materia orgánica se incrementó con la aplicación de las enmiendas, desde 1.6 a 5.5 % aproximadamente. El suelo franco se presenta como ideal para su uso agrícola.

Tabla 9: *Crecimiento de las plantas frente a la bioacumulación de Pb*

	Pesoi Raíz (g)	Pesof Raíz (g)	Pbi Raíz (mg/kg)	Pbf Raíz (mg/kg)	Pesoi Brotes (g)	Pesof Brotes (g)	Pbi brotes (mg/kg)	Pbf Brotes (mg/kg)	% Remoción Pb en suelo
C0	0.004	0.013	0	2.1333	0.0697	0.2233	0	23.6817±0.23	60.0
C1	0.004	0.0121	0	2.2067	0.0692	0.2188	0	24.5200±0.30	36.4
C2	0.0039	0.0102	0	3.8233	0.0705	0.2015	0	26.3667±0.28	7.3
C3	0.0039	0.009	0	5.0567	0.0675	0.1798	0	36.3333±0.49	3.7
C4	0.0039	0.0076	0	6.1383	0.0692	0.1588	0	47.9333±0.30	1.8

Fuente: Elaboración propia, 2019

Pesoi: Peso inicial; Pesof: Peso final; Pbi: Plomo inicial; Pbf: Plomo final.

En la tabla 9 se muestra los valores de peso iniciales y finales de la planta en cada concentración al final del experimento. Donde se observa que existe una mayor acumulación de metales en los brotes a comparación de las raíces y un nivel de remoción de Pb de 60% en el suelo no fortalecido.

Resultado de comparación de tratamientos y control

A continuación, se presentan los resultados de la comparación de los tratamientos T1 y T2 con el control (C).

Tabla 10: Prueba T de muestras emparejadas

			statistic	df	p	Mean difference	SE difference	95% Confidence Interval		Cohen's d
								Lower	Upper	
"C"	"T2"	Student's t	2.28	12	0.02	0.168	0.0736	0.0225	0.314	0.204
"C"	"T1"	Student's t	2.07	12	0.04	0.259	0.1253	0.0113	0.507	0.185

Tabla 11: Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)

			W	p
"C"	-	"T2"	0.704	< .001
"C"	-	"T1"	0.376	< .001

Tabla 12: Descriptivos

	N	Mean	Median	SD	SE
"C"	125	142	1.37	417	37.3
"T2"	125	142	1.52	416	37.2
"C"	125	142	1.37	417	37.3
"T1"	125	142	1.48	416	37.2

C: control; T1: vermicompost; T2_ V+J: vermicompost + jugo de naranja.

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla N°10 se observa los valores < 0.05 entre los tratamientos y el control, siendo claramente significativo la diferencia que hay entre los suelos enmendados y el control sin enmienda.

Tabla 13: %Remoción de Pb en suelo

	C0	C0	C0	C1	C1	C1	C2	C2	C2	C3	C3	C3	C4	C4	C4
Tratamiento	C	T2	T1	C	T2	T1	C	T2	T1	C	T2	T1	C	T2	T1
Pbi suelo	59.63	59.63	59.63	98.2	98.2	98.2	486.45	486.45	486.45	971.09	971.09	971.09	1967.18	1967.18	1967.18
Pbf suelo	24.99	22.96	23.7	62.01	61.09	61.53	447.53	445.3	446.16	920.96	918.67	919.68	1904.62	1901.96	1902.95
% Remoción Pb en suelo	58.09	61.5	60.25	36.86	37.8	37.34	8	8.46	8.28	5.16	5.4	5.29	3.18	3.32	3.27

C: control; T1: vermicompost; T2_ V+J: vermicompost + jugo de naranja; Pbi suelo: concentración de plomo inicial en el suelo; Pbf: concentración de plomo final en el suelo.

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla N°13 se muestra los valores de porcentaje de remoción en cada concentración (Co a C4). Como se observa en el cuadro existe una mejor remoción de Pb en el suelo con enmienda a comparación de los controles sin enmienda.

IV. DISCUSIÓN

Objetivo 1

Modelamiento

La tabla N° 9 presenta los resultados paramétricos en el análisis estadístico de los modelos ajustados usando el software JASP que relacionó el contenido de Pb el suelo con el contenido acumulado en las partes aéreas y en las raíces de la planta.

Modelo de bioacumulación de Pb en la planta bajo distintos niveles de Pb en el suelo

Los cuadros muestran los resultados obtenidos al efectuar corridas estadísticas en el programa JMP. La relación entre el contenido de metal en el suelo frente a la acumulación de Pb en la parte aérea de la planta genero un modelo predictivo logístico de 03 parámetros explicado en un 98.12% (R^2 ajustado) con un p valor < 0.05, que lo define como significativo frente a los otros modelos aplicados. Los modelos cinéticos pueden ser utilizado para interpretar a la hormesis, que quiere decir, a mayor dosis sea el contaminante mayor será el decaimiento de biomasa de la planta (Agathokleous, Kitao y Calabrese, 2019, p. 318).

Mientras que el análisis respecto a la acumulación de Pb en las raíces frente a la presencia de este metal en el suelo, dio como resultado el modelo exponencial de 03 factores con un factor R² justado iguala a 98.17% que respalda los coeficientes calculados según se muestra en el siguiente cuadro;

Cuadro 1: Modelo de bioacumulación Pb en planta a distintos niveles de contaminante en el suelo en el programa JMP

a) Modelo de Pb en suelo vs Pb aereo											
Comparación de modelos											
Modelo	AICc	Peso del criterio corregido de información de Akaike	.2	.4	.6	.8	BIC	SSE	MSE	RMSE	R cuadrado
Logístico de 3 parametros	109.13673	0.4655128					113.14152	48.48291	1.7956633	1.3400236	0.9811961
Lineal	109.42962	0.4020978					112.71014	53.528011	1.91171417	1.3826477	0.9792394
Exponencial de 3 paraemtros	111.65152	0.1323894					115.65631	52.722247	1.9526758	1.3973818	0.9795519
Crecimiento de Weibull	182.32667	5.96E-17					186.33146	556.05981	20.594808	4.5381502	0.7843343
a) Modelo de Pb en suelo vs Pb raiz											
Comparación de modelos											
Modelo	AICc	Peso del criterio corregido de información de Akaike	.2	.4	.6	.8	BIC	SSE	MSE	RMSE	R cuadrado
Exponencial de 3 paraemtros	10.94666	0.8087695					-6.941873	0.8855305	0.0327974	0.1811006	0.98817
Logístico de 3 parametros	-8.062571	0.1912284					-4.057782	0.9748886	0.0361107	0.1900184	0.9869762
Crecimiento de Weibull	14.822017	2.05E-06					18.826806	2.0904671	0.0774247	0.278253	0.972073
Lineal	47.787231	1.43E-13					51.067746	6.8582944	0.2449391	0.4949132	0.9083785

