

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**EFFECTO DE CUATRO CONCENTRACIONES DE PLOMO SOBRE EL
CRECIMIENTO E ÍNDICE DE TOLERANCIA DE PLÁNTULAS *IN VITRO* DE
PAPA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

SEGUNDO LEOPOLDO CHACÓN CABANILLAS

ASESOR:

Dr. SEGUNDO BERARDO ESCALANTE ZUMAETA

CAJAMARCA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, a los **seis** días del mes de **Noviembre** del año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente **2C-211** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Concejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Concejo de Facultad N° 412-2019-FCA-UNC, Fecha 19 de Agosto del 2019, con el objetivo de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: “**EFECTO DE CUATRO CONCENTRACIONES DE PLOMO SOBRE EL CRECIMIENTO E ÍNDICE DE TOLERANCIA DE PLÁNTULAS IN VITRO DE PAPA**”, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, del Bachiller: **SEGUNDO LEOPOLDO CHACÓN CABANILLAS**.

A las **diecisiete** horas y **treinta** minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el presidente anunció la **aprobación** por **unanimidad** con el calificativo de **dieciséis (16)**. Por lo tanto, el graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente a las **dieciocho** horas y **cincuenta** minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 06 de noviembre de 2019

Dr. Juan Francisco Seminario Cunya
PRESIDENTE

Dr. Manuel Salomón Roncal Ordóñez
SECRETARIO

Ing. M. Sc. David Ricardo Uriol Valverde
VOCAL

Dr. Segundo Bérardo Escalante Zumaeta
ASESOR

DEDICATORIA

*A mi madre, **Beneranda Cabanillas Lozano**
y a toda mi familia por su comprensión y apoyo
incondicional.*

*A mi hijo **Fabrizzio Alessandro**.
Quien me da las fuerzas para salir adelante.*

AGRADECIMIENTO

A DIOS creador del universo, que nos da vida y nos seguirá dando fortaleza para seguir adelante todos los días.

Expreso mi agradecimiento a mi familia quienes fueron mis mayores promotores durante este proceso, gracias a mi universidad por haber permitido formarme en ella y a todas las personas que fueron participes de este proceso, especialmente al Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta, por el asesoramiento en el presente estudio. Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Formulación del problema.....	2
1.2. Objetivo.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.2. Bases teóricas.....	5
2.2.1. Contaminación del medio ambiente.....	5
2.2.2. Metales pesados.....	6
A. Metales pesados en el suelo.....	6
B. Metales pesados en el agua.....	6
C. Metales pesados en las plantas.....	7
D. Tolerancia de las plantas a los metales pesados.....	7
E. Fitorremediación.....	7
2.2.3. El plomo.....	8
A. Características del plomo.....	8
B. Compuestos del plomo.....	8
C. Usos y aplicaciones del plomo.....	9
D. Comportamiento del plomo en el ambiente.....	9
E. Efectos del plomo.....	10
F. Tolerancia de plantas al plomo.....	11
2.2.4. Interacción de metales pesados frente a las plantas.....	12

2.2.5. Interacción del plomo con la papa.....	13
A. Ingreso, transporte y acumulación del plomo en la papa.....	13
B. Factores que influyen en la contaminación de la papa	14
2.2.6. La papa	15
CAPÍTULO III	17
MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	17
3.2. Materiales	17
3.2.1. Material biológico	17
3.2.2. Medio de cultivo y reactivos	17
3.2.3. Materiales y equipos de laboratorio.....	17
3.2.4. Material de gabinete.....	18
3.3. Metodología	18
3.3.1. Trabajo en laboratorio	18
3.3.1.1. Fase pre experimental	18
3.3.1.2. Diseño experimental	19
3.3.1.3. Fase experimental.....	19
3.3.1.4. Análisis químico de plántulas y medio de cultivo	21
3.3.2. Evaluaciones realizadas.....	22
A. Relación de crecimiento (RC).....	22
B. Índice de tolerancia (IT).....	22
C. Supervivencia de plántulas	22
D. Morfología de plántulas	22
E. Factor de bioacumulación (FB) y Factor de translocación (FT) .	22
3.3.3. Procesamiento estadístico y análisis de los datos	23
CAPÍTULO IV	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. Relación de crecimiento (RC)	25
4.2. Índice de tolerancia (IT)	27
4.3. Supervivencia de plántulas de papa	29
4.4. Morfología de plántulas de papa.....	30
4.5. Factor de bioacumulación (FB) y Factor de translocación (FT)	32

CAPÍTULO V	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
5.1. Conclusiones	36
5.2. Recomendaciones	36
CAPÍTULO VI	37
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	40
APÉNDICES.....	46
GLOSARIO.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos en estudio (concentraciones de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ / Pb).....	19
Tabla 2. Reactivos para preparación de 1.2 L del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado por Buendía-Gonzales et al. 2010.....	20
Tabla 3. Análisis de la varianza del DCR y prueba de F para el crecimiento e índice de tolerancia de la papa.....	23
Tabla 4. Relación de crecimiento para cada tratamiento (concentración de plomo).....	25
Tabla 5. Análisis de la varianza para la relación de crecimiento	25
Tabla 6. Índice de tolerancia de las plántulas de papa, por cada tratamiento (concentración de plomo).....	27
Tabla 7. Análisis de varianza para el índice de tolerancia	27
Tabla 8. Porcentaje de sobrevivencia de plántulas de papa, por cada tratamiento	29
Tabla 9. Evaluación morfológica de las plántulas de papa, por cada tratamiento	30
Tabla 10. Factor de bioacumulación (FB) de plomo en las plántulas de papa.....	33
Tabla 11. Factor de translocación (FT) de plomo en las plántulas de papa, por cada tratamiento	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Propagación clonal de plántulas <i>in vitro</i> de papa.....	18
Figura 2. Estado de plántulas de papa, aptas para la fase experimental.....	19
Figura 3. Preparación de la solución nitrato de plomo [Pb (NO ₃) ₂] de 10,000 ppm de concentración.....	20
Figura 4. Distribución del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado y aplicación de plomo.....	21
Figura 5. Regresión lineal entre la relación de crecimiento de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.....	26
Figura 6. Regresión lineal entre el índice de tolerancia de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.....	28
Figura 7. Regresión lineal entre la sobrevivencia de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.....	29
Figura 8. Regresión lineal entre la longitud de la parte aérea de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.....	32
Figura 9. Factor de bioacumulación (FB) del plomo en las plántulas de papa por tratamiento en estudio.....	33
Figura 10. Factor de translocación (FT) del plomo en las plántulas de papa por tratamiento en estudio.....	35
Figura 11. Preparación del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado por Buendía-Gonzales et al. 2010.....	46
Figura 12. Regulación del pH al valor de 5.60, para cada tratamiento, utilizando el pHmetro digital y soluciones de NaOH y HCl.....	47
Figura 13. Distribución de los tratamientos a las unidades experimentales (<i>Solanum tuberosum</i> L. var. “Poderosa”), realizado en la cámara de cultivos <i>in vitro</i> del laboratorio.....	48
Figura 14. Rotulado de las unidades experimentales en cada repetición y ubicación de plántulas bajo un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad.....	49

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de cuatro concentraciones de plomo sobre el crecimiento e índice de tolerancia de plántulas *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L. var. "Poderosa"), bajo el diseño experimental Completamente Randomizado con cuatro tratamientos (concentraciones de plomo), cuatro repeticiones y cuatro unidades experimentales constituidos por plántulas *in vitro* de papa cultivadas en medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962. Las concentraciones de plomo fueron: $T_0 = 0.00$; $T_1 = 310.77$; $T_2 = 621.54$ y $T_3 = 932.31$ ppm, permaneciendo por de 30 días bajo condiciones de Laboratorio. Los resultados mostraron una relación inversa, donde a mayor concentración de plomo, menor es el crecimiento e índice de tolerancia de las plántulas de papa. Las plántulas testigo presentaron el 100% de crecimiento cuya biomasa aérea promedio fue de 0.80 g y las plántulas que mostraron menor biomasa fueron las que crecieron a la mayor concentración de plomo (T_3) con 0.65 g representando el 67% de crecimiento de plántulas. Referente al índice de tolerancia el T_3 mostro una longitud promedio de 7.28 cm, mostrando el 65% de plántulas tolerantes al plomo y la plántula testigo de 11.34 cm que representa el 100% de tolerancia de plántulas frente al metal pesado.

Palabras clave: Plomo y *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the effect of four concentrations of lead on the growth and tolerance index of *in vitro* potato seedlings (*Solanum tuberosum* L. var. "Powerful"), under the fully Randomized experimental design with four treatments (lead concentrations), four repetitions and four experimental units consisting of *in vitro* potato seedlings grown in Murashige & Skoog culture medium, 1962. Lead concentrations were: T0 = 0.00; T1 = 310.77; T2 = 621.54 and T3 = 932.31 ppm, remaining for 30 days under Laboratory conditions. The results showed an inverse relationship, where the higher the concentration of lead, the lower the growth and tolerance index of potato seedlings. The control seedlings showed 100% growth whose average aerial biomass was 0.80 g and the seedlings that showed the lowest biomass were those that grew at the highest concentration of lead (T₃) with 0.65 g representing 67% seedling growth. Regarding the tolerance index, T₃ showed an average length of 7.28 cm, showing 65% of seedlings tolerant to lead and the control seedling of 11.34 cm representing 100% tolerance of seedlings against heavy metal.

Keywords: Lead and *Solanum tuberosum* L.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación del ambiente, es uno de los problemas ecológicos de mayor impacto y a la vez el más preocupante desde el punto de vista social y político. Con el transcurrir del tiempo, la especie humana constata que, a consecuencia de sus propias actividades hay una creciente acumulación de contaminantes en la atmosfera, suelo, agua y vegetación cuya integridad sufre un irremediable deterioro.

Los contaminantes de mayor riesgo para la propia especie humana, son los de origen inorgánico, entre los cuales destacan los metales pesados, liberados y depositados en los componentes ambientales como subproductos de prácticas agrícolas inadecuadas, procesos industriales, explotación minera, aguas residuales, fabricación de productos como baterías, componentes eléctricos, plaguicidas y fertilizantes.

La presencia de metales pesados en las plantas, impiden la germinación de semillas, crecimiento y desarrollo, alteran los procesos bioquímicos, fisiológicos y afectan la raíz, también dañan las membranas de las células, reducen la transpiración, impiden la síntesis de proteínas, dañan e inhiben la fotosíntesis y afectan la actividad de las enzimas. El plomo es uno de los metales pesados que causa daños en las plantas, algunas especies lo acumulan a medida que aumenta las dosis en el suelo, otras biomagnifican sus efectos a tal punto que no lo soportan y mueren.

El Perú dispone de una significativa diversidad vegetal y dentro de ésta, muestran especies y variedades cultivadas de papa. Sin embargo, escasos son los estudios que demuestren las particularidades de la planta de papa para absorber, translocar y acumular metales pesados presentes en la solución suelo.

El suelo es un ente dinámico en el cual destaca la presencia de coloides orgánicos e inorgánicos, así como de microorganismos, todos con la capacidad adsorbente de cationes como el plomo. En consecuencia, la presente investigación se desarrolló con plántulas *in vitro* de papa crecidas en medio de

cultivo y bajo condiciones controladas a fin de prevenir interferencias de los coloides y microorganismos en la disponibilidad del plomo para la planta.

1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de cuatro concentraciones de plomo sobre el crecimiento e índice de tolerancia de plántulas *in vitro* de papa?

1.2. Objetivo

Determinar el efecto de cuatro concentraciones de plomo sobre el crecimiento e índice de tolerancia de plántulas *in vitro* de papa.

1.3. Hipótesis

El crecimiento e índice de tolerancia de las plántulas *in vitro* de papa guarda una relación inversa con las cuatro concentraciones de plomo aplicadas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Tintín y Moscoso (2013) estudiaron la capacidad de absorción de la planta de papa en un suelo contaminado con plomo, utilizando diferentes semillas sembradas con abono orgánico y químico, las concentraciones fueron: 0, 50, 75 y 150 ppm de Pb en el suelo. Los tratamientos y repeticiones fueron muestreadas hasta los 91 días, cumplido el tiempo se extrajo las muestras de cada tratamiento para ser procesadas, teniendo como resultado que la planta de papa superchola tiene una capacidad de acumular plomo en conjunto y pudo extraer del suelo el 48.41% de plomo (en el tratamiento de 150 ppm); demostrando que el tratamiento de mayor concentración absorber más plomo, pero presenta un efecto negativo de baja productividad.

