



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

**Efecto de la aplicación de estiércol de lombriz
en la disponibilidad de arsénico y cromo, en un
cultivo de maíz del distrito de Orcotuna,
Concepción-2016**

Manuel Enrique Bustamente Carrión

Huancayo, 2018

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTOS

A los directivos del laboratorio de química agrícola “Valle Grande” – Cañete por el apoyo brindado en el procesamiento de las muestras para la realización de este estudio.

Así mismo a los docentes de la Universidad Continental por la permanente orientación brindada en la ejecución de esta investigación.

DEDICATORIA

A mis maestros que con sus lecciones y experiencias me formaron para enfrentar los retos de la profesión, y a mis padres y hermana por su apoyo y confianza.

Manuel

INDICE

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
INDICE	IV
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación del problema	5
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Justificación e Importancia	7
1.4 Hipótesis y descripción de variables	8
1.4.1 Hipótesis.....	8
1.4.2 Descripción de variables.....	8
1.4.3 Operacionalización de Variables	9
CAPITULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes del problema	10
2.2 Bases teóricas	16
2.3 Definición de términos básicos	51
CAPÍTULO III	55
METODOLOGÍA	55

3.1	Método, y alcance de la investigación.....	55
3.1.1	Metodología de la investigación.....	55
3.1.2	Alcance de la Investigación	58
3.2.	Diseño de la Investigación	59
3.3.	Población y Muestra	60
3.3.1.	Población	60
3.3.2.	Muestra	60
3.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	60
3.5	Tecnicas de análisis de datos.....	61
CAPÍTULO IV	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1.	Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información	62
4.1.1.	resultados del Análisis de Suelo del Experimento.	62
4.1.2.	Resultados del Análisis de Estiércol de Lombriz utilizado en el experimento.	66
4.1.3	Resultados del Análisis de la Planta de Maíz.	69
4.2.	Prueba de Hipótesis y Discusión de Resultados.....	70
4.2.1.	Estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Cromo en el Maíz.....	70
4.2.2.	Estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Arsénico en el Maíz.....	72
4.3.	Discusión de Resultados	74
4.3.1.	Estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Cromo	74
4.3.2.	estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Arsénico	75
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS.....	87
	CUADROS DE DATOS ORIGINALES.....	88
	PANEL FOTOGRÁFICO	90
	INFORMES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°01: Profundidad del muestro según el uso del suelo	34
Cuadro N°02: Número mínimo de puntos de muestro para el Muestreo de Identificación	35
Cuadro N°03: Composición química y biológica del Lumbrihumus de <i>Eisenia Foétida</i>	41
Cuadro N°04: Coordenadas de los vértices del área delimitada	56
Cuadro N°05: Resultados del análisis físico-químico del suelo experimental – Orcotuna, 2016	63
Cuadro N°06: Resultados del análisis de metales pesados en el suelo del experimento – Orcotuna, 2016	64
Cuadro N°07: Resultados del análisis físico-químico del estiércol de lombriz	67
Cuadro N°08: Resultados del análisis de metales pesados en el estiércol de lombriz	68
Cuadro N°09: Resultados del análisis de metales en la parte aérea del cultivo de maíz.	69
Cuadro N°10: Análisis de varianza del contenido de cromo total en la parte aérea de las plantas de maíz.	70
Cuadro N°11: Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de cromo total en la parte aérea de plantas de maíz.	71
Cuadro N°121: Análisis de varianza del contenido de arsénico total en la parte aérea de las plantas de maíz.	72
Cuadro N°13: Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de arsénico total en la parte aérea de plantas de maíz.	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Contenido de arsénico en el suelo de Orcotuna, comparado a los estándares de calidad ambiental de Perú, Canadá y Holanda. 65

Gráfico N°2: Contenido de cromo en el suelo de Orcotuna, comparado a los estándares de calidad ambiental de Perú, Canadá y Holanda. 66

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N°01: Disponibilidad de metales pesados de acuerdo con el pH	24
Imagen N°02: Mapa del área delimitada de 8.75hectáreas, para la obtención de muestras de suelo.	56
Imagen N°03: Método de zigzag para la obtención de muestras	57

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de cromo y arsénico en el cultivo de maíz de la variedad amiláceo (*Zea mays L.*) INIA-606 “Choclero Prolífico” en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, se realizó un estudio de intervención con un diseño completamente al azar (DCA); en bolsas de plástico, distribuido en 3 bloques, con 5 tratamientos, haciendo un total de 15 unidades experimentales; en cada bolsa de plástico, se colocó 2 kg de sustrato (suelo + % de estiércol de lombriz), el porcentaje de estiércol de lombriz fue de 5%, 10%, 15% y 20% más un testigo, se dejó que las plantas se desarrollen por un periodo de 62 días y luego se analizó la presencia de, cromo y arsénico en la parte aérea de las plantas de maíz; se encontró que la aplicación de estiércol de lombriz reduce la disponibilidad de cromo en la parte aérea de la planta del maíz y aumenta la disponibilidad del arsénico en las partes aéreas evaluadas en suelos agrícolas con presencia de metales pesados.

Palabras clave: cromo, arsénico, estiércol de lombriz, disponibilidad, maíz (*Zea mays*)

ABSTRACT

In order to determine the effect of the application of earthworm manure on the availability of chromium and arsenic in the cultivation of maize of the starchy variety (*Zea mays* L.) INIA-606 "Choclero Prolífico", on the agricultural land of the district of Orcotuna, an intervention study with a completely randomized design (DCA) was carried out; in plastic bags, distributed in 3 blocks, with 5 treatments, making a total of 15 experimental units; in each plastic bag, 2 kg of substrate (soil +% earthworm manure), the percentage of earthworm manure was 5%, 10%, 15% and 20% plus one control, the plants were allowed to develop for a period of 62 days and then, the presence of chromium and arsenic in the aerial part of the corn plants was analyzed; It was found that the application of earthworm manure reduce the availability of chromium and increase arsenic in the aerial parts of corn grown in agricultural soils with the presence of heavy metals.

Keywords: chrome, arsenic, earthworm manure, availability, corn (*Zea mays*)

INTRODUCCIÓN

La actividad minera desde el siglo XX, ha producido efectos significativos al medio ambiente en el departamento de Junín, principalmente por las aguas ácidas con presencia de metales pesados vertidas al río Yauli (afluente del río Mantaro) por el aun existente túnel Kingsmill; debido a los vertimientos generados el río Mantaro, se encuentra en un estado de contaminación. (1)

Así, mismo el estado actual del río Mantaro también se debe al vertimiento de aguas residuales domésticas correspondientes a los centros poblados ubicados a ambas márgenes, como también el estado actual del río Mantaro se debe a los residuos sólidos dispuestos en botaderos mínimamente controlados. (2)

Como bien se sabe, el Valle del Mantaro se caracteriza por las áreas de cultivo, en ambas márgenes ya sea, en la margen derecha e izquierda; dichos cultivos agrícolas son regados por las aguas del río Mantaro, los cuales están impactados por las aguas acidas con presencia de metales pesados, sin ser una excepción el distrito de Orcotuna, provincia de Concepción. (3)

Debido al riego de las áreas de cultivo con aguas del río Mantaro, los suelos presentan contaminantes, lo cual afecta en proceso de la autodepuración por

procesos de regeneración biológica normales, al haberse superado la capacidad de aceptación del suelo, disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento de los microorganismos del suelo, disminución del rendimiento de los cultivos (4).