Fuente: Elaboración propia, 2019

A continuación, se presentan los coeficientes de los modelos logísticos aplicados sobre la parte aérea de la planta y el modelo exponencial sobre la raíz:

Como se observa, cada coeficiente posee un p-valor significativo, de tal forma que los modelos predictivos que determina el efecto de la concentración de plomo en el suelo respecto a su bioacumulación por la planta se expresan como:

Modelo logístico aplicado a los brotes:

$$y = \frac{72.487226}{(1 + \text{Exp}(-0.000759 * (Pb_suelo \text{ mgkg} - 1 - 1008.2679)))}$$

Modelo exponencial aplicado en la raíz:

$$y = 6.6851074 - 4.739518 * \text{Exp}(-0.001144 * Pb_Suelo_mgkg - 1)$$

Modelo de efecto de crecimiento de la planta bajo distintos niveles de Pb bioacumulado

Los cuadros muestran los resultados estadísticos de los modelos aplicados para relacionar el efecto de la acumulación de Pb frente al peso desarrollado por la biomasa en ambos tejidos aéreos y de raíces:

Cuadro 2: Modelo de efecto de crecimiento de la planta bajo distintos niveles de Pb bioacumulado

a) Modelo de Pb tejido aéreo vs Pb aéreo de la planta								
Comparación de modelos								
Modelo	AICc	Peso del criterio corregido de información de Akaike	.2 .4 .6 .8	BIC	SSE	MSE	RMSE	R cuadrado
Exponencial de 3 paraemtros	-213.3734	0.8552962		-209.3686	0.0010394	0.000385	0.0052045	0.9428641
Crecimiento de Weibull	-209.7025	0.1364563		-205.6977	0.0011747	0.0000435	0.0065959	0.9354271
Logístico de 3 parametros	-203.3363	0.0056571		-199.3315	0.0014524	0.0014524	0.0073343	0.9201618
Lineal	-201.7741	2.59E-03		-199.4936	0.0016728	0.0016728	0.0077294	0.9080443

a) Modelo de Pb en tejido aéreo vs peso raíz de la planta								
Comparación de modelos								
Modelo	AICc	Peso del criterio corregido de información de Akaike	.2 .4 .6 .8	BIC	SSE	MSE	RMSE	R cuadrado
Lineal	-338.6857	0.4210702		-335.4052	1.74E-05	6.23E-07	0.0007891	0.8638223
Crecimiento de Weibull	-337.3622	0.2172492		-333.3574	1.67E-05	6.17E-07	0.0007857	0.8698293
Exponencial de 3 paraemtros	-336.9964	1.81E-01		-332.9917	1.69E-05	6.25E-07	0.0007905	0.8682325
Logístico de 3 parametros	-336.9943	1.81E-01		-332.9895	1.69E-05	6.25E-07	0.0007905	0.8682229

Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se puede observar, el modelo exponencial se ajustó convenientemente para predecir el efecto de la acumulación de Pb en los brotes con un 94.29 % de R² mientras que el modelo lineal se ajustó mejor a la raíz con un R² igual a 86.38%. En la tabla a y b se presentan los coeficientes de ambos modelos probabilísticos:

a) Concentración de Pb en el suelo vs Concentración del Pb aéreo			b) Concentración de Pb en el suelo vs Pb en la raíz (seco)		
Modelo			Modelo		
Logístico de 3 parámetros		p	Exponencial de 3 parámetros		p
R cuadrado	0.9811961		R cuadrado	0.98817	
β =Tasa de crecimiento	0.000759	<.0001*	α = Asíntota	6.6851074	<.0001*
δ = Punto de inflexión	1008.2679	0.0108*	k =Escala	-4.739518	0.0088*
α = Asíntota	72.487226	<.0001*	β =Tasa de crecimiento	-0.001144	0.0001*

c) Concentración de Pb en el aéreo vs peso aéreo (seco)			d) Concentración de Pb en la raíz vs peso seco de la raíz		
	Modelo			Modelo	
	Exponencial de 3 parámetros	p		Lineal	p
R cuadrado	0.9428641		R cuadrado	0.8638223	
α = Asíntota	0.1495182	<.0001*	a= constante	0.0150795	<.0001*
k =Escala	0.4517414	0.0088*	b = pendiente	-0.001216	<.0001*
β =Tasa de crecimiento	-0.077738	0.0001*			

Fuente: Elaboración propia, 2019

De acuerdo a estos resultados, los modelos de predicción se pueden expresar como:

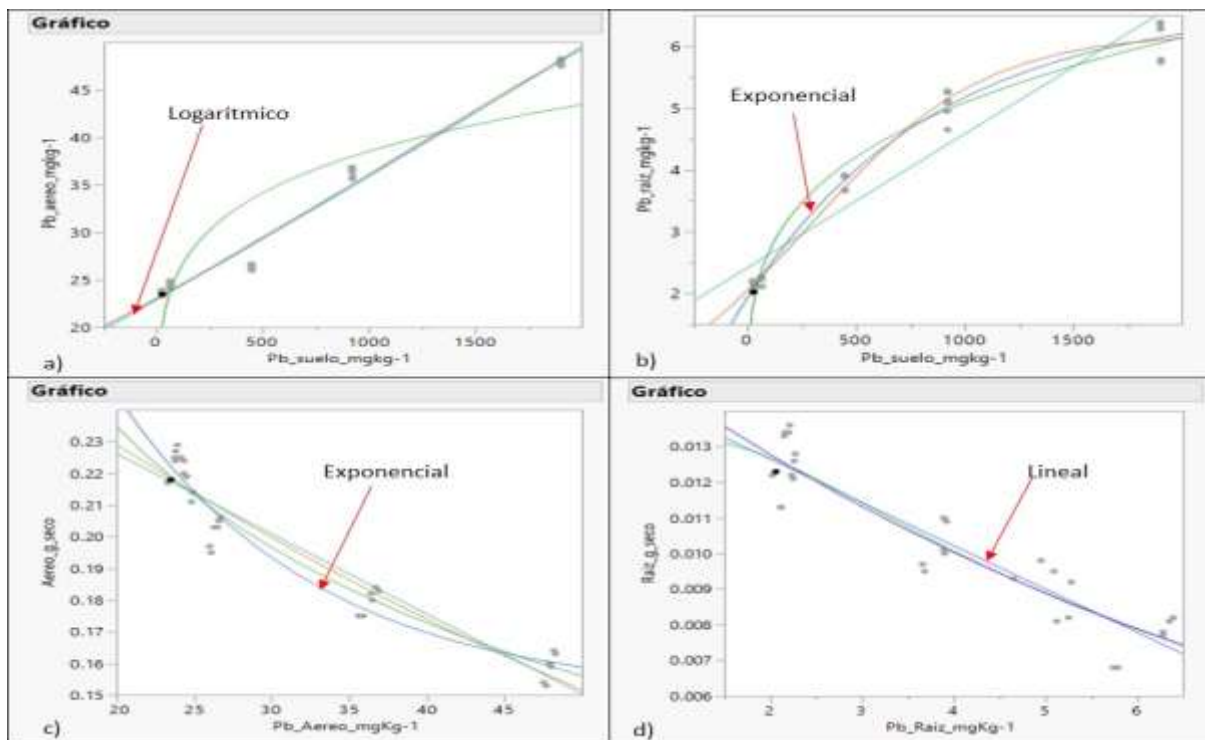
Modelo exponencial de 03 parámetros:

$$y = 0.1495182 + 0.4517414 * \text{Exp}(-0.077738 * Pb_mgkg - 1)$$

Modelo lineal:

$$y = 0.0150795 - 0.001216 * Pb_raiz_mgkg - 1$$

Figura 4: Distintos modelos matemáticos ajustados en cada iteración,



Fuente: Elaboración propia, 2019

Figura N° 4: Modelo de predicción a) Logarítmico en el efecto de Pb en el desarrollo de los brotes, b) exponencial en el efecto de Pb en el desarrollo de la raíz, c) exponencial en el efecto de peso de raíz frente a la acumulación de Pb en sus tejidos y d) modelo lineal que expresa el efecto de la acumulación de Pb en la raíz sobre el peso de la raíz.

Factor de Bioacumulación y factor de Translocación

Tabla 14. Factor de Translocación y Bioacumulación de la especie *Taraxacum officinale*.

Tratamiento	Pbi en suelo	PESO SECO		CONCENTRACIÓN		REMOCIÓN TOTAL		FB F	FT
		Aereo_g_s eco_60d	Raiz_g_se co_60d	Pb_aerea_plan ta_mg/Kg	Pb_raiz_ mg/kg	BROT E (ug planta -1)	RAI Z (ug planta -1)		
C0_C	59.63	0.06	0.22	4.68	0.41	0.28	0.09	0.08	11.47
C0_J+V	59.63	0.07	0.23	23.87	2.21	1.56	0.50	0.40	10.83
C0_V	59.63	0.06	0.22	23.78	2.16	1.48	0.48	0.40	11.03
C1_C	98.20	0.06	0.21	24.88	2.12	1.45	0.45	0.25	11.76
C1_J+V	98.20	0.06	0.22	24.25	2.27	1.57	0.51	0.25	10.71
C1_V	98.20	0.06	0.22	24.43	2.24	1.52	0.49	0.25	10.91
C2_C	486.45	0.05	0.20	26.05	3.67	1.41	0.72	0.05	7.10
C2_J+V	486.45	0.06	0.21	26.65	3.91	1.55	0.80	0.05	6.82
C2_V	486.45	0.06	0.20	26.40	3.90	1.46	0.79	0.05	6.78
C3_C	971.09	0.03	0.18	35.75	5.19	1.12	0.91	0.04	6.89
C3_J+V	971.09	0.04	0.18	36.80	5.02	1.37	0.92	0.04	7.33
C3_V	971.09	0.04	0.18	36.45	4.97	1.29	0.90	0.04	7.34
C4_C	1967.18	0.02	0.15	47.60	5.77	0.97	0.88	0.02	8.26
C4_J+V	1967.18	0.03	0.16	48.25	6.37	1.22	1.04	0.02	7.57
C4_V	1967.18	0.02	0.16	47.95	6.28	1.14	1.00	0.02	7.64

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla 14 se muestra los resultados del factor de translocación (FT) que es la relación entre la concentración del en la parte aérea con la concentración de contaminante en la raíz, donde hubo resultados mayores en las concentraciones más bajas y disminuía el valor en las concentraciones más altas. El Factor de Bioconcentración (FBC) que es la relación entre la concentración de Pb en la parte aérea y la concentración de Pb en el suelo, mostrando valores se comporta de acuerdo al nivel del contaminante. Según (Bini et al., 2012) concluye que la especie *T. Officinale* presenta una eficiencia de bioacumulación de metales menor a 1 y translocación mayor a 1, calificando como una especie bioindicador, puesto que presenta una tendencia favorable entre la concentración de metales en hojas más que en las raíces (p. 104).

OBJETIVO 2 y 3

Crecimiento de las plantas frente a la bioacumulación de Pb

En la tabla 9 se muestra los valores biométricos iniciales de la planta en cada concentración (Co a C4) y al final del experimento. Como se observa se desarrolló una tendencia opuesta entre el peso de la raíz de la planta y la acumulación de Pb en ella, el peso de la biomasa disminuyó conforme la raíz asimiló un mayor contenido de Pb en su tejido (máximo Pb acumulado: 6.1383 mg/Kg; peso raíz: 0.0076 g), de manera similar el peso de los brotes fue menor cuanto mayor Pb concentró en sus tejidos. El crecimiento y la acumulación de contaminante en las plantas se ven afectadas por la aplicación de enmiendas orgánicas, puesto que estas al poseer un alto contenido de materia orgánica ayudan a la disponibilidad de nutrientes y fertilizan el suelo. Tal como lo ha informado en estudios similares (Alam et al., 2020, p. 3) los fertilizantes orgánicos tienen un efecto significativo sobre el pH del suelo, la CE, reduce la densidad aparente, mayor capacidad de retención de agua y mejora la difusión de gas y aire, la permeabilidad al aumentar el secuestro de carbono orgánico.

Remoción de Pb en los suelos contaminados

La tabla muestra los niveles de remoción de Pb en los suelos agrícolas de textura franco, como se observa, para el suelo no contaminado artificialmente (59.63 mg/Kg Pb) la remoción alcanzó un 60% mientras que para las demás concentraciones se logró remover el 1.8% en dos meses de tratamiento.

Comparación de tratamientos y control

De acuerdo a la tabla N°10 y N°11 los p valor entre los tratamientos T1 y T2 son < 0.05 , siendo significativo la diferencia que existe entre los suelos enmendados y el control, demostrando así que los tratamientos mejoran las condiciones fisicoquímicas del suelo favoreciendo a el desarrollo de la biomasa de la planta y a afrontar el efecto tóxico generado por el Pb. El uso de enmiendas orgánicas aumenta la biomasa de la planta y reduce los efectos negativos de los contaminantes presentes en la planta tal como lo ha informado en estudios similares (Santana et al., 2015, p.173).