Vásquez (2013) estudió el efecto del plomo sobre la biomasa y el contenido de prolina en *Rorippa nasturtium-aquaticum* (L.) Hayek (berro de agua), en condiciones de invernadero, en este estudio las plantas fueron enraizadas y tratadas con 0.5, 10 y 15 mg/L Pb durante 16 días. Los resultados mostraron que la biomasa sólo fue afectada en hojas y raíces cuando las plantas se sometieron a 15 mg/L Pb, y las plantas expuestas a menores concentraciones no altera su biomasa y en el contenido de prolina es mecanismo de defensa ante la presencia de este metal.

Chávez (2014), realizó la fitoremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo, utilizando dos especies de flora nativa del género *Calamagrostis* L. Adans (*calamagrostis*) y *Nicotiana* L. (tabaco) a fin de comparar su potencial fitorremediador de ambas especies. Para ello utilizó concentraciones de 700, 1000 y 1200 ppm de plomo en el suelo. Los resultados mostraron que la especie *Nicotiana* tiene mejor potencial de fitorremediación debido a que acumuló más plomo en la biomasa aérea (96.5 ppm), y extrajo la mayor cantidad de plomo (0.3 mg) y obtuvo un factor de translocación de plomo de 0.39. En cambio, la especie *Calamagrostis* fue la que acumuló más metal pesado en la zona radicular (299.8 ppm), presentando

un factor de translocación de 0.31, y fue la que menos biomasa aérea desarrolló durante el experimento.

Hoyos (2014) investigó la bioacumulación de Pb y Cd en cultivos hortícolas de *Brassica oleracea* subsp. *capitata* L. Metzg (repollo) y *Raphanus sativus* L. (rábano), donde utilizó 20 plantas de ambas especies, que fueron trasplantadas en pozas experimentales con suelo homogenizado, los tratamientos fueron: 0, 150 y 300 mg/L de cada metal. Luego se recolectó muestras del suelo, raíz y parte aérea de cada especie vegetal para el análisis correspondiente, los resultados mostraron que en el tratamiento de 300 mg/L se encontró la mayor concentración de Pb y Cd, donde en planta *Brassica oleracea* subsp. *capitata* L. se obtuvo 127.75 y 180 mg/kg en la parte aérea; y en la *Raphanus sativus* L. se determinó 112 y 125.5 mg/kg en la parte radicular, mostrando que en la en ambos cultivos hortícolas, la concentración de Pb y Cd tiene relación directa ascendente con las soluciones concentradas de los diferentes tratamientos.

Padilla (2005) estudió en la eficiencia de remoción de *Eichhornia crassipes*. Mart. (Jacinto de agua), *Scirpus californicus*. Meyer (totora) y *Cyperus corymbosus*. Schrad (planta perenne), en la acumulación de cobre, zinc, plomo y hierro, para saber la respuesta de las plantas a la acumulación de los elementos químicos. En la investigación se hizo la proliferación de rizomas en el laboratorio y tratamiento con elementos químicos por 60 días y la observación microscópica de cortes histológicos de las diferentes partes de la planta. Los resultados indicaron que las plantas utilizadas resisten a la acción de los elementos químicos citados y tienen capacidad de mayor almacenamiento en sus raíces que en la parte aérea, indicando que las tres plantas son eficaces en la absorción de los metales pesados y entre ellas *Eichhornia crassipes*, tiene mayor habilidad en la absorción y acumulación.

Luna y Rodríguez (2016) determinaron las concentraciones de cadmio y plomo en papa, para tal propósito recolectaron 40 muestras de papa de cultivos cercanos a las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta - Cajamarca. No se detectó la presencia de Pb en ninguna muestra de papa; por lo tanto, al carecer de un valor no fue posible realizar la comparación con el límite máximo permisible (0.1 ppm) establecido para el Pb. Sin embargo, la concentración media de Cd en las muestras de papa para la cuenca del río Mashcón fue de

0.3095 ppm y para la otra cuenca de 0.3078 ppm, evidenciándose que el 100% de las muestras para ambas cuencas presentan concentraciones de cadmio que superan el límite máximo permisible (0.1 ppm), según lo indicado en Norma general del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos (CODEX STAN 193-1995, Revisión 2009 Mod. 2015)

Vargas (2017) estudio la eficiencia fitoextractora del maíz cultivado con abonos orgánicos para la disminución de las concentraciones de plomo en el suelo. El trabajo se realizó en 12 macetas de 15 kg y se sembró 3 plantas en cada maceta con la adición de compost y humus, el contenido de Pb inicial en el suelo para los tratamientos fue de 689.3, 731.6, 727.2 y 792.6 ppm y al final del tratamiento se redujeron a 550.6, 600.4, 547.8 y 624.7 ppm. Los resultados muestran el mayor crecimiento del maíz en el tratamiento 3 por el contenido de humus y el menor crecimiento en el tratamiento 2 donde se añadió compost, y fue porque presentó mayor salinidad, además se observó que la mayor concentración de plomo se dio en las hojas del maíz en todos los tratamientos (58.9, 50.3, 69.9 y 62.8 ppm), el maíz utiliza el mecanismo de fitoextracción que absorbe el Pb por la raíz y translocarlo a las partes aéreas, en mayor cantidad a las hojas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación del medio ambiente

La población humana en los últimos 200 años ha originado acontecimientos que han tenido mayor repercusión en la cultura, economía, ciencia, tecnología y el ambiente, sin tener previsión del deterioro de los recursos naturales, especialmente sobre los energéticos. El hombre ha mejorado sus condiciones de vida y prolongado su existencia, pero ha incrementado productos químicos y agentes físicos al ambiente y la presencia de ellos afecta al planeta tierra, causando efectos adversos en los seres humanos, animales y vegetales (García 1999).

La contaminación se clasifica de diferentes maneras dependiendo de sus características y las fuentes que las generan puede ser de forma natural, causada por volcanes, efectos climáticos, sismos o desequilibrios en la cadena alimentaria; y también puede ser de forma antropogénica que es producida por

el ser humano, por ejemplo: la basura, el smog, descargas al aire, suelo y agua procedentes de procesos industriales (Castro y Monroy 2002).

2.2.2. Metales pesados

Un metal pesado es cualquier elemento químico metálico que tiene una alta densidad, es tóxico o venenoso en concentraciones bajas, por ejemplos tenemos metales pesados o algunos metaloides como: el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr) talio (Tl), plomo (Pb), entre otros. Los metales pesados se encuentran como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, no son degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.* 2004).

Los metales pesados presentes en el suelo (iones libres), pueden quedar retenidos en el mismo, o también ser movilizados en la solución del suelo por otros mecanismos biológicos y químicos, en los últimos años se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo; estos se redistribuyen en los componentes de la fase sólida del suelo (Madueño 2017).

A. Metales pesados en el suelo

La presencia de metales pesados en el suelo altera su composición, propiedades y estructura afectando el desarrollo de los cultivos agrícolas, se lo encuentra de origen natural cuando los contenidos de metales se atribuyen a la composición de los minerales presentes en el suelo, o antropogénica cuando sus concentraciones son mayores a la composición geoquímica y es el resultado por las actividades del hombre por realizar actividad industrial, agrícola y minera (Sothen 2001).

B. Metales pesados en el agua

Los metales pesados que se encuentran presentes en el medio acuático, llegan de tres maneras, uno es por la vía atmosférica y es cuando sedimentan las partículas emitidas a la atmósfera por los procesos naturales o antropogénicos, otra es por vía terrestre, debido a las filtraciones de vertidos y escorrentía superficial de suelos contaminados; y por ultimo tenemos la vía directa donde

ingresa los metales al agua por consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales (García 1999).

C. Metales pesados en las plantas

La presencia de metales pesados en las plantas, impide la germinación de semillas, el crecimiento y desarrollo, además altera los procesos bioquímicos y fisiológicos; por ejemplo, su presencia daña las membranas de las células, reduce la transpiración, impide la síntesis de proteínas, daña e inhibe la fotosíntesis y afecta la actividad de las enzimas, estos metales también afectan la radícula saliente de la planta. En la germinación, depende de la penetración del metal por la cubierta de la semilla, y cuando logra ingresar a la semilla se impide la germinación (Seregin y Kozhevnikora 2004).

D. Tolerancia de las plantas a los metales pesados.

Las plantas desarrollan mecanismos homeostáticos que sirven para controlar la acumulación, movimiento y desintoxicación de metales pesados y mantener la concentración en límites fisiológicos, estos mecanismos son los procesos de transporte, quelación y retención para minimizar los efectos adversos (Chagua y Tardío 2015). La acumulación de metales pesados en las plantas se inicia cuando ingresan al simplasto de la raíz que atraviesa hasta la membrana plasmática de la célula endodermo, también ingresa al apoplasto de la raíz a través de los espacios entre las células. Si el metal es translocado a los tejidos aéreos, entonces, entra al xilema y por el flujo de savia llega a las células de la hoja. Los metales pueden ser almacenados en las células dependiendo de la especie y de la forma del metal (Peer *et al.* 2006).

E. Fitorremediación

La fitorremediación utiliza a las plantas y sus microorganismos asociados para eliminar, reducir e inmovilizar contaminantes ambientales que se encuentran en el suelo y agua, restaurando sitios contaminados a un ambiente relativamente limpio. Ésta es una tecnología prometedora, rentable y ambientalmente pertinente para fitorremediar aguas residuales industriales y demás aguas contaminadas, escurrimientos agrícolas y mineros, lixiviados de rellenos sanitarios y aguas subterráneas (Pilon 2005).

2.2.3. El plomo

El plomo rara vez se encuentra en su estado natural, pero si es común encontrarlo en forma de sulfuros. Tiene la capacidad de bioacumularse donde su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria. El uso y la contaminación ambiental por plomo han aumentado en los últimos 50 años; los derivados del plomo se encuentran dispersados en el aire, en plantas, animales de uso alimentario, agua, suelo, polvo y todo el medio ambiente. (Rubio *et al.* 2004). Existen compuestos orgánicos e inorgánicos de plomo que son liberados al aire durante la combustión del carbono y aceite, estos ingresan al organismo por tres vías: respiratoria, digestiva y dérmica o cutánea y causan efectos nocivos a la salud del hombre a nivel celular y sin poder ser percibidos a corto plazo (Rodríguez *et al.* 2016).

A. Características del plomo

El plomo muestra las siguientes características: es un metal pesado con número atómico: 82, peso atómico: 207.19, valencias químicas: 2 y 4, densidad relativa/gravedad específica: 11.4 a 16 °C (61 °F); color azulado, flexible, inelástico, se funde con facilidad a los 327.4 °C y hierve a 1 725 °C; es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico, pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. Además, tiene carácter anfótero debido a que forma sales de plomo de los ácidos y sales metálicas del ácido plúmbico, también se encuentra en la naturaleza formando minerales, entre ellos está la galena, anglesita y la cerusita (Lenntech 2007).

B. Compuestos del plomo

Tintín y Moscoso (2013) establece que los compuestos del plomo se dividen según su solubilidad en compuestos solubles e insolubles en el agua, ellos son:

- **Compuestos solubles en agua:** acetato de plomo ($\text{PbC}_4\text{H}_6\text{O}_4$), acetato de plomo trihidratado ($\text{PbC}_4\text{H}_{12}\text{O}_7$), cloruro de plomo (PbCl_2), nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y subacetato de plomo ($\text{Pb}_2\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_6$).
- **Compuestos insolubles en agua:** arseniato de plomo (PbAsHO_4), azida de plomo (PbN_6), bromuro de plomo (PbBr_2), fluoruro de plomo (PbF_2), fosfato de plomo ($\text{Pb}_3\text{O}_8\text{P}_2$), estearato de plomo ($\text{Pb}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$) y sulfato de plomo (PbSO_4).

C. Usos y aplicaciones del plomo

El plomo tiene múltiples aplicaciones, se genera en los procesos industriales y se usa en forma sólida y líquida, produciendo polvo, humo o vapores, según la operación que se realice, también se emplea de manera casera e inapropiada en trabajos informales de acumuladores eléctricos por extracción secundaria de plomo a partir de baterías recicladas. Alrededor de un 40% del plomo se utiliza en forma metálica, un 25 % en aleaciones y un 35% en compuestos químicos. En la industria automotriz, se empleaba como aditivo de la gasolina durante la refinación del petróleo; además, en el revestimiento de cables, tuberías, fabricación de municiones, pigmentos para pinturas y barnices, fabricación de cristales, cerámica, instrumentos de pesca y caza, protector de rayos X y radiación gamma (Rodríguez *et al.* 2016).