El contenido de metales pesados en suelos se encuentra generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, los cuales pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a cadenas tróficas. (5)

Una forma de reducir la disponibilidad de cromo y arsénico en los suelos es utilizando estiércol de lombriz como enmienda orgánica; ya que este producto posee gran cantidad de sustancias húmicas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, que permiten generar compuestos estables (complejos órgano-minerales y quelatos) con muchos pesticidas y metales pesados en el suelo. (6)

Utilizar el estiércol de lombriz como enmienda orgánica sobre suelos contaminados ya sea por metales pesados podría constituirse en un método elegible para agricultores, sin embargo el grado de efectividad y las concentraciones en las que se debe de usar el producto no se han definido de forma clara, además los efectos varían en función a múltiples factores como: el tipo y variedad del cultivo, el grado de fertilización del terreno, el nivel de pH del suelo, el tipo de sustrato utilizado en el compost de lombriz, el tipo de riesgo; etc. (7)

El estudio tuvo como objetivo, determinar el efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de cromo y arsénico en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna; bajo la presunción que, el estiércol de lombriz reduce la disponibilidad de cromo y arsénico en este cultivo.

El estudio realizado consta de 4 capítulos, en el primero se especifica la problemática que será objeto del estudio, se sustenta el valor que tendrá el estudio y se plantean las conjeturas que orientan a la investigación.

En el segundo capítulo se exponen los conocimientos existentes sobre el tema que permitirán aportar elucidación y acepción a los hechos encontrados; en el tercer capítulo se expone la forma en que se concretará el estudio y en el capítulo cuatro se presentan los hallazgos más significativos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Los metales y metaloides están presentes en todos los suelos agrícolas del planeta en diferentes concentraciones, cuando su cantidad se incrementa se reduce la fertilidad del suelo, se incrementa su concentración de las partes comestibles de las plantas y se afecta la salud de los animales y seres humanos que los consumen. Entre los metales y metaloides más abundantes y nocivos se encuentran: el arsénico, cadmio, mercurio, plomo, cobre y zinc, las concentraciones de estas sustancias pueden aumentar por efectos de la propia naturaleza o por la acción humana vinculada a la liberación de desperdicios al medio ambiente **(8)**.

La actividad minera en nuestro país ha generado a lo largo de muchas décadas residuos que han sido vertidos a los suelos y al agua afectando la actividad agropecuaria de las áreas contaminadas; sobre todo por medio del agua. Sin embargo, el escaso valor que genera la actividad agrícola comparada con la minera, llevo a justificar las acciones de contaminación en el pasado; a la actualidad debido

al reconocimiento del efecto nocivo de estos metales a la salud humana, se busca controlar el proceso de contaminación y promover acciones para remediar las áreas contaminadas (9).

La región Junín, en especial el Valle del Mantaro ha sido una de las áreas más afectadas por la contaminación de los residuos mineros, ya que los antiguos vertimientos mineros se realizaban hacia el río Yauli que es un afluente del río Mantaro, dado que las aguas de este río son canalizadas y utilizadas para el riego de extensas áreas de cultivo en el valle, se suscitó la contaminación de los suelos agrícolas con metales pesados y metaloides. Una de las zonas impactadas por estas circunstancias son los suelos del distrito de Orcotuna de la provincia de Concepción. (10)

La actividad minera altera la composición del suelo incrementando la cantidad de algunos metales pesados y metaloides, que reduce la cantidad, diversidad y actividad de los microorganismos del suelo, inhiben la descomposición de la materia orgánica, aminoran la disposición de nutrientes, dificultando la germinación, crecimiento y otros procesos vegetativos de las plantas; de esta forma los residuos mineros perturban la estructura edáfica, rompen los ciclos biogeoquímicos, bajan la capacidad de retención de agua y devastan la fertilidad del suelo. (11)

Los metales se acumulan en la superficie del suelo y son absorbidos por las raíces de los cultivos incrementándose su concentración en los tejidos vegetales y se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos. Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación. Las plantas han desarrollado mecanismos muy específicos para absorber, translocar y acumular nutrientes; algunos metales y metaloides, aunque no son esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos esenciales (12).

Dichos metales como el arsénico el cual es un carcinógeno confirmado y es el contaminante químico más importante del agua de bebida a escala mundial, así mismo la exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha

asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes (13), otro metal pesado que causa efecto en la salud es el cromo que afecta principalmente al estómago e intestino delgado (irritación y úlceras) y a la sangre (anemia). Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y parecen no causar estos problemas, asimismo la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. El undécimo Informe sobre Sustancias Carcinogénicas del Programa Nacional de Toxicología clasifica a los compuestos de cromo (VI) como sustancias reconocidas como carcinogénicas en seres humanos. (14)

La fitotoxicidad ocasionada por las altas concentraciones de metales pesados da como resultado clorosis, crecimiento débil de las plantas y puede incluso ocasionar reducción en la captación de los nutrientes, así como desórdenes en el metabolismo. Así, los metales pesados causan estrés oxidante en las plantas, se afecta la fotosíntesis, la fluorescencia de la clorofila y la resistencia estomatal, consecuentemente, el crecimiento de las plantas se reduce o se anula (15).

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado dependiendo de la especie vegetal y de las características y contenido de metales en el suelo. La acumulación de metales pesados en tejidos vegetales por absorción u otras formas de asociación natural, da la posibilidad de ser biodisponibles a los seres humanos y animales a través del consumo de estos productos. Esta posible vía de exposición es particularmente relevante en el caso del maíz (*Zea mays*) ya que es un alimento básico de la dieta de los pobladores del Valle del Mantaro, y su cultivo constituye una actividad importante para la sobrevivencia de la familia campesina, por lo que el impacto generado por los residuos mineros representa un problema de salud, ambiental y social (16).

El humus de lombriz de tierra (*Eisenia foétida*), está formada de estiércol, que son sustancias eliminadas luego de ser digeridas por la lombriz, esta sustancia posee gran cantidad de ácido húmico y fúlvico, así como sales minerales, además de colonias bacterianas. Estas cepas bacterianas aportadas por el estiércol de lombriz son fundamentales para la liberación de sustancias inorgánicas de formas asimilables para las plantas a partir de pequeños residuos orgánicos del suelo. Así

también las sustancias húmicas ejercen un efecto neutralizante de los contaminantes minerales (17).