V. CONCLUSIONES

- Los modelos de decaimiento de biomasa de la especie *Taraxacum officinale* correspondieron a la función Logística de 3 parámetros para concentración de Pb en el suelo vs concentración del Pb aéreo, con una correlación de 0.9811961 y un p valor < 0.05, la funciones exponenciales de 3 parámetros para peso seco del aéreo vs concentración de Pb en el aéreo y concentración de Pb en raíz vs concentración de Pb en el suelo, con una correlación de 0.9428641 y 0.98817 respectivamente y un p valor < 0.05, la función lineal se ajusta mejor para peso seco en la raíz vs concentración de Pb en la raíz, con una correlación de 0.8638223 y un p valor < 0.05. De esta manera se puede identificar nuevas estrategias más efectivas hacer frente al estrés del Pb, además, del favorecimiento de la extensión del conocimiento del mecanismo de dosis-respuesta.
- Existe un efecto positivo en la aplicación de enmiendas orgánicas en los suelos contaminados, ayudando a afrontar el efecto de la toxicidad en las plantas producto del incremento de la materia orgánica en estos, reduciendo el estrés generado por el Pb, tal como se muestra en la prueba estadística realizada de la comparación de los tratamientos con el control.
- Se concluye que la mayor concentración de Pb se dio más en la parte aérea que en la raíz, que fue 48.3 mg/kg y 6.39 mg/kg respectivamente. Asimismo, existe un efecto negativo en la biomasa de la planta al ser expuesta a mayor concentración de contaminante, esto se interpreta de mejor manera con los gráficos de decaimiento de biomasa.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar plantas de la familia Asteraceae en la fitorremediación con un periodo de tiempo más amplio y mayor cantidad de muestras para la exactitud de los resultados, de esta manera ayudar a la contribución de la información de la capacidad en la fitorremediación que esta posee.
- Continuar realizando estudios de fitoextracción empleando diferentes tipos de enmiendas orgánicas ácidas como el limón, maracuyá o alguna otra enmienda orgánica ácida, permitiendo mejorar la movilización rápida de metales pesados en el proceso de fitorremediación.

REFERENCIAS

1. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils por Khalid Sana [et al]. Journal of Geochemical Exploration [en línea]. 2017 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.gexplo.2016.11.021
2. A new TDR probe for measurements of soil solution electrical conductivity por Moret Fernández [et al]. Journal of Hydrology [en línea] 2012. 2017 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016 / j.jhydrol.2012.04.042
3. ACCUMULATION of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site por Yoon [et al]. Science of The Total Environment [en línea] 2006 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016
4. AGATHOKLEOUS, Evgenios, KITAO, Mitsutoshi y CALABRESE, Edward. Hormesis: A Compelling Platform for Sophisticated Plant Science. Trends in Plant Science [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en doi: 10.1016/j.tplants.2019.01.004
5. ALABOUDI, Khalid, AHMED, Berhan y BRODIE, Graham. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. Annals of Agricultural Sciences [en línea]. Marzo 2018 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016/j.aosas.2018.05.007
6. ALLOWAY, Bryan. Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. Heavy Metals in Soils [En línea]. 2013 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1007/978-94-007-4470-7_2
7. ARE the physiological and biochemical characteristics in dandelion plants growing in an urban area (pisa, italy) indicative of soil pollution? por Vanni [et al]. Contaminación del agua, el aire y el suelo [en línea] 2015 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1007 / s11270-014-2256-7
8. BAUDDH, Kuldeep y SINGH, Rana. Effects of organic and inorganic amendments on bio-accumulation and partitioning of Cd in *Brassica juncea* and *Ricinus communis*. Ecological Engineering, [En línea] 2015 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.10.022
9. BIOACCUMULATION and translocation efficacy of heavy metals by *Rhizophora mucronata* from tropical mangrove ecosystem por Ganesh Kumar [et al]. Southeast coast of India. Ecohydrology & Hydrobiology [en línea] 2018 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019] Disponible en: doi: 10.1016/j.ecohyd.2018.10.006

10. BENTON, Jones. Plant Analysis Techniques. Benton.Jones Laboratories [en línea]. Georgia, USA 1989. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en: www.e-reading.club/bookreader.php/136339/Kalra_-_Handbook_of_Reference_Methods_for_Plant_Analysis.pdf
11. BRETZEL, Francesca, BENVENUTI, Stefano y PISTELLI, Laura. Metal contamination in urban street sediment in Pisa (Italy) can affect the production of antioxidant metabolites in *Taraxacum officinale* Weber. Environmental Science and Pollution Research [en línea]. Septiembre 2013 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1007/s11356-013-2147-2
12. BURGESS, C. La base para una buena medición espectrofotométrica UV-Visible. Espectrofotometría UV de agua y aguas residuales [En línea] 2017. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/b978-0-444-63897-7.00001-9
13. CHALLENGES and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review por Mahar Amanullah [et al]. Ecotoxicology and Environmental Safety [En línea] diciembre 2016 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.ecoenv.2015.12.023
14. CHEN, Bo-Ching, LAI, Hung-Yu y JUANG, Kai-Wei . Model evaluation of plant metal content and biomass yield for the phytoextraction of heavy metals by switchgrass. Ecotoxicology and Environmental Safety [En línea]. 2012 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.ecoenv.2012.04.011
15. CADMIUM tolerance, distribution, and accumulation in *Taraxacum ohwianum* Kitam. as a potential Cd-hyperaccumulator por Cheng [et al]. International Journal of Phytoremediation [en línea] 2019 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.1080/15226514.2018.1537240
16. CHIGBO, Chibuiké y BATTY, Lesley. Effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cr- B[a] P-co-contaminated soil. Environmental Science and Pollution Research [En línea] Mayo 2013 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1007/s11356-013-1883-7
17. COMPARATIVE study on some non-linear growth models for describing leaf growth of maize por Ufuk Karadavut [et al]. Int. J. Agric. Biol [en línea]. 2010 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019].