D. Comportamiento del plomo en el ambiente

En el agua. El plomo inorgánico proviene de fuentes industriales y mineras, que están presentes en el agua en estado oxidativo, puede acumularse en el fondo de los ríos y lagos en forma de sedimentos, o bien son arrastrados hacia el mar donde también son precipitados y depositados en los fondos marinos constituyéndose en un sumidero quedando este elemento en un lugar inaccesible, por lo general el suelo retiene a este metal depositado, reduciendo el potencial de contaminación de los acuíferos (Espinoza 2014).

En el aire. El plomo se encuentra en el aire debido a que los procesos de combustión emiten este compuesto a la atmósfera y principalmente provienen de los automóviles. Una vez en el aire, son dispersados por la velocidad y dirección del viento, o precipitados depositándose en la vegetación y en suelo (Fernández *et al.* 2004).

En el suelo. El suelo es el principal receptor de los metales pesados, por ello los compuestos de plomo también se acumulan en el suelo, pero no se comporta como un elemento estático, sino que sigue un curso dinámico. Este movimiento en el suelo se lleva a cabo por cuatro procesos, que son: movilización a las aguas superficiales o subterráneas, transferencia a la atmósfera por volatilización, absorción por las plantas e incorporación a la

cadena trófica, y retención en el suelo fijados por los procesos de adsorción (Navarro *et al.* 2007).

E. Efectos del plomo

En los humanos: El plomo ingresa al cuerpo humano por medio de la inhalación de aire con partículas de plomo, por consumo de agua o alimentos contaminados, también se distribuye a través de la sangre y los tejidos que se muestra como compartimentos activos, y los huesos representa el compartimiento de almacenamiento, asimismo se distribuye hacia el epitelio tubular de los riñones y hacia el hígado (IPCS 1994). Los efectos de la exposición se dan a largo y corto plazo, no es necesario estar expuestos a altas concentraciones para quedar contaminados; los síntomas de una exposición a plomo varían desde ligeros dolores de cabeza, irritabilidad, dolor abdominal y hasta síntomas relacionados con el sistema nervioso. En niños disminuye la capacidad intelectual causando deficiencia de atención y comportamiento antisocial y en los adultos ocasiona la reducción de la capacidad reproductiva y enfermedades cardiovasculares (Bellinger 2008).

En las plantas: El plomo cuando ingresa a las plantas ocasiona daños la dosis absorbida, la variación del contenido se debe a anomalías geoquímicas, contaminación, variaciones estacionales, genotipos y habilidad para acumular el elemento. Los síntomas que presenta las plantas no tolerantes al plomo son: severo retraso en su crecimiento, menor peso de las raíces, afecta el estado hormonal y celular, disminuye los niveles de la fotosíntesis debido a la inhibición del transporte de electrones y la consecuente reducción en la acumulación de carbohidratos (Verma y Dubey 2003).

La fitotoxicidad por plomo ocasiona desordenes en las actividades fisiológicas normales de las plantas hasta poner las células a altas concentraciones, los procesos fisiológicos afectados es la actividad enzimática, nutrición mineral, potencial hídrico, estatus hormonal, estructura de la membrana y transporte de electrones. Las plantas presentan síntomas como la disminución del índice de germinación y proporción longitud radicular / parte aérea, reducción del área foliar, aparición de manchas pardo-rojizas fenólicas en tallos, peciolos y hojas, finalmente necrosis foliar (Seregin e Ivanov 2001).

En la fotosíntesis: El proceso de la fotosíntesis es alterado en los cloroplastos por la toxicidad del plomo, causando efectos adversos, estos son: disminución de la tasa fotosintética, distorsión de estructura del cloroplasto, estricción de la síntesis de clorofila, plastoquinona y carotenoides; obstrucción del transporte de electrones, inhibición de las actividades enzimáticas del ciclo de Calvin y deficiencias de CO_2 como consecuencia de un cierre estomático (Vargas 2006).

En la absorción de nutrientes: Las concentraciones de plomo en el suelo causan desequilibrios en las proporciones de nutrientes minerales dentro de los tejidos de las plantas en crecimiento. El plomo también bloquea la entrada de cationes (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} , Fe^{+3}) y aniones (NO_3^-) en el sistema radicular. El contenido de plomo en la planta y en la base de la raíz altera los niveles de elementos minerales e influye en la distribución de los elementos nutritivos dentro de los diferentes órganos de la planta (Vargas 2006).

F. Tolerancia de plantas al plomo

Baker (1981) sugiere dos estrategias básicas relacionadas con la absorción de un metal y la tolerancia de las células vegetales. Las respuestas celulares al estrés tóxico son:

- a. Tolerancia por exclusión y
- b. Tolerancia por acumulación.

a) Tolerancia por exclusión. Consiste en el mantenimiento de niveles bajos y constantes del metal en el suelo y se mantiene hasta que las concentraciones en el mismo alcanzan niveles críticos, a partir de los cuales no pueden ser mantenidos y se produce toxicidad.

b) Tolerancia por acumulación. Consisten en concentrar el metal activamente dentro de los tejidos vegetales, implicando procesos fisiológicos altamente especializados. En este sentido Berry (1986) sugirió tres estrategias básicas de respuesta: "Evitación, Detoxificación y Tolerancia bioquímica"; cada una afecta la concentración del metal en los tejidos de diferente forma.

2.2.4. Interacción de metales pesados frente a las plantas

La habilidad de las plantas para absorber los metales pesados varía dependiendo de la especie, época, estado de desarrollo, forma química y solubilidad del metal en el suelo. La concentración de los nutrimentos en la solución del suelo cerca de la raíz es diferente a la más alejada, es decir que algunos nutrimentos son absorbidos por las raíces a una velocidad más alta de la que son transportados a la superficie de la raíz, otros nutrimentos son tomados por las plantas a bajas velocidades y por lo tanto se acumulan en la superficie radicular. Por otro lado, los horizontes del suelo difieren en su disponibilidad de nutrimentos, sin embargo, la capacidad de las plantas para tomar los nutrimentos depende de la distribución de las raíces sobre las capas del suelo (Bautista 1999).

Las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas adoptan estrategias frente a los metales pesados en su entorno, unas basan su resistencia con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea y otras acumulan el metal en la parte aérea en forma no tóxica para la planta. La exclusión es característica para especies sensibles y tolerantes a los metales, y la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados (Barceló *et al.* 2003).

El plomo causa diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación, algunas especies acumulan plomo a medida que se aumenta las dosis en el suelo hasta niveles menores a 1000 mg de Pb/kg de suelo, tiende a incrementarse rápidamente en los órganos de la planta que éstas no lo toleran y mueren. Los mecanismos de fitotoxicidad de Pb están relacionadas con la permeabilidad de la membrana celular, reacciones de grupos sulfidrilos (-SH) con cationes y afinidad para reaccionar con grupos fosfatos (Rodríguez *et al.* 2006).

En las plantas, el plomo se acumula principalmente en las raíces siendo mínima su presencia en otras partes u órganos de los cultivos, las plantas expuestas al plomo sintetizan cisteína y polipéptidos de bajo peso molecular

llamados fitoquelatinas, en diversas especies se ha demostrado que los metales Cd y Pb se unen a las fitoquelatinas después de inducir su producción, además, la capacidad de unión de las fitoquelatinas a los diferentes metales difiere, ya que los compuestos de Cd se unen con fuerza a las fitoquelatinas que los del Pb, debido a que este último presenta un radio iónico de conformación octahedral (López *et al.* 2005).

2.2.5. Interacción del plomo con la papa

El plomo no es un tóxico sistémico en el reino vegetal, ya que no se difunde por el sistema vascular de la planta de papa y no contamina, o contamina poco las partes aéreas consumibles. Esta característica añadida a su efímera persistencia en las aguas, contribuye a explicar su bajo poder de biomagnificación a través de la cadena alimentaria; en cambio, las hojas o los frutos se pueden ver más expuestos a este metal por la cercanía a las industrias o autopistas (Corujo *et al.* 1993).

A. Ingreso, transporte y acumulación del plomo en la papa

García (2006) señala que, el mucílago (segregado por la cofia) puede retener en sus cargas negativas cationes como el Pb^{+2} , previniendo la entrada de este metal al ápice radicular. Sin embargo, al ser biodegradado, el sistema radicular queda desprotegido y el plomo ingresa uniéndose con los grupos carboxilo del ácido urónico del mucílago. La posible vía del transporte del plomo a través de la membrana plasmática es a través de los canales catiónicos de la misma, tales como los canales de calcio. El Ca^{+2} bloquea el transporte del Pb^{+2} dentro de la raíz, apreciando así una mayor acumulación del metal en esta parte.

Además, menciona que, el plomo se mueve en el apoplasto de la raíz en una forma radial a través del córtex y se acumula en la endodermis y esta actúa como una barrera parcial para evitar el paso del metal hacia la parte aérea. La banda de Caspari se encuentra en la endodermis, y el responsable de restringir el transporte del plomo. Se ha demostrado que el plomo se retiene más en la membrana citoplasmática que en la pared celular.

Así mismo, la distribución del plomo en la raíz depende de la concentración, resultando que a bajas concentraciones de plomo predomina el flujo de iones de plomo en el apoplasto, mientras que a altas concentraciones del metal la

barrera funcional de la membrana plasmática es dañada y una gran cantidad de plomo ingresa al interior de las células. La pared celular y las vacuolas juntas suman 96% del plomo absorbido.

B. Factores que influyen en la contaminación de la papa

Luna y Rodríguez (2016) describe las principales vías de entrada del plomo a las plantas de papa y son a través del aire, el agua y el suelo, a continuación, se describe:

Aire: El viento es un agente que produce la movilización en forma particulada del plomo que se encuentran en la superficie del suelo, en este caso, los factores que gobiernan el proceso son la naturaleza de las partículas que transporta y la intensidad del viento. El transporte de materia particulada puede suponer la contaminación de las aguas y de los terrenos cercanos, además, transportado por el aire tiene importantes implicaciones desde el punto de vista de la salud, a través de la inhalación de pequeñas partículas que pueden ser absorbidas en la región alveolar del pulmón representando una amenaza para la salud pública.

Agua: La circulación del plomo con las aguas está influenciada por el balance hídrico del agua en el suelo, donde interviene la cantidad de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración del agua, en función de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Suelo: Los principales peligros ambientales de la transferencia del plomo desde el suelo a las plantas son la entrada de éstos a la cadena trófica, pérdida de cobertura vegetal o cosecha por su fitotoxicidad y la absorción del metal desde el suelo por plantas tolerantes.

Las plantas desarrollan mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias; sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

Para los suelos contaminados hay una barrera suelo-planta que limita la translocación del plomo a la cadena alimenticia (inmovilización química en el suelo o limita crecimiento de la planta) antes de que el plomo alcance valores

que puedan dañar al hombre. El pH también es un parámetro importante que define la movilidad del catión. Las fracciones más móviles de iones ocurren en rangos menores de pH (suelos ácidos). Los suelos arcillosos presentan una mayor capacidad de retención de agua y contaminantes, una mayor micro porosidad y, por tanto, una reducción del drenaje interno del suelo. Por el contrario, en los suelos arenosos, con menor capacidad de fijación y una macro porosidad dominante, los metales pesados se infiltran rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Luna y Rodríguez 2016).

2.2.6. La papa

El origen de la papa y su tubérculo comestible se establece en el año 8000 a.c. en el altiplano andino, en el sur del Perú. Durante siglos fue, junto al maíz, puntal clave en la alimentación de varias civilizaciones precolombinas. Por conquista española de Suramérica, la papa viajó en 1554 desde Perú a España donde es conocida con el nombre de patata, en menos de un siglo, la patata se convierte en elemento capital de la alimentación de las poblaciones de Italia, Alemania, Polonia y Rusia. En el año 2008 las Naciones Unidas hace un reconocimiento internacional declarado “Año Internacional de la papa” para aumentar la conciencia de su importancia como alimento en los países en desarrollo (ARGENPAPA 2015).

La papa, cuya parte comestible es el tubérculo, es el cuarto cultivo más importante del mundo, solo detrás del trigo, maíz y arroz, esto debido a las excelentes propiedades del tubérculo y a su facilidad de crecimiento. Este tubérculo contiene almidón, vitamina C y una de las vitaminas del complejo B, una pequeña porción de proteína y minerales, lo que ha hecho de este cultivo uno de los más importantes para la alimentación (Luján 1996).