Los metales que contaminan el suelo se encuentran en forma iónica, estos iones en presencia de sustancias húmicas aportadas por el humus de lombriz, son rodeados por uno o más ligandos orgánicos de estas sustancias; suscitándose la quelación que consiste en la ocupación de dos o más sitios de coordinación alrededor de un ión metálico central por una molécula orgánica grande que son fracciones húmicas y fúlvicas solubles; este mecanismo secuestra a los contaminantes (18).

Las dificultades de desarrollo de las plantas de maíz (*Zea mays*) por la presencia de contaminantes en el suelo por la influencia minera, podrían ser superadas al usar estiércol de lombriz como enmienda orgánica.

Por todo lo mencionado anteriormente se realizó este estudio de investigación con el propósito de determinar el efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de, cromo y arsénico en maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna.

1.1.2 Formulación del problema

A) Problema General.

¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes dosis de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción en el 2016?

B) Problemas Específicos.

¿Cuál es el efecto de la aplicación de estiércol de lombriz, con dosis de, 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, en la disponibilidad de arsénico en la parte aérea del maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción en el 2016?

¿Cuál es el efecto de la aplicación de estiércol de lombriz, con dosis de, 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, en la disponibilidad de cromo en la parte aérea del maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción en el 2016?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción en el 2016

1.2.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la aplicación de estiércol de lombriz, con dosis de, 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, en la disponibilidad de arsénico en la parte aérea del maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción en el 2016

Evaluar el efecto de la aplicación de estiércol de lombriz, con dosis de, 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, en la disponibilidad de cromo en la parte aérea del maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción en el 2016

1.3 Justificación e Importancia

1.3.1. Teórica

Los resultados de la presente investigación se constituirán en sustento de los modelos teóricos que muestran la forma en que el ácido húmico y fúlvico presentes en el estiércol de lombriz actúan sobre los contaminantes metálicos del suelo y su disponibilidad para las plantas; en especial para el maíz, que es un cultivo tradicional y predominante de la actividad económica y de los hábitos alimenticios de las poblaciones asentadas en el Valle del Mantaro.

1.3.2. Social y práctica

Los resultados obtenidos a través del presente trabajo de investigación, beneficiarán a los agricultores y población del distrito de Orcotuna y el Valle del Mantaro en general, ya que cualquier acción de remediación de los suelos contaminados por la actividad minera que quieran implementar los agricultores en particular, las empresas mineras o las autoridades gubernamentales va a requerir de información confiable y científicamente obtenida; esto garantiza que las intervenciones tengan cierto grado de efectividad. Por lo tanto, no sólo se beneficiarán los agricultores, sino también las empresas minera y autoridades de gobierno, quienes tendrán información muy valiosa sobre el tema. Otro aspecto importante se relaciona con los resultados que se obtendrán ya que podrán constituirse en base esencial y punto de partida para estudios que enriquezcan esta línea de investigación, lo que redundará en la mejora de las condiciones ambientales y fertilidad de los suelos, y lograr una agricultura rentable, seguridad alimentaria y actividad minera sostenible.

1.3.3. Metodológica

Al ejecutar el trabajo de investigación sobre efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de contaminantes metálicos, hemos seguido un método en la selección de suelos, aplicación de sustratos y uso de un bioindicador, los cuales fueron validados y comprobada su confiabilidad; estos procedimientos y técnicas podrán ser utilizados por otros investigadores, y al demostrar su eficacia, se podrán estandarizar; siendo de utilidad en esta área de la investigación.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis

A) General

El estiércol de lombriz influye de forma inversa en la disponibilidad de arsénico y de forma directa en la disponibilidad de cromo en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción – 2016

B) Específicos

El estiércol de lombriz con diferentes dosis (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) influye de forma inversa en la disponibilidad de arsénico en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción – 2016

El estiércol de lombriz con diferentes dosis (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) influye de forma directa la disponibilidad de cromo en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción – 2016

1.4.2 Descripción de variables

A) Variable independiente

Aplicaciones de estiércol de lombriz (%)

b) Variable dependiente

Disponibilidad de cromo en el maíz (mg/kg)

Disponibilidad de arsénico en el maíz (mg/kg)

1.4.3 Operacionalización de Variables

Tipo de Variable		Dimensiones	Definición conceptual	Indicador	Unidad de Medida	Tipo de variable	Escala de medición
Variable Independiente	Estiércol de lombriz	Aplicaciones de estiércol de lombriz	Es el uso del producto resultante de excreción digestiva de las lombrices rojas californianas luego de ingerir estiércol de bovino.	Porcentaje por kilogramo de tierra.	kg	Cuantitativa continua	Razón/proporción
Variable Dependiente	Maíz	Disponibilidad cromo	Cantidad de cromo en forma iónica presente en la parte aérea de la planta de maíz, el que fue cultivado en suelos expuestos a la contaminación por residuos mineros.	Cantidad de cromo en la parte aérea la planta de maíz	mg/kg	Cuantitativa continua	Razón/proporción
		Disponibilidad de arsénico	Cantidad de arsénico en forma iónica presente en la parte aérea de la planta de maíz, el que fue cultivado en suelos expuestos a la contaminación por residuos mineros.	Cantidad de arsénico en la parte aérea la planta de maíz	mg/kg	Cuantitativa continua	Razón/proporción

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

Artículo 1

El artículo titulado “Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual”, en el cual se realizó una experiencia de campo de dos años de duración para estudiar la absorción y la distribución de metales pesados (Cu, Zn, Ni, Cd, Pb y Cr) en las plantas de maíz (*Zea mays* L.) cultivadas en un suelo calcáreo que fue enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual, así como se analizó los metales asimilables en el suelo extraídos con ácido dietilentriamino pentaacético (DTPA) con el fin de determinar el efecto residual y la movilidad de estos elementos en el suelo a lo largo del perfil. Se utilizaron 06 tratamientos T1 (testigo), T2 (30 Mg/ha de compost en sementera), T3 (15 Mg/ha de compost en sementera y la misma cantidad en cobertera), T4 (60 Mg/ha de compost en sementera), T5 (30 Mg/ha de compost en sementera y la misma cantidad en cobertura), T6 (30 Mg/ha de compost en sementera y 100 kg/ha de nitrato amónico cálcico 27% N en cobertera), los riegos se realizaron durante los meses estivales, se tomaron muestras de suelo, a distintas profundidades a lo largo del perfil, donde el primer muestreo se realizó con

anterioridad a la aplicación del residuo (año 0), el segundo después de la primera cosecha (año 1) y el tercero en la segunda cosecha (año 2), se sacaron 4 muestras compuestas por 12 submuestras, por parcela, con profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm y 60 a 80 cm, el estudio concluye que al respecto a los metales pesados analizados se puede decir que estos no presentan ningún problema. En el caso del Ni y del Cd los valores hallados en tallo y hoja se encontraron lejos de los valores considerados críticos y en el caso del Pb y del Cr, el 100% de estos elementos quedaron retenidos en las raíces y no pasaron a la parte aérea de la planta. **(19)**