18. CORRADI, M, BIANCHI, A y ALBASINI, A Chromium toxicity in *Salvia sclarea*—I. Effects of hexavalent chromium on seed germination and seedling development. *Environmental and Experimental Botany* [En línea] Noviembre 1993 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/0098-8472(93)90043-f
19. CUNNINGHAM, Scott y OW, David .Promises and Prospects of Phytoremediation. *Plant Physiology* [En línea] 1996 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1104 / pp.110.3.715
20. DANDELION *Taraxacum linearisquameum* does not reflect soil metal content in urban localities por Kováčik [et al]. *Environmental Pollution* [en línea] 2016 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.envpol.2016.08.030
21. DANDELION is more tolerant to cadmium than to nickel excess por Kováčik, J [et al]. *Chemosphere*. [en línea] 2019[fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.181
22. DETECCIÓN de *Trichinella*: identificación y evaluación estadística de las fuentes de error en el método del agitador magnético para la digestión de muestras agrupadas por Riehn [et al]. *Parasitología veterinaria* [en línea] 2013 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016 / j.vetpar.2013.01.03
23. EARTHWORM and organic amendment effects on microbial activities and metal availability in a contaminated soil from China por Zhang [et al]. *Applied Soil Ecology*, [en línea] 2016 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.apsoil.2016.03.006
24. EL papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados Abraham Covarrubias [et al]. *Acta Universitaria* [en línea]. 2015 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. ISSN: 0188-6266. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283616364_El_papel_de_los_microorganismos_en_la_biorremediacion_de_suelos_contaminados_con_metales_pesados
25. EDTA-Enhanced Phytoremediation of Heavy Metals: A Review por Shahid [et al.]. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* [en línea]. Diciembre 2013 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019].Disponible en doi:10.1080/15320383.2014.831029
26. EDTA-facilitated toxic tolerance, absorption and translocation and phytoremediation of lead by dwarf bamboos por Jiang Mingyan [et al] *Ecotoxicology and Environmental*

- [En línea] 2019 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.ecoenv.2018.12.020
27. EDTA-facilitated toxic tolerance, absorption and translocation and phytoremediation of lead by dwarf bamboos por Jiang [et al]. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea] 2019 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.12.020
 28. EFFECTS of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacum officinale* Web growing on mine soils in NE Italy por Bini [et al]. *Journal of Geochemical Exploration*, [En línea] 2012 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.gexplo.2012.07.009
 29. EFECTO del EDTA sobre la toxicidad del cromo (VI) en el desarrollo larval de *Petrolisthes laevigatus* (Guérin, 1835) por Lermada [et al]. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, [en línea] 2009 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.4067/s0718-19572009000100013
 30. EFFECT of Accumulator Plants on Growth and Nickel Accumulation of Soybean on Metal-contaminated Soil por Syam [et al]. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, [en línea] 2016 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.aaspro.2016.02.109
 31. ELEVATED CO₂ increases glomalin-related soil protein (GRSP) in the rhizosphere of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings in Pb- and Cd-contaminated soils por Xia Jia [et al]. *Environmental Pollution* [En línea] Abril-julio2016 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en doi:10.1016/j.envpol.2016.07.010
 32. ENHANCED Phytoextraction: II. Effect of EDTA and Citric Acid on Heavy Metal Uptake by *Helianthus annuus* from a Calcareous Soil por Lesage [et al]. *International Journal of Phytoremediation* [En línea] 2005 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en doi:10.1080/16226510590950432
 33. ENHANCING the lead phytostabilization in wetland plant *Juncus effusus* L. through somaclonal manipulation and EDTA enrichment por Ullah Najeeb [et al]. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea]. Junio 2017 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016/j.arabjc.2014.01.009
 34. EXPLORING the survival tactics and plant growth promising traits of root-associated bacterial strains under Cd and Pb stress: A modelling-based approach por Lal

- [et al]. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016 / j.ecoenv.2018.11.100
35. FITORREMEDIACIÓN con maíz (*Zea mays* L.) y *Stevia* compost en suelos degradados por contaminación con metales pesados por Munive, R [et al]. *Scientia Agropecuaria*, [en línea] 2018 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019] Disponible en: doi: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.11
 36. FIELD assessment of the effectiveness of organic amendments for aided phytostabilization of a Pb–Zn contaminated mine soil por Maria Galende [et al]. *Journal of Geochemical Exploration* [En línea] Junio 2014 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019] Disponible en: doi:10.1016/j.gexplo.2014.06.006
 37. FREITAS, Eriberto, NASCIMENTO, Clístenes y SILVA, Wildson. Citric Acid-Assisted Phytoextraction of Lead in the Field: The Use of Soil Amendments. *Water, Air, & Soil Pollution* [en línea]. October 2013, n° [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1007/s11270-013-1796-6
 38. GALVAPOT, a custom-made combination galvanostat/potentiostat and high impedance potentiometer for decentralized measurements of ionophore-based electrodes por Stéphane Juannert [et al]. *Sensores y actuadores B: Químicos* [en línea] 2015 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019].Disponible en: doi: 10.1016 / j.snb.2014.10.084
 39. GROBELAK, Anna y NAPORA, Anna. The Chemophytostabilisation Process of Heavy Metal Polluted Soil. *PLOS ONE*, [En línea] 2015 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi:10.1371/journal.pone.0129538
 40. HEAVY metals translocation and accumulation from the rhizosphere soils to the edible parts of the medicinal plant Fengdan (*Paeonia ostii*) grown on a metal mining area, China por Shen [et al] *Ecotoxicology and Environmental Safety* [En línea] 2017 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.ecoenv.2017.04.042
 41. HERNÁNDEZ, Sampieri; FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. [En línea] 5^{ta} edición. México: McGraw-Hill, 2010 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.esup.edu.pe> › Metodología de la investigación 5ta Edición. ISBN: 978-607-15-0291-9
 42. HERNÁNDEZ, Zenaida. Métodos de análisis de datos: apuntes. [En línea] Universidad de la Rioja, 2012 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: https://www.unirioja.es/cu/zehernan/docencia/MAD_710/Lib489791.pdf. ISBN: 978-84-615-7579-4

43. INDICATORS of environmental contamination by heavy metals in leaves of *Taraxacum officinale* in two zones of the metropolitan area of Mexico City por Sandra Gómez Arroyo [et al]. Environmental Science and Pollution Research [en línea]. Noviembre 2017[Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1007/s11356-017-0809-1
44. INFLUENCE of fly ash aided phytostabilisation of Pb, Cd and Zn highly contaminated soils on *Lolium perenne* and *Trifolium repens* metal transfer and physiological stress por Alena Lopareva-Pohu [et al]. Environmental Pollution [en línea]. Febrero 2011[Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1016/j.envpol.2011.02.030
45. INTEGRATED GIS and multivariate statistical analysis for regional scale assessment of heavy metal soil contamination: A critical review por Hou [et al]. Environmental Pollution [en línea] 2017 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.envpol.2017.07.021
46. INTERACTION between arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost on copper phytoremediation in a sandy soil por Natielo Santana [et al]. Applied Soil Ecology [En línea] agosto 2015 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019] Disponible en: doi: 10.1016/j.apsoil.2015.08.001
47. JUANG, K, LAI, H, y CHEN, B. Coupling bioaccumulation and phytotoxicity to predict copper removal by switchgrass grown hydroponically. Ecotoxicology [en línea] 2011[fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019].Disponible en: doi:10.1007/s10646-011-0635-z
48. KERLINGER, Fred y LEE, Howard. Investigación del Comportamiento. [En línea] 4ta edición: México Métodos de Investigación en Ciencias Sociales, 2018 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://padron.entretemas.com.ve/INICC2018-2/lecturas/u2/kerlinger-investigacion.pdf>
49. KIM, Juhee, y HYUN, Seunghun. Nonequilibrium leaching behavior of metallic elements (Cu, Zn, As, Cd, and Pb) from soils collected from long-term abandoned mine sites. Chemosphere. [En línea] 2015 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019] Disponible en: doi:10.1016/j.chemosphere.2015.04.018
50. KRÓLAK, E. Accumulation of Zn, Cu, Pb and Cd by dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) in environments with various degrees of metallic contamination. Polish