Los niveles de proteína encontrados en las papas nativas son insuficientes para cubrir el requerimiento diario, por lo que su ingesta debe acompañarse de otros vegetales o alimentos, que suplementen los nutrientes faltantes en el tubérculo, las variedades con mayor contenido de fibra pueden contribuir con el 24,28% del requerimiento diario, según las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (Verdú 2005).

La papa de variedad INIA 325-Poderosa se caracteriza por tener una resistencia vertical a la racha en comparación de la papa amarilis, además de un alto rendimiento de 35 a 40 toneladas por hectárea y apreciable contenido de micronutrientes con excelente calidad culinaria para los diversos potajes. También se caracteriza por tener una rápida adaptación en zonas altoandinas y puede soportar entre los 2500 a 4100 msnm, permitiendo así, que sean más resistentes a heladas y granizadas, también posee diversas características de rendimiento, buena calidad de consumo y resistencia a plagas como la “racha” (Cilloniz 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, la cual está localizada en el distrito, provincia, y departamento de Cajamarca. Esta institución se encuentra ubicada geográficamente a 7° 10' 01" latitud sur, 78° 29' 44" longitud oeste y a una altitud de 2750 msnm, en el kilómetro 3.5 de la carretera a Baños del Inca – Cajamarca.

3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

Plántulas *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L. var. "Poderosa"), procedentes del Banco de Germoplasma del Laboratorio de Biotecnología Vegetal.

3.2.2. Medio de cultivo y reactivos

- a. Medio de cultivo Murashige & Skoog (1962).
- b. Medio de cultivo Murashige & Skoog (1962), modificado por Buendía-Gonzales *et al.* 2010.
- c. Nitrato de plomo [Pb(NO₃)₂] a 10,000 ppm.
- d. Soluciones reguladoras de pH: ácido clorhídrico (HCl 0.1N) e hidróxido de sodio (NaOH 0.1N).

3.2.3. Materiales y equipos de laboratorio

- a. Autoclave automático y pHmetro (Digital-Handylab 1).
- b. Matraces, pipetas y probetas graduadas de vidrio (Blaubrand), frascos de vidrio de 120 ml de capacidad, placa de petri de vidrio, pinza de disección curva punta roma, mango de bisturí # 3 y Hoja de bisturí # 11.
- c. Alcohol etílico 96°, ron de quemar, mechero de alcohol, hipoclorito de sodio (lejía), algodón, guantes estériles y mandil.

3.2.4. Material de gabinete

Literatura especializada, equipo de cómputo, USB., cámara fotográfica, materiales de escritorio.

3.3. Metodología

3.3.1. Trabajo en laboratorio

3.3.1.1. Fase pre experimental

- a. Se acondicionó el laboratorio y realizó la propagación clonal de plántulas *in vitro* de papa de variedad la “Poderosa” (Figura 1), procedentes del Banco de Germoplasma del Laboratorio de Biotecnología Vegetal, en un medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962 contenido en frascos de vidrio de 120 ml de capacidad. Cada frasco contuvo 10 ml de medio de cultivo regulado a 5.6 de pH, debidamente esterilizados en autoclave a 121°C por veinte minutos. En cada frasco se colocaron cuatro segmentos de tallo, sin hojas con 3 ó 4 yemas cada uno. Las siembras fueron siendo incubadas bajo un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad para su desarrollo.
- b. Pasado un periodo de 60 días calendarios, las plántulas de papa crecieron con toda normalidad, presentando tallos con una longitud promedio de 4,50 cm de alto y con variedad en su color (verde musgo, verde oscuro y verde oliva), con la presencia regular de hojas color verde y raíces de color verde mostaza (Figura 2). De esta manera se pudo obtener la cantidad necesaria de plántulas de papa con las cuales se inició la parte experimental.



Figura 1. Propagación clonal de plántulas *in vitro* de papa.



Figura 2. Estado de plántulas de papa, aptas para la fase experimental.

Tratamientos en estudio

Se utilizaron cuatro concentraciones de plomo preparados a partir de una solución madre de nitrato de plomo $[Pb(NO_3)_2]$, los cuales fueron incorporadas en el medio de cultivo Murashige & Skoog 1962, modificado por Buendía-Gonzales *et al.* 2010 (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos en estudio (concentraciones de $Pb(NO_3)_2$ / Pb).

Tratamientos		
N°	Clave	Descripción
01	T ₀	0 ppm de $Pb(NO_3)_2$ / 0 ppm de Pb
02	T ₁	496.80 ppm de $Pb(NO_3)_2$ / 310.77 ppm de Pb
03	T ₂	993.60 ppm de $Pb(NO_3)_2$ / 621.54 ppm de Pb
04	T ₃	1490.40 ppm de $Pb(NO_3)_2$ / 932.31 ppm de Pb

3.3.1.2. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente Randomizado (DCR), con cuatro tratamientos (concentraciones de plomo), cuatro repeticiones y cuatro unidades experimentales por tratamiento.

3.3.1.3. Fase experimental

a. Se inició con la preparación de 90 mililitros de una solución madre de nitrato de plomo $[Pb(NO_3)_2]$ a 10,000 ppm de concentración, utilizando 0.90 gramos de $Pb(NO_3)_2$, y agua destilada como solvente (Figura 3). Esta solución fue

agregada a los diferentes tratamientos del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado por Buendía-Gonzales *et al.* 2010.



Figura 3. Preparación de la solución nitrato de plomo $[Pb(NO_3)_2]$ de 10,000 ppm de concentración.

- b. Seguidamente se preparó 1.2 litros del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado por Buendía-Gonzales *et al.* 2010 (Apéndice 1), utilizando los macro y micro elementos descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Reactivos para preparación de 1.2 L del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado por Buendía-Gonzales *et al.* 2010

Reactivos para 1.2 litro de medio de cultivo M&S 1962 modificado por Buendía-Gonzales <i>et al.</i> 2010	Pesos
Macro elementos:	
Nitrato de amonio (NH_4NO_3)	1.98 g
Sulfato de magnesio heptahidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	0.44 g
Cloruro de calcio dihidratado ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)	0.53 g
Micro elementos:	
Ácido bórico (H_3BO_3)	7.4 mg
Sulfato de manganeso tetrahidratado ($MnSO_4 \cdot 4H_2O$)	26.8 mg
Molibdato de sodio dihidratado ($NaMoO_4 \cdot 2H_2O$)	0.30 mg
Sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	0.03 mg
Cloruro de cobalto hexahidratado ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$)	0.03 mg
Sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	12 g

- c. El medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado por Buendía-Gonzales *et al.* 2010, fue compartido en cuatro matraces (300 ml para cada uno), y se aplicó la solución de plomo (Figura 4) con las cantidades definidas en la Tabla 1.

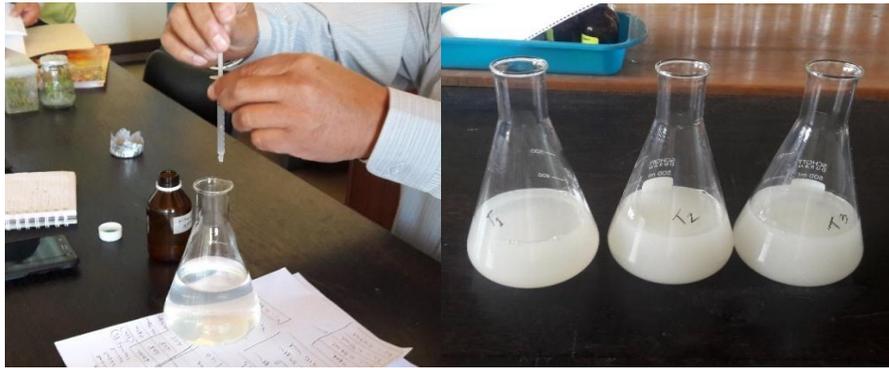


Figura 4. Distribución del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado y aplicación de la solución de plomo.

- d. Luego, utilizando un pHmetro digital, se reguló el pH de cada tipo de medio de cultivo a un valor de 5.60 (Apéndice 2), utilizando soluciones de hidróxido de sodio (NaOH 0.1N) y ácido clorhídrico (HCl 0.1N).
- e. En seguida, los medios de cultivo y demás materiales de vidrio fueron esterilizados con calor húmedo a 121°C por veinte minutos (Autoclave). Después de ser enfriados a temperatura ambiente los cuatro medios de cultivo fueron utilizados para sustituir al medio de cultivo inicial, en el cual crecieron las plántulas de papa (Apéndice 3), actividad que se realizó en condiciones asépticas, dentro de la cámara de flujo laminar.
- f. Finalmente, todas las unidades experimentales fueron rotuladas e incubadas en la cámara de crecimiento, con un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad (Apéndice 4).

3.3.1.4. Análisis químico de plántulas y medio de cultivo

Muestras representativas de los medios de cultivo y de las plántulas *in vitro* de papa, regeneradas en cada uno de ellos fueron tomadas y sometidas a análisis químico (Anexo 1 y 2) en dos momentos: (1) antes de la sustitución del medio de cultivo; y (2) al término de la fase experimental. El propósito de estos análisis fue el de evidenciar el contenido del plomo total en la biomasa aérea (tallo y hoja) y sistema radicular, así como en los distintos tipos de medios de cultivo utilizados en la presente investigación.

3.3.2. Evaluaciones realizadas

A. Relación de crecimiento (RC)

Al término de la fase experimental, se determinó los pesos frescos y secos de la biomasa aérea de las plántulas *in vitro* regeneradas en cada tratamiento, con los cuales se determinó el crecimiento según el procedimiento descrito por Baker (1987).

$$RC = \frac{\text{Biomasa de plantula bajo el efecto del metal pesado}}{\text{Biomasa de plantula sin el efecto del metal pesado (plantula testigo)}} \times 100$$

B. Índice de tolerancia (IT)

Al término de la fase experimental se determinó las longitudes de la parte radicular de las plántulas de cada tratamiento (Apéndice 6), datos con los cuales se determinó el índice de tolerancia al metal pesado, según lo descrito por Baker (1987).

$$IT = \frac{\text{Longitud de raiz de la plantula bajo el efecto del metal pesado}}{\text{Longitud la raiz de la plantula sin efecto del metal pesado}} \times 100$$

C. Supervivencia de plántulas

La evaluación de supervivencia de las plántulas frente a la presencia de plomo en los medios de cultivo se realizó a los 30 días del inicio de la fase experimental, mediante observación directa y conteo de unidades experimentales (plántulas) sobrevivientes. Los resultados fueron expresados en porcentaje (Tabla 5).

D. Morfología de plántulas

En comparación con las plántulas testigo, a los 30 días de iniciado la fase experimental se registró la forma y pigmentación de las plántulas *in vitro* en cada tratamiento en estudio (Tablas 6).

E. Factor de bioacumulación (FB) y Factor de translocación (FT)

Pasados los 30 días de la fase experimental, las plántulas regeneradas en cada tipo de medios de cultivo (tratamientos) fueron despojados y tanto las raíces como los tallos y medios de cultivo fueron sometidos a análisis químico

(Anexo 1 y 2) con el propósito de evidenciar el contenido de plomo. Los datos obtenidos fueron utilizados para determinar el FB y FT con las siguientes formulas:

$$FB = \frac{\text{Metal pesado en tallo}}{\text{Metal pesado en el Medio de cultivo}}$$

$$FT = \frac{\text{Metal pesado en tallo}}{\text{Metal pesado en la raíz}}$$

3.3.3. Procesamiento estadístico y análisis de los datos

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente, Estos fueron sometidos a un análisis de la varianza (ANVA) con un nivel de significancia de 0.05 (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de la varianza del DCR y prueba de F para el crecimiento e índice de tolerancia de la papa.

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fo
Concentración plomo	A_{yy}	3	M₁	M₁/M₂
Error	B_{yy}	12	M₂	
Total	C_{yy}	15		

La significación de los cuadrados medios, respecto a la concentración de plomo fue probado por el cuadrado medio del error, como se detalla en la prueba de F.

Esto ha permitido estudiar la siguiente hipótesis:

Prueba de hipótesis para la concentración

Ho: Todos los niveles de concentración de plomo producen el mismo efecto sobre el crecimiento e índice de tolerancia.

Hi: Al menos un nivel de concentración de plomo produce diferente efecto sobre el crecimiento e índice de tolerancia.