Artículo 2

El artículo titulado “Transferencia de arsénico en el sistema agua-suelo-maíz de *Zea mays L.* cultivados en la quebrada de Camiña, norte de Chile”, hace referencia que las aguas naturales usadas para cultivar maíz sobrepasan la concentración de arsénico en cinco veces la legislación chilena NCh1333. se tuvo como fin determinar la capacidad de fitoextracción del elemento, por el factor de bioconcentración (FBC) y si hay riesgo en el consumo de granos y hojas, mediante el cálculo del porcentaje del factor de translocación (PFT) en plantas adultas, obtenidas de seis predios en agua alcanzaron 0.41 ± 0.09 mg/L; los suelos contaminados presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los sitios, precisando tres niveles: 30, 100 y 300 mg/kg. Las muestras de suelo fueron secadas y tamizadas a 2 mm para determinar la humedad por gravimetría a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 48 h y se conservaron en desecadora, Se midieron el pH y la CE en extractos acuosos 1:2; se determinó la concentración de carbono orgánico fácilmente oxidable (COFO), para el análisis de arsénico, se trabajó en la fracción inferior a $63 \mu\text{m}$ de la muestra de suelo. Como resultados los valores en hojas y granos fue variable 3.9 ± 2.0 y 0.10 ± 0.14 mg/kg, respectivamente. No existe relación lineal entre suelo y raíz, ni con las partes aéreas. Las raíces absorben y acumulan arsénico, obteniendo FB (factor de bioconcentración) de 2.36 ± 1.10 ($n=30$), sin embargo, no ocurre la transferencia de la raíz a la parte aérea, dado que los PFT obtenidos fueron bastante bajos (entre 1.57 a 5.90% en hojas y 0.02 a 0.11% en granos), en consecuencia, no hay riesgo en su consumo. **(20)**

Artículo N 3

El artículo titulado “Alivio de la toxicidad de cadmio al maíz por la aplicación de ácido húmico y compost” realizado en el invernadero de la Universidad Shahid Chamran de Ahvaz (Irán) con el objetivo de determinar la influencia de las sustancias orgánicas

(compost y ácido húmico) sobre los parámetros de crecimiento y la actividad enzimática antioxidante de la planta de maíz en un suelo contaminado (con Cd), efectuaron un estudio experimental con un diseño factorial completamente aleatorizado (CRD); se investigó la influencia del compost y del ácido húmico sobre la concentración de cadmio (Cd) en brotes y raíces, así como los parámetros de crecimiento (peso seco de raíces y brotes, contenido de clorofila) y las actividades de enzimas antioxidantes de maíz en suelos contaminados. Las variables experimentales fueron el nivel de contaminación del suelo con Cadmio (0, 25, 50 mg cd/kg de suelo) y el tipo de sustancia orgánica (compost y ácido húmico), entre los principales resultados se destaca: el aumento de la concentración de Cd en el suelo disminuyó el peso seco de la raíz y el brote, el contenido de clorofila y la tasa de crecimiento relativo de la planta, la toxicidad de Cd creó estrés oxidativo en la planta, los parámetros de crecimiento disminuyeron progresivamente con concentraciones crecientes de cadmio; la aplicación de la sustancia orgánica especialmente el ácido húmico disminuyó los efectos negativos de Cd, el ácido húmico fue más eficaz que el compost **(21)**.

Artículo 4

El artículo titulado “Efectos del ácido húmico sobre la absorción de metales pesados por plantas herbáceas en suelos contaminados” con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de ácido húmico de vermicompost en la mejora de la disponibilidad de una serie de metales pesados y el crecimiento de plantas en suelos contaminados con metales pesados e hidrocarburos, también se examinó el efecto de ácido húmico sobre la captación de metales pesados en tres especies de plantas herbáceas, para lo cual se realizó un estudio experimental, entre los resultados se destaca que el ácido húmico redujo formas fácilmente solubles e intercambiables de metales pesados en el suelo contaminado pero aumentó sus formas disponibles en la planta, el ácido húmico aumentó la acumulación de Pb, Cu, Cd y Ni en los brotes y raíces de plantas seleccionadas, estos resultados sugieren que la modificación de ácido húmico podría mejorar la absorción de los metales pesados por la planta, al tiempo que reduce la capacidad de lixiviación de metales pesados y evita la contaminación subsuperficial **(22)**.

Artículo 5

El artículo titulado “Solubilidad de metales pesados/metaloideos en muestras de suelo contaminado con varios metales de un área de procesamiento de mineral de oro: efectos de las sustancias húmicas”, con el objetivo de determinar el pH del suelo y el efecto de la solubilidad del metal pesado por los niveles de ácidos húmicos y fúlvicos aplicados en muestras de suelo con diferentes niveles de contaminación por metales pesados, para lo cual se realizó un estudio experimental, las muestras de suelo utilizadas en este estudio se recogieron en un sitio conocido contaminado con metal, se adquirieron ácido húmico (HA) y ácido fúlvico (FA) extraído del vermicompost, el experimento se realizó en un esquema factorial de $4 \times (4 + 1)$, con cuatro muestras de suelo contaminado y cuatro tratamientos, compuestos por dos niveles de HA, dos niveles de FA y un control. Los tratamientos de HA aumentaron la solubilidad de Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb, As y Ba de los suelos, mientras que los tratamientos de FA disminuyeron, aumentando o no su disponibilidad y movilidad en el suelo. La concentración de ácido húmico no influyó en el pH del suelo y la FA disminuyó el pH del suelo hasta 0,7 unidades. La concentración inicial de metales pesados en el suelo afecta la magnitud de los procesos que involucran sustancias húmicas. Las menores emisiones de metales pesados por FA verificaron la importancia de las propiedades de complejación de los compuestos orgánicos. Estos resultados parecen alentar el uso de HA para aumentar la disponibilidad de plantas de metales pesados en proyectos de remediación y el uso de FA para disminuir la disponibilidad de metales pesados en sitios contaminados con el riesgo de introducir metales en la cadena alimentaria **(8)**.