- Journal of Environmental Studies [en línea]. 2003[Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019].
51. LALANDER, Cecilia, KOMAKECH, Allan y VINNERÅS, Bjorn. Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms – Kampala case study [En línea] 2015 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.009>
 52. LEAD-induced phytotoxicity mechanism involved in seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) por Yingli Yang [et al.]. Ecotoxicology and Environmental Safety [en línea]. Setiembre 2010, n° 8 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.08.041
 53. Majumdar, A. Vermiremediation of metal (loid) s via *Eichornia crassipes* phytomass extraction: A sustainable technique for plant amelioration. Journal of Environmental Management [en línea] 2018 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019] .Disponible en: doi: 10.1016/j.jenvman.2018.05.017
 54. LOGISTIC growth models for describing the fetch effect of aeolian sand transport por Gou [et al]. Soil and Tillage Research [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016 / j.still.2019.104306
 55. MANUAL de protocolos. Nutrición y fisiología de plantas - Forrajes y frijol por Tamayo Borrero [et al]. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2017. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/89652>. ISBN: 978958694169-3
 56. MARTIN, Todd y RUBY, Michael. Review of in situ remediation technologies for lead, zinc, and cadmium in soil. Remediation Journal [En línea] 2004 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi:10.1002/rem.20011
 57. MCKEAN, Sheyla .Manual de análisis de suelos y tejido vegetal [En línea] Centro Internacional de Agricultura Tropical· CIAT, 1993 [fecha de Consulta 8 de Octubre del 2019]. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_t%C3%A9cnica_y_pr%C3%A1ctica_df
 58. METAL content of dandelion (*Taraxacum officinale*) leaves in relation to soil contamination and airborne particulate matter por Keane, B [et al]. Science of The Total Environment, [En línea] Abril 2001[fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/s0048-9697(01)00836-1

59. MICROMORPHOLOGICAL and chemical characterisation of *Stachys recta* L. subsp. *serpentini* (Fiori) Arrigoni in comparison to *Stachys recta* L. subsp. *recta* (Lamiaceae) por Claudia Giuliani [et al]. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* [en línea]. Julio 2008 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016/j.flora.2007.07.001
60. MINISTERIO del Ambiente. Guía para el Muestreo de Suelo. Lima: MINAM [En línea] 2014 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
61. NON-thermal plasma technology for organic contaminated soil remediation: A review por Zhang, H. *Chemical Engineering Journal* [En línea] 2017 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.cej.2016.12.067
62. PANDA, Jigisha, KANJILAL, Tiyasha y DAS, Sumona. Optimized biodegradation of carcinogenic fungicide Carbendazim by *Bacillus licheniformis* JTC-3 from agro-effluent. *Investigación e innovación en biotecnología* [en línea]. 2017 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016 / j.biori.2017.10.004
63. PHYSIOLOGICAL stress responses, mineral element uptake and phytoremediation potential of *Morus alba* L. in cadmium-contaminated soil por Alba Morus [et al]. en *suelos contaminados con cadmio por Zeng Pen. Ecotoxicología y seguridad ambiental* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016 / j.ecoenv.2019.109973
64. PHYTOREMEDIATION of Cr (VI) ion contaminated soil using Black gram (*Vigna mungo*): Assessment of removal capacity por Saravanan [et al.]. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. Marzo 2019 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019].
65. PHYTOREMEDIATION: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils por Ashraf Sana [et al] *Ecotoxicology and Environmental Safety* [En línea] 2019 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.02.068
66. Pilon-Smits, E. FITOREMEDIACIÓN. Revisión anual de biología vegetal, [en línea] 2005 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1146 / annurev.arplant.56.032604.144214


67. PONGAMIA pinnata (L.) Pierre tree seedlings offer a model species for arsenic phytoremediation. por Kumar, Dharmendra [et al]. Plant Gene [En línea] 2017 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.plgene.2017.06.002
68. Popek, E. Comprensión del laboratorio analítico. Muestreo y análisis de contaminantes químicos ambientales, [en línea] 2018 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016 / b978-0-12-803202-2.00005-7
69. POTENTIAL of *Taraxacum mongolicum* Hand-Mazz for accelerating phytoextraction of cadmium in combination with eco-friendly amendments por Wei Shuhe [et al]. Journal of Hazardous Materials [En línea] Mayo 2010 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.jhazmat.2010.05.038
70. PREETI, Pandey y TRIPATHI, A. Effect of Heavy metals on Morphological and Biochemical characteristics of Albizia procera (Roxb.) Benth. Seedlings. International Journal of Enviromental Sciences [en línea]. January 2011[Fecha de consulta: 4 de diciembre de 2019]. Disponible en <http://www.ipublishing.co.in/jesvol1no12010/EIJES2054.pdf> ISSN: 0976-4402
71. REMEDIATION of Heavy Metal–Contaminated Forest Soil Using Recycled Organic Matter and Native Woody por Helmisaari H.-S. [et al] Plants. Journal of Environment Quality [En línea] 2007 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi:10.2134/jeq2006.0319
72. RESPONSE of Robinia pseudoacacia L. rhizosphere microenvironment to Cd and Pb contamination and elevated temperature por Huang Shuping [et al] Applied Soil Ecology [En línea] 2016 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en. doi:10.1016/j.apsoil.2016.09.002
73. RHIZOSPHERE characteristics of phytostabilizer *Athyrium wardii* (Hook.) involved in Cd and Pb accumulation por Zhan, Juan [et al]. Ecotoxicology and Environmental Safety [En línea] 2018 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en. doi:10.1016/j.ecoenv.2017.11.070
74. ROLE of earthworms in phytoremediation of cadmium (Cd) by modulating the antioxidative potential of Brassica juncea L por Parminder Kaur [et al]. Applied Soil Ecology [en línea]. Noviembre 2018 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016/j.apsoil.2017.11.017