La prueba de F para la interacción M₁/M₂, nos indica que existe diferente significancia estadística cuando se compara alfa con valor p; p menor que alfa

0.05 es significativo y se rechaza la H_0 y se concluye que existen diferencias significativas entre los diferentes niveles de concentración de plomo.

Como los niveles del factor concentración son cuantitativos y equidistantes se utilizó un análisis de regresión. Los modelos considerados fueron de regresión lineal y regresión cuadrática. Se consideró el coeficiente de determinación o R^2 como medida de ajuste de los modelos. El criterio de selección del modelo fue considerar un R^2 mayor a 0.60, suficiente para considerarlo significativo (Gómez y Gómez 1984).

Para el análisis de la varianza se usó el programa estadístico SAS. Para el estudio de la regresión se usó Excel.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son expuestos en este capítulo bajo la forma de tablas y figuras con su respectiva interpretación.

4.1. Relación de crecimiento (RC)

El crecimiento de las plántulas de papa para cada tratamiento (concentración de plomo) se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación de crecimiento para cada tratamiento (concentración de plomo).

Tratamientos		Relación de crecimiento	Porcentaje de la relación de crecimiento (%)
Clave	Concentración plomo (ppm)		
T ₀	0	1	100
T ₁	310.77	0.90	90
T ₂	621.54	0.78	78
T ₃	932.31	0.67	67

En la Tabla 4 se observa que a medida que aumenta la concentración inicial de plomo en el medio de cultivo, el crecimiento de las plántulas *in vitro* de papa disminuye.

Realizado el análisis de varianza (Tabla 5), se pudo determinar la prueba de F para la concentración de plomo y al comparar el valor de p es menor que alfa 0.05; es decir, es significativo y existe diferencia significativa para los diferentes niveles tratamientos, causando diferente efecto en las plántulas de papa.

Tabla 5. Análisis de la varianza para la relación de crecimiento.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F _o	F _{crítico}	Probabilidad Valor p
Concentración plomo	0.2537	3	0.085	75.43	3.490	< 0.0001
Error experimental	0.0134	12	0.0011			
Total	0.2671	15				

C.V

3.997%

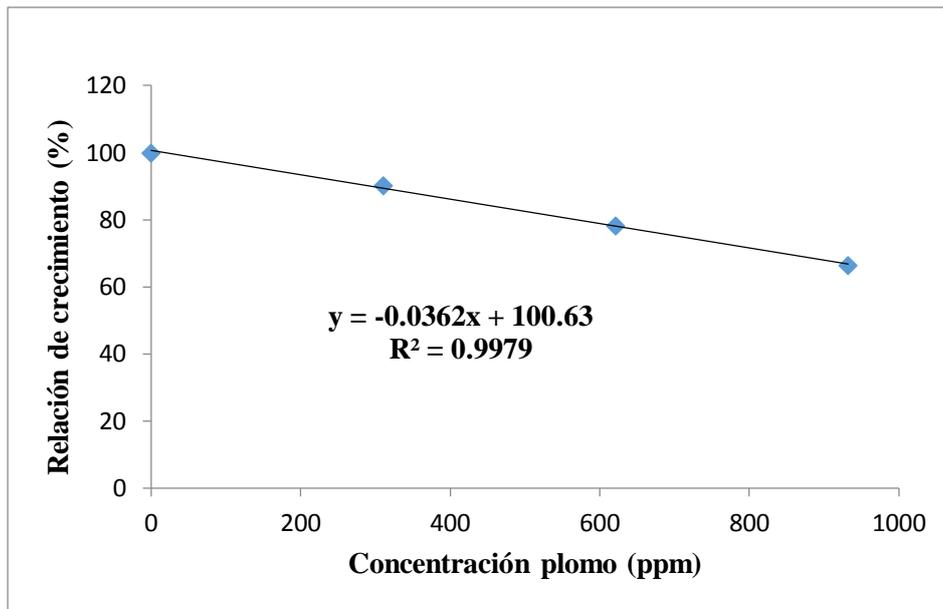


Figura 5. Regresión lineal entre la relación de crecimiento de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.

En la Figura 5, se observa que por cada 310.77 ppm que se le adicione al medio, la relación de crecimiento disminuirá en 0.04. Esto significa que a medida que incrementa la concentración de plomo el crecimiento es menor. Este comportamiento es significativo por presentar un $R^2 = 0.99$ y corroborado por prueba de F en Tabla 5 (valor $p < 0.0001$) en la regresión lineal por polinomios ortogonales.

Se concluye indicando que hay una relación inversa donde, a mayor concentración de Pb, menor es el crecimiento y viceversa, mostrando en el T_0 el 100% de crecimiento de plántulas, en el T_1 el 90%, en el T_2 el 78% y en el T_3 el 67% de crecimiento frente al plomo.

En tal sentido Guzmán (2013), determinó el efecto del plomo sobre el crecimiento de plantas de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) para ello, se expuso a diferentes concentraciones de plomo (100, 1000 y 10000 ppm). Los resultados del estudio mostraron evidencias significativas del efecto del plomo en los procesos fisiológicos y crecimiento en la especie, determinando que, a mayor concentración, menor crecimiento de la planta.

4.2. Índice de tolerancia (IT)

El índice de tolerancia de las plántulas de papa para cada tratamiento (concentración de plomo) se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Índice de tolerancia de las plántulas de papa, por cada tratamiento.

Tratamientos		Índice de tolerancia	Porcentaje del índice de tolerancia (%)
Clave	Concentración plomo (ppm)		
T ₀	0	1	100
T ₁	310.77	0.97	97
T ₂	621.54	0.71	71
T ₃	932.31	0.65	65

En la Tabla 6 se observa que a medida que aumenta la concentración de plomo en el medio, el índice de tolerancia de las plántulas de papa disminuye.

Realizado el análisis de varianza (Tabla 7), se pudo determinar la prueba de F para la concentración de plomo y al comparar el valor de p es menor que alfa 0.05; es decir, es significativo y que existe diferencia significativa para los diferentes tratamientos, causando diferente efecto en las plántulas de papa.

Tabla 7. Análisis de varianza para el índice de tolerancia.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F _o	F _{crítico}	Probabilidad Valor p
Concentración Plomo	0.3854	3	0.1285	7.04	3.490	0.0055
Error Experimental	0.2189	12	0.0182			
Total	0.6043	15				

C.V.

16.284 %

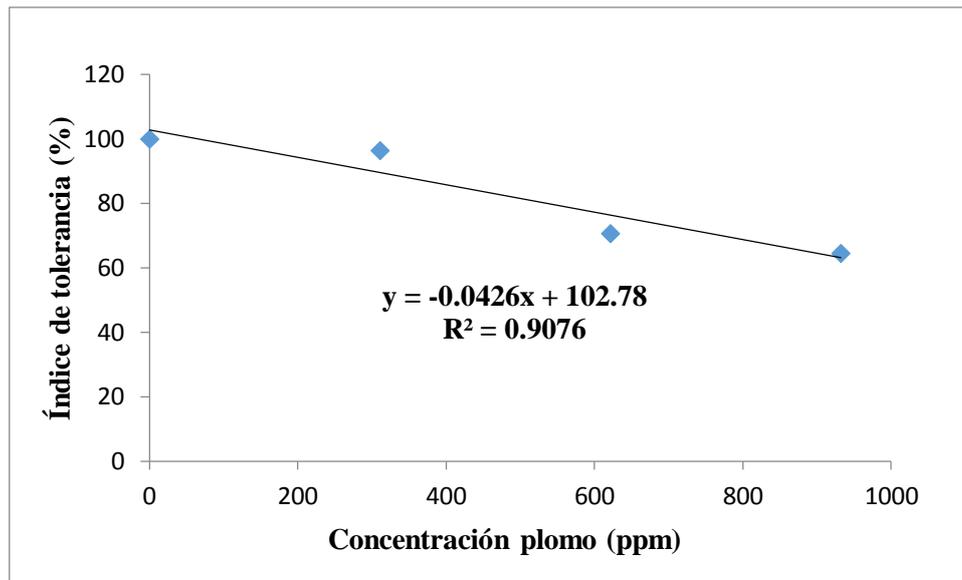


Figura 6. Regresión lineal entre el índice de tolerancia de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.

En la Figura 6, se observa que por cada 310.77 ppm que se le adicione al medio el índice de tolerancia disminuirá en 0.04. Esto significa que a medida que incrementa la concentración de plomo el índice de tolerancia es menor. Este comportamiento es significativo por presentar un $R^2 = 0.91$ y corroborado en Tabla 7 (valor $p < 0.0001$) en la regresión lineal por polinomios ortogonales.

Se concluye indicando que hay una relación inversa donde, a mayor concentración de Pb, menor es el índice de tolerancia y viceversa. Mostrando que las plántulas de papa en el T_0 presentan el 100% de índice de tolerancia, en el T_1 el 97%, en el T_2 el 71% y en el T_3 el 65% de índice de tolerancia de las plántulas frente al plomo.

En tal sentido, Wilkins (1978) y Deng y col., (2006), describe que el índice de tolerancia a la presencia de Pb para cada especie en estudio, se determina relacionando la elongación de las raíces de las plantas que crecieron en el medio con plomo, con las plantas que crecieron en ausencia del contaminante y multiplicado por 100. En base a esto, Tintín y Moscoso (2013), determinó el índice de tolerancia de papa (*Solanum Tuberosum ssp andina*) al plomo, teniendo el T_1 con 59.22%, el T_2 con 52.26% y el T_3 con 52.49% de tolerancia al Pb, frente a cuatro tratamientos de suelos contaminados con 00, 50, 75 y 150 ppm de contaminante.

4.3. Supervivencia de plántulas de papa

El porcentaje de supervivencia de plántulas de papa para cada tratamiento (concentración de plomo) se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de supervivencia de plántulas de papa, por cada tratamiento.

Tratamientos		Unidades experimentales	Plántulas muertas	Plántulas vivas	Supervivencia (%)
Clave	Concentración plomo (ppm)				
T ₀	0	16	0	16	100.00
T ₁	310.77	16	2	14	87.50
T ₂	621.54	16	4	12	75.00
T ₃	932.31	16	5	11	68.75

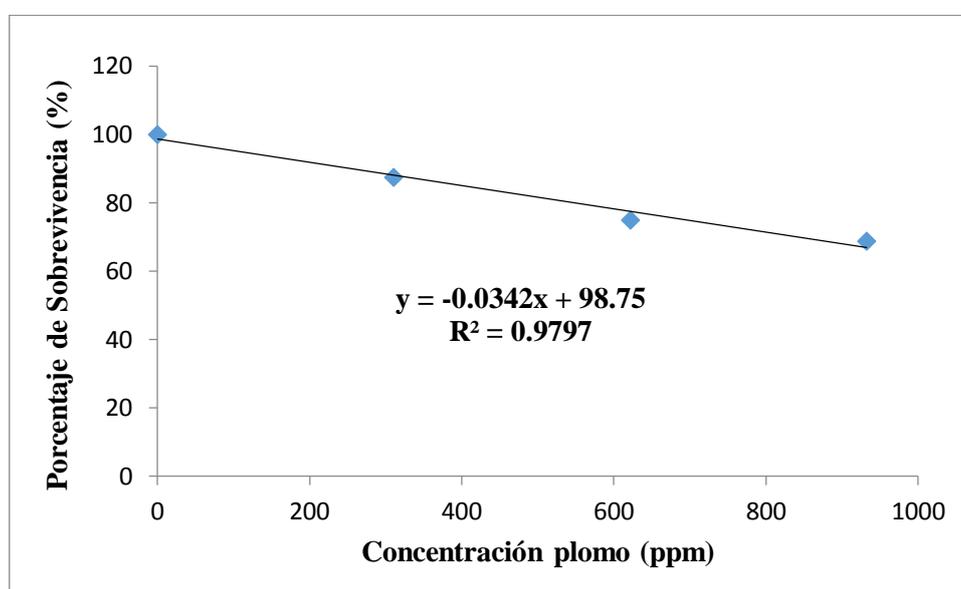


Figura 7. Regresión lineal entre la supervivencia de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.

En la Figura 7, se observa que por cada 310.77 ppm que se le agrega al medio disminuye en 0.03 la supervivencia de plántulas de papa. Esto se entiende que a medida que se incrementa la concentración de plomo en el medio la supervivencia de plántulas de papa es menor.