Artículo 6

El artículo titulado “El impacto de las sustancias húmicas (HS) como agentes de remediación en las formas de especiación de metales en el suelo” en Letonia, con el objetivo de determinar las posibilidades de utilizar HS como agentes para la remediación de suelos contaminados con metales pesados y los impactos de HS de formas de especiación de metales en ella, para lo cual realizan un estudio experimental, se recolectaron muestras de suelos minerales durante los trabajos de campo: suelo arenoso y franco arenoso con alto contenido orgánico, el suelo fue triturado y ponderado por 500 g de cada muestra. Se prepararon soluciones metálicas para preparar la concentración de metales pesados de 1 g por kg de suelo. Se añadió solución de HS a cada muestra en cantidades tales: 0,0; 1,0; 5,0; 10,0; 20,0, se

utilizaron métodos analíticos para determinar la disponibilidad de metales para los organismos vivos, entre los resultados se remarca que la remediación mediante HS ha demostrado un buen resultado para disminuir el contenido de metales pesados biológicamente disponibles, el HS transforman los metales en formas estables biológicamente indisponibles y disminuyen la cantidad de cationes de intercambio libre **(12)**.

Artículo 7

El artículo titulado “Efecto de las enmiendas basadas en ácido húmico sobre el cadmio intercambiable y su acumulación por las plantas de arroz”, con el objetivo de establecer el efecto de las enmiendas del suelo basado en ácido húmico sobre la acumulación de Cd por las plántulas de arroz, para lo cual realizaron un estudio experimental, en donde se llevó a cabo una incubación de suelo de 42 días seguida por un experimento de 40 días de arroz, el resultado de la incubación mostró que las siete enmiendas (humicamonio, húmico-calcio, húmico-nitro-calcio, humicurea, húmico-potasio, húmico-nitro-potasio y turba leñosa) aumentaron significativamente el pH del suelo y redujeron los contenidos de Cd; el contenido de Cd en las plántulas de arroz se redujo mediante modificaciones tanto en los grupos de edad como en los no envejecidos (no envejecido: suelo con modificaciones recién añadidas), envejecido: el arroz se plantó en el suelo utilizado en la incubación sin nuevas modificaciones; en comparación con las correspondientes enmiendas no envejecidas, las enmiendas envejecidas aumentaron significativamente el contenido de Cd en los brotes de arroz, excepto el potasio húmico; por lo tanto, las enmiendas basadas en ácido húmico podrían reducir el Cd intercambiable en el suelo, pero el efecto no era persistente y, en consecuencia, las modificaciones no envejecidas conducirían a una acumulación de Cd mucho menor en las plántulas de arroz que las envejecidas **(18)**.

Artículo 8

El artículo titulado “Capacidad de acumulación de Cd de alfalfa anual (*Medicago scutellata* L) por ácido húmico y asociación de bacterias promotoras del crecimiento”, realizado con el objetivo de determinar el efecto de la contaminación del suelo con el cadmio sobre el contenido de Cd en la alfalfa en Isfahan Irán, el experimento también involucró la aplicación de materia orgánica al suelo para reducir la absorción de cadmio por las plantas, para lo cual se realizó un estudio experimental con un diseño

factorial basado en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos experimentales fueron ácido húmico y bacterias promotoras del crecimiento. Los biofertilizantes utilizados en el experimento fueron las especies bacterianas *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum* y *Pseudomonas putida* en forma de mezcla y *Glomus intraradices* se utilizó como hongos micorrizas; se aplicó de 0, 40 y 80 mg de cloruro de cadmio; se midieron en las plantas bajo estudio las concentraciones de cadmio de raíces y brotes; los resultados sugirieron que había diferencias significativas entre los niveles de tratamiento y sus interacciones para todas las características medidas, se observó una tendencia significativa en la acumulación de cadmio en los órganos radiculares y de los brotes con el aumento de la concentración de cadmio **(23)**.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suelo

Los suelos son un elemento estructural de vital importancia de la biosfera y se forman debido a procesos biogeoquímicos. Algunos elementos importantes y oligoelementos son particularmente importantes para la vida en la Tierra **(24)**. Por otro lado, también se define, como un cuerpo natural dinámico compuesto por sólidos minerales y orgánicos, gases, líquidos y los organismos vivos que pueden servir como un medio para el crecimiento de las plantas **(25)**.

2.2.2 Nutrientes esenciales de la Planta

Los elementos principales que constituyen, por ejemplo, los tejidos vegetales son carbono, oxígeno, fósforo, azufre, hidrógeno, nitrógeno, calcio, magnesio, potasio y sodio. Otros elementos son necesarios para la fisiología vegetal, principalmente cobre, hierro, manganeso, zinc, boro y molibdeno, pero también otros. Aunque presente en tejidos celulares a menudo muy baja concentración (elementos menores o traza) de unos pocos mg kg^{-1} a g kg^{-1} , una deficiencia en estos elementos puede inhibir el crecimiento de la planta y tiene resultados de alta disponibilidad con respecto a la toxicidad (26).

Debido a que todos estos elementos se recogen del suelo a las plantas, de las plantas a los animales, etc., se requiere un buen conocimiento de la concentración y disponibilidad de elementos biogénicos y tóxicos. Otros elementos son también cruciales para los organismos vivos, aunque estén presentes en niveles de traza más bajos (21).

Las enfermedades surgen en regiones con deficiencia de yodo, selenio y otros elementos. El molibdeno juega un papel importante en plantas y animales, por ejemplo, en el ciclo del nitrógeno, donde facilita la reducción del dióxido de nitrógeno en nitrógeno. El vanadio tiene una función similar, pero el selenio puede acumularse en las plantas y llegar a ser tóxico para el ganado (8).

Un equilibrio químico en los organismos vivos es una condición básica para su crecimiento y desarrollo adecuados. Las interacciones de los elementos químicos son también de importancia similar a la deficiencia y toxicidad en la fisiología de las

plantas, ya que entre los elementos químicos pueden ser tanto antagónicos como sinérgicos y sus reacciones desequilibradas pueden causar un estrés químico real en las plantas (16).

Los organismos se han ajustado durante el curso de la evolución y la vida a la composición química de su entorno y han desarrollado su bioquímica en estrecha relación con la composición del entorno de fondo. Estos fenómenos han sido fácilmente observados, principalmente en microorganismos y poblaciones de plantas que han evolucionado a tolerancia a altas concentraciones de oligoelementos en provincias geoquímicas naturales o bajo condiciones inducidas por el hombre (17).

Los elementos de rastreo desempeñan un papel fundamental en el desarrollo normal y la salud de los organismos. Las funciones de la mayoría de los oligoelementos esenciales en los procesos metabólicos y de crecimiento han sido relativamente bien reconocidas y su papel crucial se atribuye comúnmente a las funciones de las metaloenzimas. Especialmente esenciales para las funciones fisiológicas son Cu, Zn y Fe. Sin embargo, los metales pesados son tóxicos como iones o en compuestos, porque son solubles en agua y pueden ser absorbidos fácilmente en organismos vivos. Después de la absorción, estos metales pueden unirse a componentes celulares vitales tales como proteínas estructurales, enzimas y ácidos nucleicos, e interfieren con su funcionamiento. En humanos, algunos de estos metales, incluso en pequeñas cantidades, pueden causar graves efectos fisiológicos y para la salud (27).