75. ROLE of Zinc in Alleviating Heavy Metal Stress por Zaid Ul Hassan [et al]. Essential Plant Nutrients [en línea]. 2017 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1007/978-3-319-58841-4_14
76. ROSTAMI, Sseed y AZHDARPOOR, Aboalfazl. The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. Chemosphere [en línea]. Diciembre 2019 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.203
77. SANDEEP, G, Vijayalatha, K y ANITHA, T. Heavy metals and its impact in vegetable crops. Revista International Journal of Chemical Studies [en línea]. Noviembre-Diciembre 2019 [Fecha de consulta: 4 de diciembre de 2019].
78. SCREENING for new accumulator plants in potential hazards elements polluted soil surrounding Peruvian mine tailings por Bech [et al]. CATENA, [En línea] 2016 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en: doi: 10.1016/j.catena.2015.07.009
79. SHARMA, Kavita y GARG, Vinod. Solid-State Fermentation for Vermicomposting. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering [en línea]. 2018 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1016/b978-0-444-63990-5.00017-7
80. SIMON, L, MARTIN, H y ADRIANO, D. Chicory (*Cichorium intybus* L.) and dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) as phytoindicators of cadmium contamination. Water, Air, & Soil Pollution, [En línea] 1996 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1007/bf00666269
81. SORIANO, A. Diseño y validación de instrumentos de medición. Diálogo, [en línea] 2015 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/dialogos.v0i14.2202>
82. SOUSA, V, DRIESSNACK, M, y MENDES, I. Una visión general de los diseños de investigación relevantes para la enfermería: Parte 1: diseños de investigación cuantitativa. Revista Latino-Americana de Enfermagem, [en línea] 2007 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi: 10.1590 / s0104-11692007000300022
83. TAYLOR, Gregory, STADT, Kennet y DALE, Mark. Modeling the phytotoxicity of aluminium, cadmium, copper, manganese nickel, and zinc using the Weibull Frequency distribution. Canadian Journal of Botany [en línea] March 1991 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019].


84. THE effects of organic amendments on heavy metals bioavailability in mine impacted soil and associated human health risk por Alam [et al]. *Scientia Horticulturae* [en línea]. 2020 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en doi:10.1016/j.scienta.2019.109067
85. TOXICITY assessment of contaminated soils from a mining area in Northeast Italy by using lipid peroxidation assay por Wahsha Mohammad [et al]. *Journal of Geochemical Exploration* [En línea] Septiembre 2012 [fecha de Consulta 8 de octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.1016/j.gexplo.2011.09.008.
86. VALIDEZ y fiabilidad de un instrumento de clasificación de pacientes pediátricos por Dini, Arian [et al]. *Revista Latino-Americana de Enfermagem* [en línea] 2014 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1590/0104-1169.3575.2457> . ISSN: 2349-8528
87. VAZQUEZ, M, POSCHENRIEDER, C. y BARCELD, Y. Cadmium in bean roots. *New Phytologist* [en línea]. 1992 [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en doi:10.1111/j.1469-8137.1992.tb05657.x
88. VERMIREMEDIATION of metal (loid) s via *Eichornia crassipes* phytomass extraction: A sustainable technique for plant amelioration por Arnad Majumdar [et al]. *Journal of Environmental Management* [En línea] 2018 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2019]. Disponible en. doi:10.1016/j.jenvman.2018.05.017
89. Weeds ability to phytoremediate cadmium-contaminated soil por Hammami [et al]. *International Journal of Phytoremediation*, [en línea] 2015 [fecha de Consulta 8 de Octubre de 2019]. Disponible en: doi:10.1080/15226514.2015.1058336

ANEXOS

Anexo 1. Análisis fisicoquímico de suelos



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : BRYAN QUISPE PANTOJA

Departamento : LIMA Provincia :
 Distrito : Predio :
 Referencia : H.R. 67353-027C-19 Bolt.: 2668 Fecha : 06/03/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dSm	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
1344		7.29	3.33	1.60	1.66	91.2	990	52	30	18	Fr.	11.20	6.04	1.58	2.70	0.87	0.00	11.20	11.20	100

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

Número de Muestra		Pb	Cd
Lab	Claves	ppm	ppm
1344		59.63	1.93



Dr. Sady García Bendezu
Jefe del Laboratorio

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

Anexo 2. Análisis de jugo de naranja



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : BRYAN ELIAS QUISPE PANTOJA
 PROCEDENCIA : LIMA/LIMA/SAN JUAN DE LURIGANCHO
 MUESTRA DE : HUMUS DE LOMBRIZ
 REFERENCIA : H.R. 66000
 FACTURA : 4002
 FECHA : 29/06/19

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
1122		7.24	4.79	26.25	1.47	1.55	0.46

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
1122		5.15	1.41	44.37	0.09

Nº LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm
1122		13530	62	290	397	119



Dr. Sady García Bendeziú
 Jefe de Laboratorio

Anexo 3: Análisis de jugo de naranja



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS
N° 008111 - 2019

SOLICITANTE	: ANGELICA YENI CABANILLAS TAFUR
DIRECCIÓN LEGAL	: UCV 209 LT.30 MZ. M ATE VITARTE - LIMA -LIMA
	: RUC: 73933583 Teléfono: 975071636
PRODUCTO	: JUGO DE NARANJA
NÚMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA.	: LOTE: 08-10-2019
CANTIDAD RECIBIDA	: 671,5 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: Envasado, la muestra ingresa en botella cerrada
SOLICITUD DE SERVICIO	: S/S N°EN-005420 -2019
REFERENCIA	: PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN	: 09/10/2019
ENSAYOS SOLICITADOS	: FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :
 ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- Acidez (g / 100 g de muestra original) (Espresso como ácido cítrico anhidro)	0,78
2.- pH	4,0
3.- Sólidos Solubles (Grados Brin)	11,4
4.- Acidez Titrable(g / 100 g de muestra original) (Espresso como ácido cítrico anhidro)	0,78

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :
 1.- AOAC 942.18 Cap. 37, Pág. 10-11, 21th Edition 2010
 2.- NTP 203.108:1989 (Revisada 2017)
 3.- NTP 203.072:1977 (Revisada al 2017)
 4.- NTP 203.070:1977 (Revisada al 2017)

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 09/10/2019 Al 14/10/2019.

ADVERTENCIA :

- 1.- El usuario, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 14 de Octubre de 2019



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNALM



Ing. Mg. Quím. Mary Flor Cesario Coral
DIRECTORA TÉCNICA
 C.G.P. N° 635

Pág 1/1

Av. La Molina 5/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
 Telf: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794
 E-mail: mvtg@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal - la molina calidad total

ANEXO 4: Recolección de muestra y parcelas de estudio



Figura 5: Recolección del suelo 360 kg separados por parcelas cada una contiene 24 kg.