Se concluye que en la supervivencia de las plántulas de papa hay una relación inversa debido a que, a mayor concentración de plomo, menor es la supervivencia de plántulas y viceversa. Teniendo los siguientes porcentajes de supervivencia: T₀ = 100%, T₁ = 87.50%, T₂ = 75% y en la T₃ = 68.75%.

4.4. Morfología de plántulas de papa

La morfología de plántulas de papa para cada tratamiento (concentración de plomo) se muestra en la Tabla 9, siendo evaluadas a los 30 días de la fase experimental y teniendo en cuenta las longitudes promedios de la parte aérea y radicular de las plántulas (Apéndice 6).

Tabla 9. Evaluación morfológica de las plántulas de papa, por cada tratamiento.

T₀ (0.00 ppm)		
Tallo	<ul style="list-style-type: none"> -Altura promedio: 9.34 cm. -Color: variedad en su color, en gran mayoría de verde musgo y parte de ellos color verde oscuro y verde oliva. -Abundancia: ahijamiento de tallos aumentando su cantidad. -Percepción: normal crecimiento. 	
Hoja	<ul style="list-style-type: none"> -Tamaño: normal, guarda relación con el tamaño del tallo. -Color: verde -Abundancia: regular Percepción: caída de hojas maduras y presencia de tamaño normal de las hojas crecidas. 	
Raíz	<ul style="list-style-type: none"> -Longitud promedio: 11.34cm. -Color: verde mostaza. -Abundancia: poca. Percepción: normal desarrollo de las raíces sin alteraciones físicas. 	
T₁ (310.77 ppm)		
Tallo	<ul style="list-style-type: none"> -Altura promedio: 8.53cm. -Color: variedad en su color, en gran mayoría verde musgo y parte de ellos color verde oscuro y verde oliva, con poca presencia del color amarillo nápoles claro. -Abundancia: aumenta su cantidad con poca presencia de hijuelos de tallos -Percepción: muestra la recuperación de tallos con signos de crecimiento y mayor cantidad el color verde musgo. Se tiene un aproximado del 12% de tallos marchitados en cada unidad experimental sobreviviente. 	
Hoja	<ul style="list-style-type: none"> -Tamaño: regular, guarda relación con el tamaño del tallo. -Color: verde -Abundancia: regular Percepción: mantienen la presencia y normal desarrollo de las hojas que brotadas. 	
Raíz	<ul style="list-style-type: none"> -Longitud promedio: 10.69 cm. -Color: verde mostaza. -Abundancia: escasa. 	

	Percepción: muestra el efecto notable del metal, aparentando ser de color blanco lino por efecto de la concentración aplicada.	
T₂ (621.54 ppm)		
Tallo	<ul style="list-style-type: none"> - Altura promedio: 8.41 cm. - Color: variado entre verde musgo, verde oscuro y verde oliva. - Abundancia: presencia de algunos hijuelos crecidos. - Percepción: se observó la agonía de 4 unidades experimentales. De las restantes se mantenían el marchitamiento de tallos con una aproximación del 25% de secamiento en cada unidad experimental. 	
Hoja	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño: pequeñas. - Color: verde. - Abundancia: nula. - Percepción: se observó la disminución total de hojas, sólo con el crecimiento mínimo en los rebrotes débiles que reaparecieron. 	
Raíz	<ul style="list-style-type: none"> - Longitud promedio: 7.91 cm. - Color: verde mostaza. - Abundancia: nula. - Percepción: gran efecto por la concentración aplicada en toda la estructura radicular, expresando ser de color blanco lino con fracciones de color pardo beige a continuación de los tallos. 	
T₃ (932.31 ppm)		
Tallo	<ul style="list-style-type: none"> - Altura promedio: 7.25 cm. - Color: variado entre verde musgo, verde oscuro, verde oliva; con cambio a color amarillo nápoles claro. - Abundancia: nula. - Percepción: se observó la agonía de 5 unidades experimentales de plántulas. Las restantes se mantenían con los tallos marchitados de color amarillo nápoles claro, con un aproximado del 28% de secamiento en cada unidad experimental. 	
Hoja	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño: pequeñas. - Color: verde musgo. - Abundancia: nula. - Percepción: disminución total de hojas, sólo con poca presencia de pequeñas hojas débiles que mostraron reaparecer en algunos brotes de los tallos. 	
Raíz	<ul style="list-style-type: none"> - Longitud promedio: 7.28 cm. - Color: verde mostaza. - Abundancia: nula. - Percepción: con efecto fuerte por la concentración aplicada mostrando en toda la estructura radicular el color blanco lino con fracciones de color pardo beige a continuación de los tallos. 	

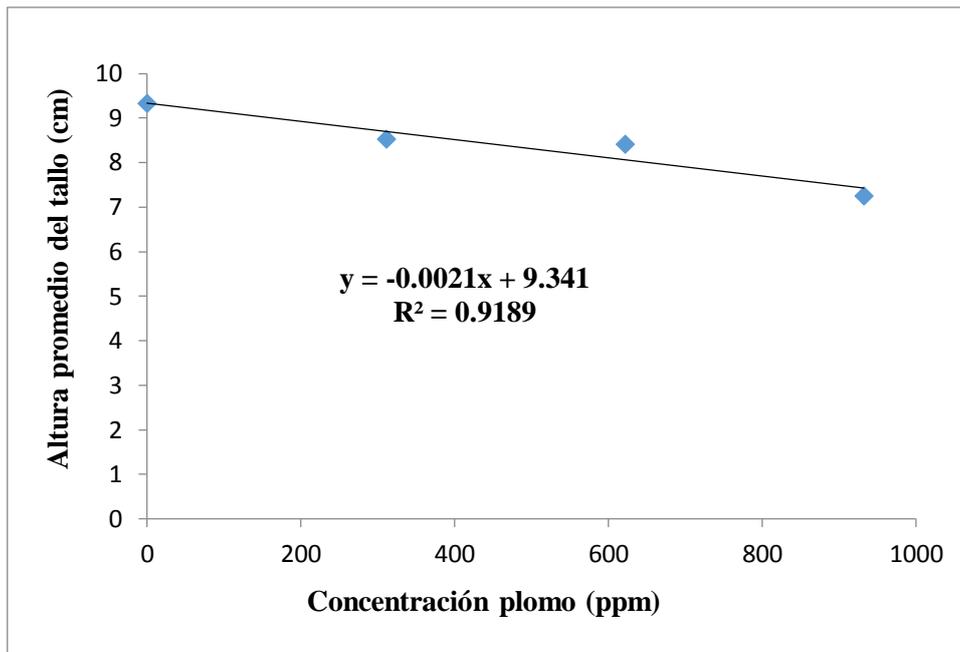


Figura 8. Regresión lineal entre la longitud de la parte aérea de las plántulas de papa y los niveles de concentración de plomo estudiados.

En la Figura 8, se observa que por cada 310.77 ppm que se le agrega al medio disminuye en 0.002 la longitud de la parte aérea de plántulas de papa, determinando que a medida que se incrementa la concentración de plomo en el medio, el crecimiento del tallo de plántulas de papa es menor.

Se concluye que en el tallo de las plántulas de papa hay una relación inversa debido a que, a mayor concentración de plomo, menor es la longitud del tallo de papa y a menor concentración de plomo, mayor es la longitud del tallo. Esta relación inversa también sucede en la investigación de Tintín y Moscoso (2013), donde determinó la capacidad de absorción de las plantas de papa en suelos contaminados con plomo, utilizando concentraciones de: 00, 50, 75 y 175 ppm de Pb, obteniendo como resultados: $T_1 = 102.10$; $T_2 = 97.52$; $T_3 = 83.64$ y $T_4 = 81$ cm de longitud de los tallos en cada tratamiento.

4.5. Factor de bioacumulación (FB) y Factor de translocación (FT)

○ Factor de bioacumulación (FB)

El factor de bioacumulación para cada tratamiento (concentración de plomo) se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Factor de bioacumulación (FB) de plomo en las plántulas de papa.

Tratamientos		Factor de bioacumulación
Clave	Concentración plomo (ppm)	
T ₀	0	0
T ₁	310.77	123.57
T ₂	621.54	305.71
T ₃	932.31	137.7

En la Tabla 10 se observa los datos del factor de bioacumulación en los tratamientos donde ha sido aplicado el plomo y en la plántula testigo no, debido a que no se aplicó plomo, teniendo la mayor bioacumulación en la concentración dos, disminuyendo en el de mayor y menor concentración aplicada.

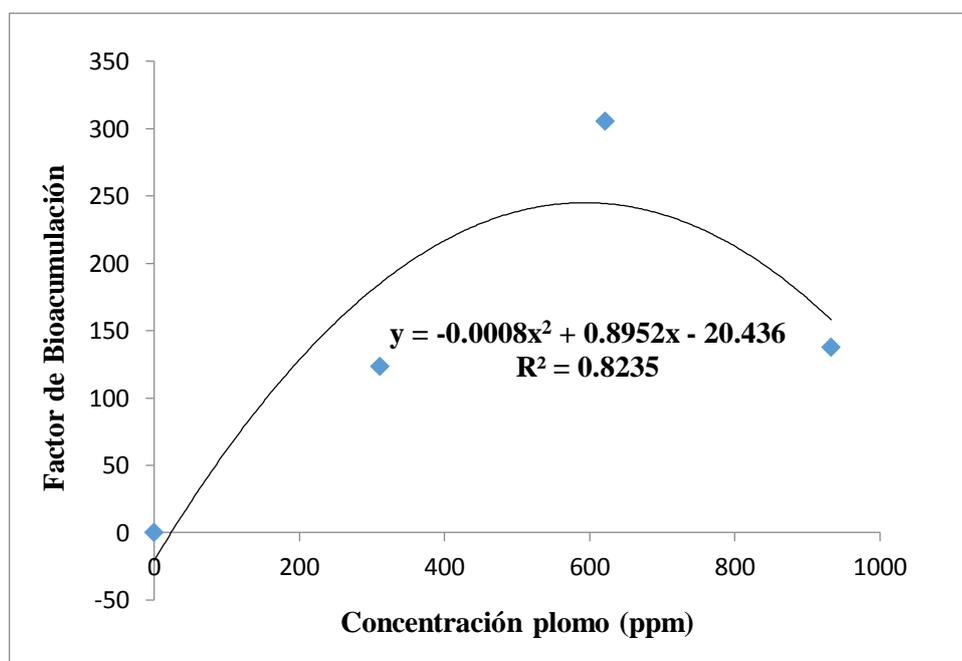


Figura 9. Factor de bioacumulación (FB) del plomo en las plántulas de papa por tratamiento en estudio.

En la Figura 9, el resultado muestra un ajuste del modelo cuadrático, con un valor de $R^2 = 0.82$.

Las plántulas de papa analizadas en este estudio, tiene mayor concentración en la parte radicular de la planta que en la parte aérea, los datos obtenidos como factor de bioacumulación son: en el T₀: 00; T₁: 123.57; T₂:305.71 y en el T₃ de 137.70, todos los valores son menores a 1000 mg/kg, considerado como plántula no hiperacumuladora al plomo (la planta no es capaz de crecer con

altas concentraciones de metales pesados), En ese sentido, Baker y Brooks (1989) determinan y consideran hiperacumuladoras a las especies de plantas que almacenan metales pesados a concentraciones mayores de: Pb > 1000 mg/kg en la parte aérea de la planta.

Caso similar demuestra Vega (2018) en la determinación de la capacidad de fitoacumulación de plomo utilizando las especies de chocho silvestre (*Lupinus tomentosus* DC.) y llantén (*Plantago mayor* L.), donde determinó la mayor concentración de Pb en el T₁ y en la parte radicular de la especie *Lupinus tomentosus* (329 mg/kg de Pb en la parte radicular y 308 mg/kg en la parte aérea) y la menor concentración en el T₅ (91 - 83 mg/kg de Pb en la parte de la radicular y aérea), y para la especie *Plantago mayor* L. se encontró la mayor concentración en el T₁ (222 mg/kg de Pb en la parte radicular y 204 mg/kg en la parte aérea) y la menor concentraciones en el T₅ (111 - 47 mg/kg de Pb en la parte de la radicular y aérea)

○ **Factor de translocación (FT)**

El Factor de translocación para cada tratamiento (concentración de plomo) se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Factor de translocación (FT) de plomo en las plántulas de papa, por cada tratamiento.

Tratamientos		Factor de translocación
Clave	Concentración plomo (ppm)	
T ₀	0	0.2
T ₁	310.77	0.4
T ₂	621.54	0.45
T ₃	932.31	0.1

En la Tabla 11 se observa los datos del factor de translocación en todos los tratamientos, teniendo la mayor translocación en la concentración tres y dos, disminuyendo en el de mayor y menor concentración aplicada.