2.2.3 Contaminación del Suelo

El consumo de energía y minerales por la civilización es la principal causa de contaminación en la biosfera. La liberación mundial de oligoelementos como contaminantes en el medio ambiente puede estar correlacionada con el consumo mundial de minerales y energía, si la tasa de impacto de la minería excede la tasa natural de ciclaje de elementos por un factor de diez o más, éstos deben ser considerados como contaminantes potenciales (28).

Los metales traza que son más peligrosos para la biosfera de acuerdo con esta conclusión son Ag, Au, Cd, Cr, Hg, Mn, Pb, Sb, Sn, Te, W y Zn. Esta lista no corresponde directamente a la lista de preocupaciones medioambientales más conocidas de los resúmenes de consultoría y de legislación. Los contaminantes más

conocidos en los suelos son el Pb, el As, el Cd, el Cr, el Cu, el Zn, el Hg y el Ni que se utilizan en la industria y entran en la categoría de los llamados metales pesados. (29)

2.2.3.1 Fuentes de Contaminación

La contaminación del suelo puede surgir de un amplio rango de fuentes. Estas podrían ser contaminación local o puntuales, que aparece en las zonas que rodean a la fuente contaminante, en las que existe una relación directa con el origen de la contaminación, la cual va unida generalmente a la minería, las instalaciones industriales, los vertederos y otras instalaciones; a diferencia de la contaminación difusa, está causada generalmente por el transporte de sustancias contaminantes, tanto solubles como particuladas, a lo largo de amplias zonas con frecuencia alejadas de la fuente de origen. (30)

2.2.3.2 Toxicidad y Peligros

La contaminación con metales pesados es un problema importante ya que los efectos de la bioacumulación crean riesgos directos e indirectos para el medio ambiente y la salud humana. La calidad del suelo y del agua subterránea es fundamentalmente importante y se utilizan diferentes tecnologías para tratar la contaminación de fuentes difusas y puntuales generadas por fuentes industriales y naturales. Los metales pesados son tóxicos y peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, tanto cuando las fuentes son procesos naturales como los volcanes y la erosión de rocas o antropogénicos como la industria, la minería, la precipitación de contaminantes atmosféricos difusos y otros. Los iones tóxicos de metales pesados no son biodegradables y tienden a acumularse en organismos vivos, causando trastornos y enfermedades graves. La sobreexposición a metales pesados, incluido el plomo, promueve el desarrollo de muchas enfermedades en el lugar de trabajo (31).

2.2.4 Los Metales Pesados en el Suelo

Son todos los elementos metálicos con una densidad superior a 5000 kg m^{-3} . Sin embargo, algunos de los elementos metálicos con una menor densidad, así como los metaloides también son motivo de preocupación (29).

2.2.4.1 Especiación de Metales.

La especiación o forma química en la que está presente un elemento es importante en el caso del análisis de elementos traza. El estado de oxidación de diversos elementos (por ejemplo, Fe, Mn y Cr) depende del pH y del potencial redox. Elementos de otro tipo (como As, Hg, Pb o Sn) pueden formar complejos metalo-orgánicos. Los aspectos de la especiación de elementos traza (para metales pesados y metaloides) a menudo se ignoran cuando se realiza el análisis y se toman decisiones sobre el control de lixiviados de campos mineros, vertederos y sitios contaminados (32).

La precipitación de sulfuros y la formación de complejos metálicos con sustancias orgánicas son importante, así como las fases minerales de movilidad de los contaminantes. La movilidad de los contaminantes inorgánicos depende de la unión, por ejemplo, con sustancias orgánicas. El suelo se compone principalmente de minerales arcillosos, carbonatos, hierro hidratado y óxidos de manganeso, y materia orgánica. Con el fin de evaluar las interacciones en una perspectiva completa, varios métodos de separación se pueden utilizar como una sola etapa y la extracción secuencial (elución). Las pruebas en lotes o en columnas proporcionan información sobre la unión de sustancias y evalúan el proceso de lixiviación. Las pruebas de extracción y especiación aumentan el valor de la evaluación, ya que está más cerca de las condiciones reales del suelo en la naturaleza (33).

A diferencia de las pruebas de elución en una sola etapa, las pruebas de extracción secuencial más complejas pueden proporcionar información sobre la distribución de elementos en la muestra, cambios de fase en el lixiviado, influencia del pH y potencial redox y otros factores a lo largo del tiempo (34).

2.2.4.2 Arsénico

El arsénico (As) es un metaloide y puede permanecer en dos estados de oxidación, como arsenito (AsO_3) o como arseniato (AsO_4). Este último estado es el más habitual en condiciones de campo y laboratorio; además de ser el más susceptible de ser adsorbido por las partículas del suelo. Por ello, los constituyentes del suelo juegan un papel importante en la movilidad del arsénico dentro de éste y en su disponibilidad en el sistema agua-suelo-plantas. Al considerar que el ión fosfato y arseniato son similares en el suelo, ya que son adsorbidos específicamente en los minerales del suelo con carga variable como los óxidos de Al, Fe y Mo, alofano e imogolita, la aplicación de fósforo en forma de fertilizante, afecta la concentración de

As en la solución del suelo e incrementa la disponibilidad de este elemento para las plantas (24).

La adición de fertilizantes fosfatados a suelos agrícolas favorece la disponibilidad del As en la solución del suelo; a tal grado que, la toxicidad por As para cultivos y humanos puede prevalecer cuando el As coexiste con baja disponibilidad de fósforo. El estudio del As en el suelo es importante, porque la ingestión accidental de suelo (por ejemplo, el consumo de polvo o suelo adherido a las manos) es una forma de exposición de los seres humanos a este metaloide, el cual depende de la disponibilidad de este (35).

2.2.4.2.1 Fuentes de exposición de arsénico

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. En su forma inorgánica es muy tóxico. La exposición a altos niveles de arsénico puede deberse a diversas causas, como el consumo de agua contaminada o su uso para la preparación de comidas, para el riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados. (13)

2.2.4.3 Cromo

El cromo está presente en el suelo fundamentalmente como óxido insoluble y su movilidad es baja. Para el cromo (III) se prevé una adsorción rápida e intensa en el suelo, en particular por los óxidos de hierro y manganeso, los minerales de arcilla y la arena. La movilidad en el suelo del cromo soluble depende de las características de sorción de dicho suelo (36).

El Cr se encuentra en el suelo principalmente como Cr^{+3} y en estructuras minerales, o forma mezclas con óxidos de Fe^{+3} El Cr (VI) es la forma más inestable bajo condiciones normales en el suelo (37).