ANEXO 5: Análisis de laboratorio





Figura 6: Determinación pH, CE y potencial redox, M.O

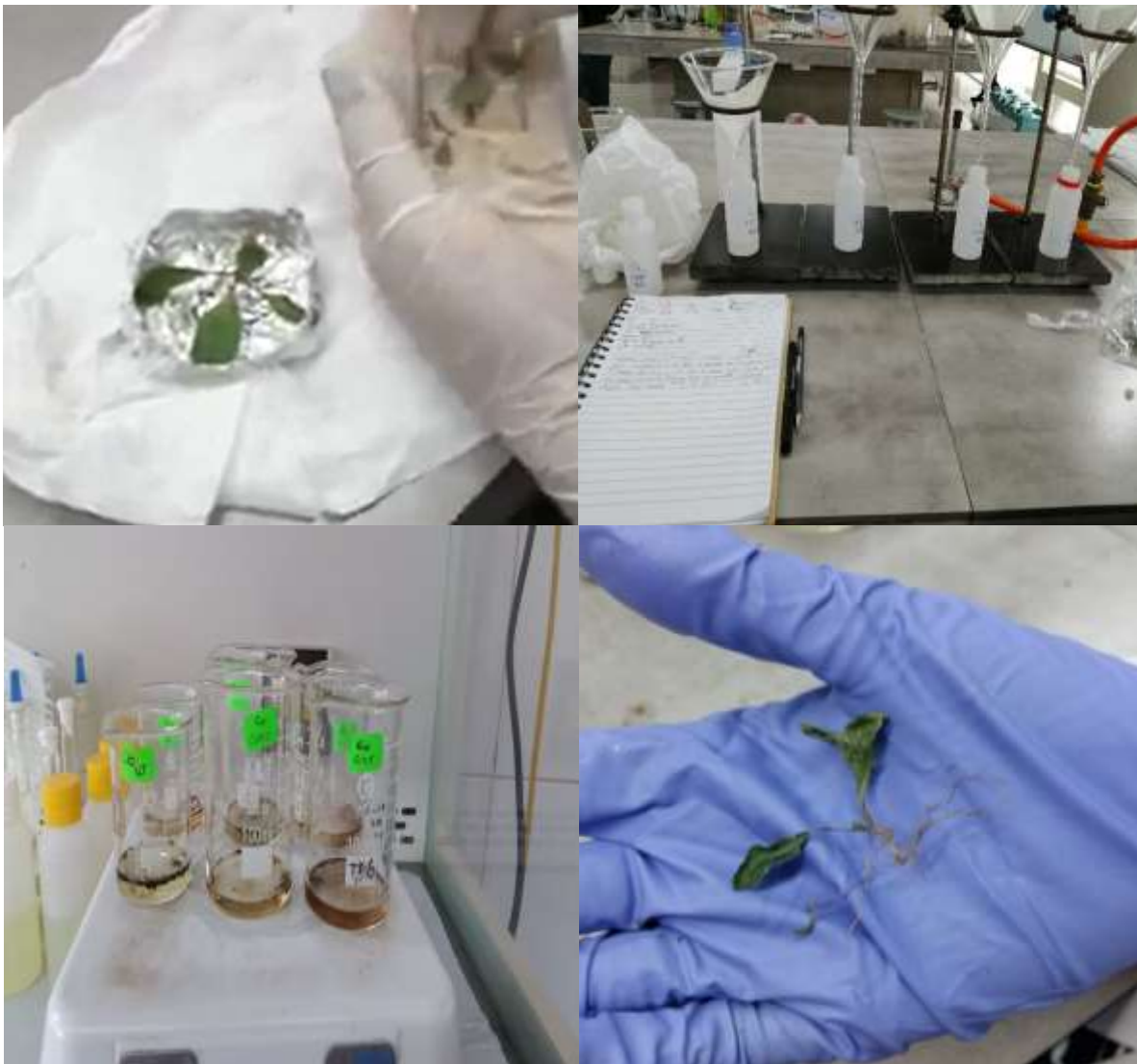




Figura 7: Determinación digestión por absorción atómica en suelo y especie. – Laboratorio de Biotecnología, Universidad Cesar Vallejo

ANEXO 6: Fichas de recolección de datos

FICHA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO													
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		Modelo de decaimiento de biomasa de la especie <i>Taraxacum officinale</i> para predecir el potencial de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados y asistidos con enmiendas orgánicas ácidas											
ESTUDIANTES:		- Cabanillas Tafur, Angelica Yeni - Quispe Pantoja, Bryan Elias											
UNIVERSIDAD :	César Vallejo - Lima este					CARRERA:			Ingeniería Ambiental				
LUGAR:	Laboratorio de Biotecnología – Universidad César Vallejo							FECHA:					
MUESTRAS	PARTE AEREA			RAÍZ				PESO FRESCO			PESO SECA		
CODIFICACIÓN	Medidas		tamaño	Medidas		Raíz	tamaño	Raíz	Hojas	Peso total de la planta	Raíz	Hojas	Peso Total de la planta
	Longitud (Cm)	Ancho (Cm)	Longitud (Cm)	Longitud (Cm)	Ancho (Cm)	Longitud (Cm)	Longitud (Cm)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)

FICHA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO							
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		Modelo de decaimiento de biomasa de la especie <i>Taraxacum officinale</i> para predecir el potencial de fitorremediación de suelos agrícolas contaminados y asistidos con enmiendas orgánicas ácidas					
ESTUDIANTES:		- Cabanillas Tafur, Angelica Yeni - Quispe Pantoja, Bryan Elias					
UNIVERSIDAD:	César Vallejo - Lima este				CARRERA:		Ingeniería Ambiental
LUGAR:	Laboratorio de Biotecnología – Universidad César Vallejo					FECHA:	
MUESTRAS	Bioacumulación		Parámetros fisicoquímicos en suelo				Pb en Suelo
CODIFICACIÓN	Pb en planta		pH	CE	Redox	MO	
		mg/l	-	dS/m	mv	%	Mg/kg
	Parte aérea						
	Raíz						





Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores

Nosotros, BRYAN ELIAS QUISPE PANTOJA, ANGELICA YENI CABANILLAS TAFUR, estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "MODELO DE DECAIMIENTO DE BIOMASA DE LA ESPECIE *TARAXACUM OFFICINALE* PARA PREDECIR EL POTENCIAL DE FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS Y ASISTIDOS CON ENMIENDAS ORGÁNICAS ÁCIDAS", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico otítulo profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
BRYAN ELIAS QUISPE PANTOJA DNI: 72483596 ORCID 0000-0002-3077-0722	 el 09 Dic 2019 19:20:20
ANGELICA YENI CABANILLAS TAFUR DNI: 73933583 ORCID 0000-0002-3880-5053	 el 09 Dic 2019 19:20:20