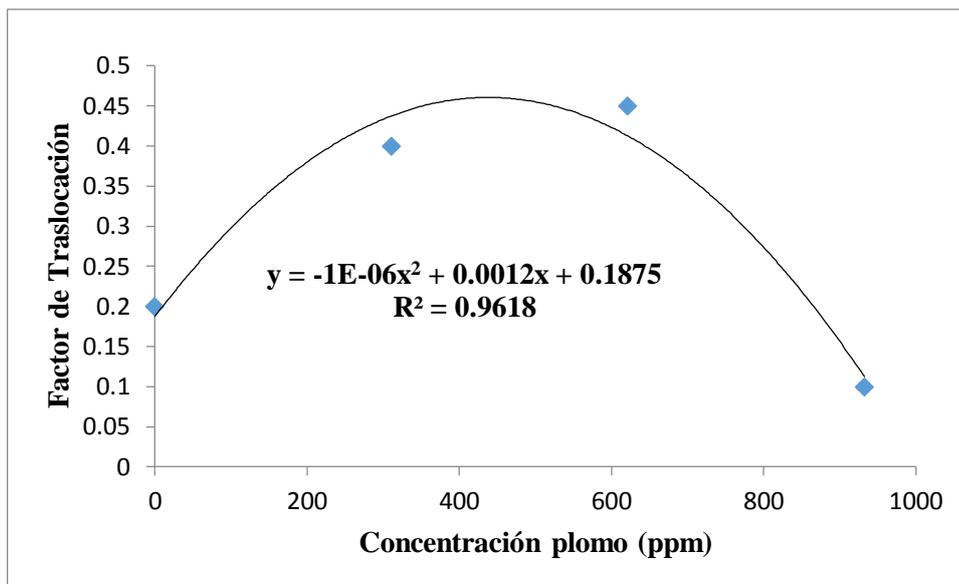


Figura 10. Factor de translocación (FT) del plomo en las plántulas de papa por tratamiento en estudio.

En la Figura 10, el resultado muestra un ajuste del modelo cuadrático aceptable, con un valor de $R^2 = 0.96$.

Las plántulas de papa presentaron los siguientes factores de translocación: T_0 : 0.2; T_1 : 0.4; T_2 : 0.45 y T_3 : 0.1; todos los resultados son menor a uno, considerando a la planta como exclusora, donde no trasladan eficientemente los metales de la raíz a la parte aérea (Sun *et al.* 2008). Esto es debido a que el metal absorbido es restringido principalmente en las vacuolas de las raíces, o rizosfera restringiendo su translocación hacia el tallo (Baker 1981). Resultados similares demuestra Chávez (2014) cuando determinó la fitoremediación de suelos contaminados por plomo, empleando especies de *Calamagrostis* L. (calamagrostis) y *Nicotiana* L. (tabaco), y utilizó concentraciones de 700, 1000 y 1200 ppm de plomo en el suelo. El resultado mostró que la *Nicotiana* obtuvo un factor de translocación de 0.39 y la *Calamagrostis* de 0.31, considerando a ambas especies como plantas exclusoras.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En el trabajo de investigación se comprobó que la plántula de papa (*Solanum tuberosum* L. var. "Poderosa") sí absorbe plomo del medio de cultivo utilizado, y no logran desarrollarse satisfactoriamente cuando se encuentran expuestas a altas concentraciones de plomo.
- Al mismo tiempo, se determinó una relación inversa, donde a mayor concentración de plomo, menor es el crecimiento e índice de tolerancia de las plántulas de papa. Las plántulas testigo presentaron el 100% de crecimiento cuya biomasa aérea promedio fue de 0.80 g y las plántulas que mostraron menor biomasa fueron las que crecieron a la mayor concentración de plomo (T₃) con 0.65 g representando el 67% de crecimiento de plántulas. Referente al índice de tolerancia el T₃ mostró una longitud promedio de 7.28 cm, mostrando el 65% de plántulas tolerantes al plomo y la plántula testigo de 11.34 cm que representa el 100% de tolerancia de plántulas frente al metal pesado.

5.2. Recomendaciones

- Continuar con las pruebas experimentales sobre el crecimiento e índice de tolerancia, así como en bioacumulación y translocación con otros metales pesados (Cd) en las plántulas de papa y ampliar las investigaciones sobre la morfología y sobrevivencia de plántulas de papa frente al Plomo (Pb) y Cadmio (Cd).
- Determinar la Bioacumulación y translocación de plomo en otras plantas de alimentos de mayor consumo (por ejemplo, en maíz y trigo) con la finalidad de determinar la capacidad acumulativa y el efecto del plomo a tales especies.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- ARGENPAPA (El portal de la papa en Argentina). 2015. Historia de la Papa: Origen de la papa (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 18 ago. 2018. Disponible en: <https://www.argenpapa.com.ar/info/la-papa/>.
- Basantes, SX; Chasipanta, JE. 2012. Determinación del requerimiento nutricional del fosforo sobre la inducción floral en el cultivo de piña. Tesis. Ciudad de Sangolqui, Ecuador, ESPE. 101p.
- Borba, N. 2008. La papa un alimento básico: Importancia nutricional de la papa (en línea). Uruguay. 11 p. Consultado 26 jul. 2018. Disponible en: <http://webs.chasque.net/~rapaluy1/transgenicos/Papa/Papa.pdf>.
- Calderón, A; Camargo, C; Manrique, A; Vásquez, A. 2015. Metales Pesados (en línea). Consultado 04 ago. 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/288058639/Plomo-en-plantas>.
- Chagua, RE; Tardío, JJ. 2015. Evaluación de remoción de cobre y zinc por la planta nativa **Scirpus californicus** (Tatora) en la comunidad de Pomachaca – Tarma. Tesis. Ciudad de Huancayo, Perú, UNCP. 192 p.
- Chávez, L. 2014. Fitoremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Tesis. Ciudad de Lima, Perú, UNALM. 114 p.
- Espinoza, VP. 2014. Eficiencia de bioacumulación de plomo por *Spyrogira sp.* a escala de laboratorio en la universidad nacional agraria de la selva: Efectos tóxicos en humanos. Tesis. Ciudad de Tingo María. Perú. UNAS. 17 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Guatemala). 2010. La papa: Valor nutritivo de la papa (en línea). Guatemala, Guatemala. Consultado 01 ago. 2018. Disponible en: http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/6/12880327433890/receta_rioco_rregidobajaresolucionfinal.pdf.
- Gonzales, GL. 2012. Metales esenciales y tóxicos en papas antiguas, papas importadas y otros tubérculos comercializados en la isla de Tenerife. Tesis Doc. Ciudad de San Cristóbal de La Laguna. España. ULL. 4 p.

- Hoyos, MY. 2014. Bioacumulación de plomo y cadmio en ***Brassica oleracea*** subsp. ***capitata*** (L.) Metzg. y ***Raphanus sativus*** L. Tesis. Ciudad de Trujillo, Perú, UNT. 60 p.
- Luna, RN; Rodríguez, VA. 2016. Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (***Solanum tuberosum***) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca. Tesis. Ciudad de Lima, Perú, UNMSM. 85 p.
- Moreno, YL; García, JM; Chaparro SP. 2016. Cuantificación voltamétrica de plomo y cadmio en papa fresca. Revista U.D.C.A Act. & Div. Cient. 19(1): 97-104.
- Paez, J; Gonzales, R. 2002. Conservación *in vitro* de dos variedades de papa (***Solanum tuberosum*** L.) bajo condiciones de crecimiento mínimo. Revista Latinoamericana de la Papa. 13:125-132.
- Rodríguez, A; Cuéllar, L; Maldonad, G; Suardiaz, ME. 2016. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas 35 (3):4-6.
- Rubio, C; Gutiérrez, AJ; Izquierdo, M; Revert, C; Lozano. 2004. El plomo como contaminante alimentario: Revista de Toxicología 21(2-3):72-75.
- SIOVM (Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados).2011. Proyecto GEF-CIBIOGEM de Bioseguridad: ***Solanum tuberosum*** (en línea). Mexico. Consultado 31 jul. 2018. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20914_sg7.pdf.
- Tintin, FA; Moscoso, PF. 2013. Capacidad de absorción de la planta de papa ***Solanum tuberosum*** ssp ***andigena***, en el suelo contaminado con plomo. Tesis. Ciudad de Cuenca, Ecuador, UPS. 139 p.
- Torres, M. 2011. Características taxonómicas de la papa (en línea). Perú. 8 p. Consultado 27 jul. 2018. Disponible en: <http://zhiotm.blogspot.com/2011/04/la-papa-taxonomia-y-nombres-comunes.html>.
- Vargas, G; Martínez, P. 2016. Propiedades funcionales de almidón de papa (***Solanum tuberosum***) y su modificación química por acetilación (en

línea). Perú. 8 p. Consultado 31 jul. 2018. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5634123.pdf>.

Vargas, KB. 2017. Eficiencia del maíz (***Zea mays***) cultivado con abonos orgánicos (compost y humus hechos a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero Catac–Recuay, Ancash. Ciudad de Lima, Perú, UCV. 136 p.

Vásquez, LC. 2013. Efecto del plomo sobre la biomasa y el contenido de prolina en ***Rorippa nasturtium-aquaticum (L)***. Hayek, en condiciones de invernadero. Tesis. Ciudad de Trujillo, Perú, UNT. 53 p.

ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo N° 19050300 - parte aérea y radicular en las plántulas de la papa *Solanum tuberosum* L. var. "Poderosa".



LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 19050300

Cliente	: SEGUNDO LEOPOLDO CHACON CABANILLAS
Dirección del cliente	: JR. JUNÍN N° 102 – CELENDÍN. PROV. CELENDÍN – DPTO. CAJAMARCA
Usuario	: No aplica
Lugar de Muestreo	: LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DECAJAMARCA
Tipo de Matriz y/o Producto	: PARTE AÉREA Y RADICULAR E LA PLÁNTULA DE LA PAPA INIA 324 - PODEROSA
Muestreo Realizado por	: SEGUNDO LEOPOLDO CHACON
Procedimiento de Muestreo	: No aplica
Referencia al Plan de Muestreo	: No aplica
Número de Muestras	: 08
Fecha de Recepción	: 10-05-2019
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	17-05-2019 al 17-05-2019

F-IE-01
Revisión: 04
Fecha: 24-01-2019

Fecha de emisión: 25-05-2019


Celso Roberto Chuquimayo Arellano
JEFE DE LABORATORIO DE FQ
CQP - 779

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.
Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo"
Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima / Telf.: 677 6533 /972733385, Correo: rlaboratorio1@gmail.com



LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

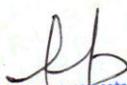
INFORME DE ENSAYO N° 19050300

Código de Laboratorio	19050300-01	19050300-02	19050300-03	19050300-04			
Identificación de la Muestra	Parte Aérea de la papa Concentración Cero (C ₀) – Plántula Testigo	Parte Aérea de la papa Concentración Uno (C ₁)	Parte Aérea de la papa Concentración Dos (C ₂)	Parte Aérea de la papa Concentración Tres (C ₃)			
Descripción del Punto de Muestreo	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC			
Fecha y hora de muestreo	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)			
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -			
Tipo de Matriz y/o Producto	PARTE AÉREA Y RADICULAR E LA PLÁNTULA DE LA PAPA INIA 324 - PODEROSA						
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M	Resultados			
(*) Plomo Total	mg/Kg	0,050	0,013	23,1	5 511	13 002	8 649

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en frasco de polietileno.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendarios luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ Los resultados están expresados en Masa Seca (MS)
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del método; L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ El informe de control de calidad será proporcionado a solicitud del cliente.
- ✓ (*) Método de ensayo no acreditado por el INACAL-DA.