Se ha comprobado que al añadir a suelos con pH comprendido entre 4,7 y 7,4 soluciones de Cr (IV) en forma de cromato potásico, el Cr pasó rápidamente a formas insolubles con las propiedades de un oxhidróxido mixto de Cr (III) y Fe (III). Se ha sugerido que la reducción depende de la presencia de compuestos orgánicos que actúen como donadores de electrones. Parece ser que la forma estable en la

solución del suelo es Cr (III), aún a concentraciones muy bajas. Así, aunque el Cr (VI) es mucho más fitotóxico que el Cr (III), se reducirá a Cr (III) al aportarlo a suelos aerobios (17).

La velocidad de reducción es más lenta en suelos básicos que en los ácidos, pero, aun en aquéllos, el Cr (IV) puede reducirse durante el curso de una campaña. Se ha demostrado que incluso pequeñas cantidades de Fe (II) presente en la hematita y biotita puede reducir Cr (VI) a Cr (III), lo que resulta en la precipitación de (Fe, Cr), (OH)₃. Dependiendo de la naturaleza de la forma en que se encuentre el Cr, es decir como Cr (III) o Cr (VI), y del pH del suelo se puede incrementar o reducir su adsorción sobre los coloidales del suelo, por lo general, la adsorción de Cr(III) aumenta al aumentar el pH, mientras que la adsorción del Cr(VI) incrementa con la disminución del pH, debido a, las cargas que se generan en el suelo por el cambio de pH cuando se habla de suelos con carga variable (22).

Los mecanismos que intervienen en la absorción y translocación del Cr en las plantas no son bien conocidos debido, en gran medida, al desconocimiento de las formas iónicas presentes en los diferentes sistemas. Hay pruebas, sin embargo, de que el Cr (VI) es reducido a Cr (III) entre la superficie de las raíces y la parte aérea y que, independientemente de la forma en que se aplique, la mayor parte del Cr es retenido en las raíces. En casi todos los estudios realizados con este elemento, se ha comprobado que el contenido en la planta es inferior a 1 ó 2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de materia seca, incluso en los casos en que se presentan síntomas de toxicidad, aunque determinadas especies adaptadas a suelos desarrollados a partir de rocas ultrabásicas acumulan y son tolerantes al Cr y al Ni (8).

Las plantas y los animales vivos absorben mejor la forma hexavalente que la trivalente, pero una vez absorbida, la forma hexavalente se reduce al estado trivalente, que es más estable. El contenido de este elemento en las plantas está controlado principalmente por el Cr soluble en los suelos, usualmente se ha observado un alto contenido de este elemento en raíces más que hojas y tallos, mientras que las concentraciones menores se encuentran en granos (16).

La forma más disponible para las plantas es Cr (VI) que en condiciones anaerobias se transforma a Cr (III) y precipita. En el suelo, también se presenta la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por la materia orgánica edáfica aún en pH alcalino y la oxidación de Cr (III) a Cr (VI) en presencia de MnO₂ (16).

El cromo independientemente de su estado de oxidación en la solución III o VI, se almacena en mayor proporción en la raíz. La mayor concentración de cromo en la raíz se debe al proceso de difusión en el medio, mediante un flujo masivo y por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido en gran medida a la presencia de grupos carboxilo del ácido péptico. Las cargas negativas de las células rizodermis interaccionan con las cargas positivas de los metales pesados presentes en el suelo, se ha demostrado recientemente que parte del flujo de metales pesados pueden quedar retenido en la pared celular por la estructura de lignina y celulosa (38).

2.2.4.3.1 Fuentes de exposición de cromo

Tanto el hombre y animales están expuestos al Cr por vía inhalatoria (aire, humo del tabaco), por la piel o por ingestión (productos agrícolas, agua), siendo de mayor riesgo en la minería y trituración, preservación de madera, industria fotográfica, industria galvánica, trabajos en metales y producción de acero inoxidable. (39)

2.2.5 Factores de acumulación de metales pesados en el suelo y en la planta

La roca base, la edad y el tipo del suelo, así como la flora dominante, determinan la acumulación de metales pesados en el complejo de sorción de suelos ricos en materia orgánica, pero la solución liberada en el suelo es débil debido a la alta unión de metales a compuestos orgánicos. El pH del suelo, los procesos coloidales y microbianos, el potencial redox y la aireación también juegan un papel importante, por ejemplo, el encalado del suelo con el aumento del contenido de Ca^{+2} disminuye significativamente la absorción de metal por las raíces de las plantas, disminuir la disponibilidad de iones libres (34).

La quelación de los metales también estimula el mecanismo de absorción, es más fácil para los cationes divalentes y trivalentes, sin embargo, los factores del suelo influyen en el proceso para diversos elementos de manera diferente, por ejemplo, para Zn es el mecanismo de amortiguación de Zn, pero para otros metales como Fe, Mn, Pb es el pH del suelo y las condiciones redox.

2.2.5.1 Formas de absorción de metales pesados.

Las dos formas principales de absorción de metales pesados por las plantas pueden clasificarse como absorción no metabólica por la absorción de energía y la absorción metabólica por mecanismos dependientes de la energía (34).

El primer tipo es cuando la concentración de metales cerca de las raíces es alta y los elementos se difunden pasivamente en estructuras orgánicas, mientras que el segundo es cuando el ion que pasa a la célula es estimulado por la fuerza motriz del protón, lo que crea el pH y el potencial eléctrico que garantiza (35).

2.2.6 Disponibilidad

El término disponibilidad establece la medida de la tasa y extensión de la absorción de una sustancia activa que alcanza el sistema circulatorio de un organismo, en resumen, la extensión de su absorción y circulación sistémica por el organismo (40).

La disponibilidad para las plantas depende de la solubilidad y movilidad de los metales en la solución suelo por lo que la concentración total de los metales en el suelo no refleja necesariamente los niveles metales biodisponibles. La transferencia de metales pesados desde el suelo a la planta es un proceso complejo. Debido a que el suelo es un sistema dinámico sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos. La disponibilidad de los metales está relacionada con el flujo del elemento hacia la planta, el cual depende de la concentración en la solución suelo y del transporte a través de este. El transporte y destino de los metales pesados en el suelo está determinado por el equilibrio entre los distintos componentes de este y la interacción entre los distintos procesos como adsorción/desorción, precipitación/disolución, extracción por las plantas, aporte del residuo, reincorporación/mineralización y transporte de solutos. Para la evaluación del impacto del aumento de un metal pesado en el sistema suelo-agua-planta es necesario conocer los distintos procesos asociados a su disponibilidad. (41)