F-IE-02
Revisión: 05
Fecha: 24-01-2019


C. Roberto Chuquimayo Arellano
DE LABORATORIO DE FQ
CQP - 779

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.
Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo"
Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima / Telf.: 677 6533 /972733385, Correo: rlaboratorio1@gmail.com



LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

INFORME DE ENSAYO N° 19050300

Código de Laboratorio	19050300-05	19050300-06	19050300-07	19050300-08
Identificación de la Muestra	Parte Radicular de la papa Concentración Cero (C ₀) – Plántula Testigo	Parte Radicular de la papa Concentración Uno (C ₁)	Parte Radicular de la papa Concentración Dos (C ₂)	Parte Radicular de la papa Concentración Tres (C ₃)
Descripción del Punto de Muestreo	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC
Fecha y hora de muestreo	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -	N: - E: -
Tipo de Matriz y/o Producto	PARTE AÉREA Y RADICULAR E LA PLÁNTULA DE LA PAPA INIA 324 - PODEROSA			
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M	Resultados
(*) Plomo Total	mg/Kg	0,050	0,013	114,1 13 947 29 020 83 935

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en frasco de polietileno.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendarios luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ Los resultados están expresados en Masa Seca (MS)
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del método; L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ El informe de control de calidad será proporcionado a solicitud del cliente.
- ✓ (*) Método de ensayo no acreditado por el INACAL-DA.

F-IE-02
Revisión: 05
Fecha: 24-01-2019

Tipo Ensayo	Norma de Referencia		Año de versión o Edición
	Código	Título	
Plomo Total	METHOD 7000B Revision 2 February// METHOD 3050B Revision 2 December	Flame Atomic Absorption Spectrophotometry// Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils	2007/1996

Fin de documento


Celso Roberto Chuacmayo Arellano
 JEFE DE LABORATORIO DE FQ
 CQP - 779

El informe de ensayo presentado no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.
 Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de calidad de la entidad que lo produce.
 Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo"
 Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima / Telf.: 677 6533 /972733385, Correo: laboratorio1@gmail.com

Anexo 2. Informe de ensayo N° 1905031A. Agua para uso y consumo humano - potable (medio de cultivo Murashige & Skoog (1962), modificado por Buendía-Gonzales et al. 2010).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-103

LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.



Registro N° LE - 103

INFORME DE ENSAYO N° 1905031A

Cliente	: SEGUNDO LEOPOLDO CHACON CABANILLAS
Dirección del cliente	: JR. JUNÍN N° 102 – CELENDÍN. PROV. CELENDÍN – DPTO. CAJAMARCA
Usuario	: No aplica
Lugar de Muestreo	: LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Tipo de Matriz y/o Producto	: AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO - POTABLE
Muestreo Realizado por	: SEGUNDO LEOPOLDO CHACON
Procedimiento de Muestreo	: No aplica
Referencia al Plan de Muestreo	: No aplica
Número de Muestras	: 05
Fecha de Recepción	: 10-05-2019
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	17-05-2019 al 17-05-2019

F-IE-01
Revisión: 04
Fecha: 24-01-2019

Fecha de emisión: 25-05-2019


Roberto Chuquimayo Arellano
 JEFE DE LABORATORIO DE FQ

El presente informe de ensayo no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C, excepto en su totalidad.
 Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado.
 Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo".
 Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima - Perú / Telf.: +51 677 6533 / Móviles: 972 733 385 / 913 012 298
 Correo: rlaboratorio1@gmail.com / Visitenos en www.rlabsac.com

Página 1 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-103

LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.



Registro N° LE - 103

INFORME DE ENSAYO N° 1905031A

Código de Laboratorio	1905031A-01	1905031A-02	1905031A-03	1905031A-04	1905031A-05			
Identificación de la Muestra	Medio de cultivo inicial	Concentración Cero (C ₀) – Plántula Testigo	Concentración Uno (C ₁)	Concentración Dos (C ₂)	Concentración Tres (C ₃)			
Descripción del Punto de Muestreo	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC	Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNC			
Fecha y hora de muestreo	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)	08-05-2019 (10:00)			
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: - E: -							
Tipo de Matriz y/o Producto	AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO - POTABLE							
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados				
⁽¹⁾ Plomo Total	mg/L	0,050	0,013	<0,013	<0,013	44,59	42,53	62,81

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en frasco de polietileno.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendario luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ Los resultados están expresados en Masa Seca (MS)
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del método; L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ El informe de control de calidad será proporcionado a solicitud del cliente.
- ✓ (*) Método de ensayo no acreditado por el INACAL-DA.

F-IE-02
Revisión: 05
Fecha: 24-01-2019

Celso Roberto Chugdimayo Arellano
JEFE DE LABORATORIO DE FQ
COP - 779

El presente informe de ensayo no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C, excepto en su totalidad. Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo".
Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima - Perú / Telf.: +51 677 6533 / Móviles: 972 733 385 / 913 012 298
Correo: rlaboratorio1@gmail.com / Visitenos en www.rlabsac.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-103



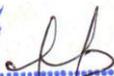
LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

Registro N° LE - 103

INFORME DE ENSAYO N° 1905031A

Tipo Ensayo	Norma de Referencia		Año de versión o Edición
	Código	Título	
Plomo Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 E, 3030 B y 3111 B, 23rd Ed.	Preliminary Treatment of Samples. Nitric Acid Digestion. Filtration for Dissolved and Suspended Metals / Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method	2017

Fin de documento


Celso Roberto Chuquimayo Arellano
JEFE DE LABORATORIO DE FQ
CQP - 779

El presente informe de ensayo no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de R-LAB S.A.C, excepto en su totalidad.
Los resultados presentados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo".
Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima - Perú / Telf.: +51 677 6533 / Móviles: 972 733 385 / 913 012 298
Correo: rlaboratorio1@gmail.com / Visitenos en www.rlabsac.com

Página 3 de 3

APÉNDICES

Apéndice 1. Preparación del medio de cultivo Murashige & Skoog, 1962, modificado por Buendía-Gonzales et al. 2010.



Figura 11-A



Figura 11-B

Apéndice 2. Regulación del pH al valor de 5.60, para cada tratamiento, utilizando el pHmetro digital y soluciones de NaOH y HCl.



Figura 12-A



Figura 12-B

Apéndice 3. Distribución de los tratamientos (concentraciones de plomo) a las unidades experimentales (*Solanum tuberosum* L. var. "Poderosa"), realizado en la cámara de cultivos *in vitro* del laboratorio.



Figura 13-A



Figura 13-B

Apéndice 4. Rotulado de las unidades experimentales en cada repetición y ubicación de plántulas bajo un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad.



Figura 14-A

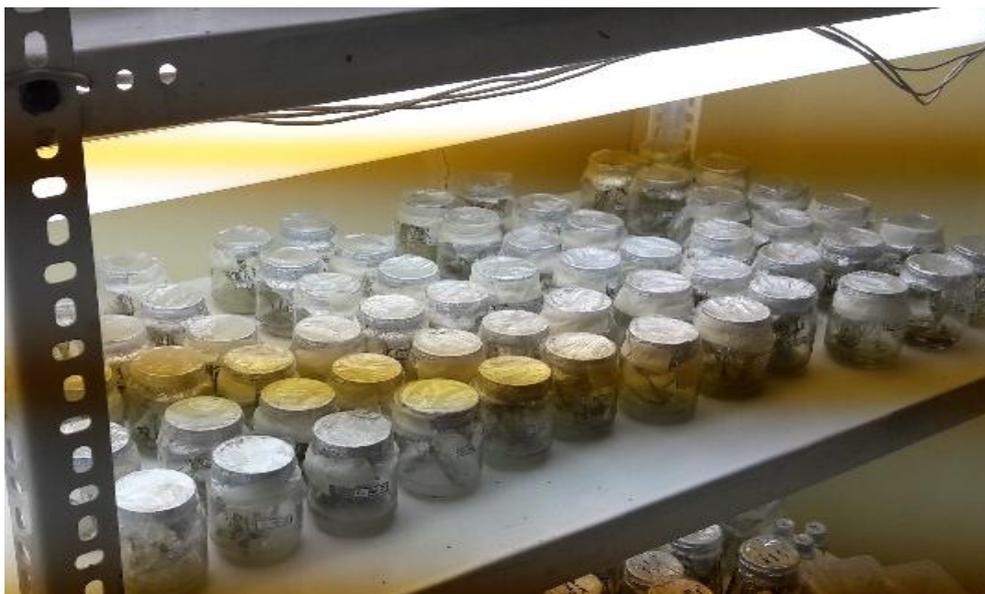


Figura 14-B

Apéndice 5. Biomasa aérea y radicular de cada concentración de las plántulas en estudio.

Concentración	Peso Fresco de la Biomasa aérea (g)				Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	
0.00 mM	13.98	14.94	14.88	15.49	14.82
1.50 mM	12.69	13.17	14	13.63	13.37
3.00 mM	11.02	11.26	12.08	12.06	11.61
4.50 mM	10.09	8.98	10.37	9.98	9.86

Concentración	Peso Seco de la Biomasa aérea (g)				Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	
0.00 mM	0.72	0.77	0.86	0.84	0.80
1.50 mM	0.67	0.61	0.76	0.81	0.71
3.00 mM	0.53	0.67	0.73	0.72	0.66
4.50 mM	0.59	0.62	0.68	0.69	0.65

Concentración	Peso Fresco de la Biomasa radicular (g)				Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	
0.00 mM	17.04	17.89	17.35	17.65	17.48
1.50 mM	15.27	15.08	14.99	15.32	15.17
3.00 mM	14	14.43	13.93	14.85	14.30
4.50 mM	12.76	12.85	12.98	13.24	12.96

Concentración	Peso Seco de la Biomasa radicular (g)				Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	
0.00 mM	0.78	1.02	0.9	0.75	0.86
1.50 mM	0.7	0.78	0.76	0.75	0.75
3.00 mM	0.42	0.88	0.56	0.88	0.69
4.50 mM	0.55	0.53	0.46	0.71	0.55

Apéndice 6. Longitud de la parte aérea y radicular de cada concentración de las plántulas en estudio.

Concentración	Longitud del Tallo (cm)				Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	
0.00 mM	8.75	9.38	9.00	10.25	9.35
1.50 mM	8.13	9.63	8.63	7.75	8.54
3.00 mM	7.88	8.88	9.50	7.38	8.41
4.50 mM	7.75	7.50	7.00	6.75	7.25

Concentración	Longitud de la Raíz (cm)				Promedio
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	
0.00 mM	13.00	9.25	12.75	10.38	11.34
1.50 mM	11.50	12.50	8.25	10.50	10.69
3.00 mM	8.00	7.63	8.00	8.00	7.91
4.50 mM	9.50	7.25	6.88	5.50	7.28

GLOSARIO

Apoplasto: paso de agua a través de paredes celulares y espacios intercelulares.

Bioacumulación: El término bioacumulación hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales u otras sustancias persistentes en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua).

Biomagnificación: Aumento progresivo de la concentración de un contaminante en los organismos vivos, a medida que se transfiere a través de la cadena alimenticia.

Clonación: Se refiere, en biología, a la acción y efecto de clonar, es decir, de reproducir individuos idénticos a partir de una misma célula madre.

Concentración: En química, la concentración de una solución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución o de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el solvente es la sustancia que disuelve al soluto.

Fitoestabilización: Se trata del uso de especies vegetales o plantas para remover contaminantes inorgánicos (como metales) u orgánicos (como aceites y dioxinas), donde los contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas, donde son acumulados en formas inocuas, evitando así los efectos tóxicos sobre otros seres vivos e impidiendo que se afecten las napas subterráneas.

Fitoextracción: Es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulando en los tejidos concentraciones mucho más altas que las presentes en el suelo o en el agua.

Fitoquelatinas: Son biosintetizadas por la gamma-glutamylcisteinyltransferasa del glutathion y se encuentran en muchas plantas, levaduras; y algas. secuestran a los metales pesados.

Hiperacumuladora: Plantas que poseen la habilidad de acumular altas concentraciones de metales pesados sin efectos tóxicos y que se utilizan en la fitodescontaminación de suelos contaminados.

Homeostasis: Conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno de un organismo.

Índice de tolerancia al plomo: Se determina relacionando la elongación de las raíces de las plantas que crecieron en el medio con plomo con las plantas que crecieron en ausencia del contaminante. El índice de tolerancia se cuantifico por medio de la siguiente ecuación (Wilkins 1978, Deng y col. 2006):

$$IT = (Lgm/Lgs) * 100$$

Medio Murashige & Skoog (MS): Fue inventado por los científicos Toshio Murashige y Folke K. Skoog en 1962 durante sus investigaciones de nuevos reguladores del desarrollo vegetal y se ha convertido en el medio más comúnmente usado en el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales.

Quelación: Secuestrante, o antagonista de metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos.

Simplasto: paso de agua a través de paredes celulares y el citoplasma de las células. Formado por sustancias hidrófobas que aumentan la viscosidad del medio.

Translocación: Movimiento del agua, las sales minerales y las sustancias orgánicas de una parte a otra de un vegetal.