2.2.6.1 Factores que afectan la disponibilidad de los metales pesados

Los factores que afectan la concentración de los metales en la solución suelo afectan su disponibilidad, por lo tanto, esta depende de la naturaleza del metal, de la interacción con los coloides del suelo, de las propiedades del suelo y del tiempo de contacto del suelo con el metal. Los principales factores del suelo que controlan la

solubilidad y potencial disponibilidad de los metales en el suelo son el pH, potencial redox, textura, contenido y aniones en solución. (42)

pH: El pH del suelo, es considerado uno de los principales factores que afecta la disponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo. Además, afecta el ingreso del metal a las raíces de las plantas. (41) Por otra parte, las actividades humanas han inducido toda una serie de cambios en la acidez de los suelos, por medio de la utilización de fertilizantes químicos, la deposición atmosférica, residuos orgánicos que forman ácidos y la lluvia ácida. Relacionando este concepto con la contaminación de los suelos, los contaminantes añadidos por la actividad humana pueden acidificar el suelo, bien sea por vertidos o por oxidación de sulfuros y óxidos nitrosos, lo que aumenta la vulnerabilidad del suelo, La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácidos, a excepción de As, Mo, Se y Cr que lo están a pH alcalinos. (43)

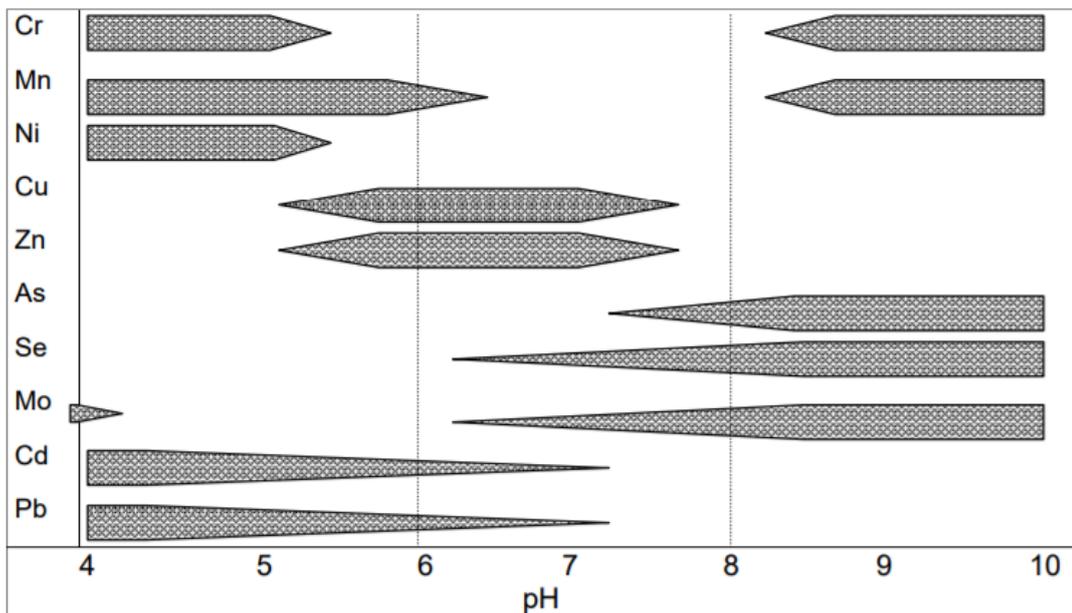


Imagen N°01: Disponibilidad de metales pesados de acuerdo con el pH

Fuente: (44)

Contenido de materia orgánica: La materia orgánica juntamente con la arcilla del suelo y mediante una serie de reacciones fisicoquímicas, adsorben los

contaminantes y permiten su inmovilización o liberación. No obstante, la formación de complejos y quelatos con los metales puede facilitar una mayor migración de éstos a través de los horizontes del suelo. De esta forma, la complejación por parte de la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y bioasimilación de los metales pesados. Así, la toxicidad de los metales pesados se ve potenciada por la tendencia hacia la formación de compuestos organometálicos, los cuales son más solubles, disponibles y dispersables, además de aumentar la persistencia de estos contaminantes en el suelo debido a la dificultad de degradación de los complejos formados. (43)

Contenido y tipo de arcilla: La mayor parte de las arcillas se caracterizan por tener cargas eléctricas, principalmente negativas, en su superficie que son responsables de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, constituyendo un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo, de esta forma los metales permanecen por más tiempo en el suelo y disminuyen su solubilidad y biodisponibilidad (45). El tipo de arcilla afecta la CIC y el grado de retención de los cationes metálicos en el suelo; por ejemplo, las arcillas montmorilloníticas tienen la mayor capacidad de retención para Cu y Cd y las kandíticas presentan la menor capacidad de retención (46).

Potencial redox: La condición redox afecta el tipo de especies de metales en la solución suelo alterando su solubilidad. En los suelos compactados e inundados, que tienen poca aireación, se ven favorecidas las condiciones de reducción, incrementando la biodisponibilidad de algunos metales como Mn, Cd, Cu, Cr y Zn y aumentando su toxicidad. (45).

Presencia de cationes y aniones en la solución suelo: La adsorción de cationes metálicos es un proceso selectivo que depende principalmente de la carga y radio iónico del catión, existiendo una competencia por los sitios de adsorción (47). La concentración de aniones también puede tener efecto sobre la solubilidad de los metales; los aniones tanto inorgánicos como orgánicos pueden formar complejos con los cationes metálicos y tal reacción puede afectar la biodisponibilidad de los metales. (48).

Otros factores: Hay otros factores que afectan la solubilidad de los metales en el suelo y su biodisponibilidad para las plantas. La actividad de las raíces afecta la biodisponibilidad al bajar el pH rizósfera. Al exudar ácidos orgánicos se solubilizan

los metales y su absorción por las plantas aumenta. Los exudados orgánicos de las raíces también pueden actuar como agentes complejantes de los metales y pueden movilizar los metales adsorbidos a la solución suelo. (49)

2.2.7. Biodisponibilidad

Es otro aspecto importante cuando es necesario evaluar la toxicidad de los oligoelementos. En el campo de la geología médica, la investigación sobre la biodisponibilidad y la evaluación del riesgo son herramientas importantes para investigar la influencia de las especies químicas en la salud humana y animal. La bioacumulación de oligoelementos es un aspecto importante en la cadena alimentaria que debe ser bien comprendido. En general, la bioacumulación podría definirse como el proceso mediante el cual los organismos absorben sustancias químicas o elementos directamente del medio ambiente (50).

Para las evaluaciones del riesgo medioambiental, significa que los oligoelementos son biodisponibles si están listos para ser absorbidos bajo condiciones específicas. Una serie de procesos en el entorno del suelo afectan la movilidad de los metales, tales como disolución y precipitación, sorción, intercambio iónico y reacciones de oxidación-reducción. En este entorno, la movilidad y la biodisponibilidad de los metales se reducen por condiciones que promueven la precipitación o la sorción (26).

Los metales con la biodisponibilidad más alta forman complejos externos débiles con materiales inorgánicos tales como óxidos de hierro y manganeso o arcilla y materia orgánica en el suelo, por lo tanto, los metales que forman complejos de esfera interna no son desorbidos tan fácilmente y por lo tanto son menos biodisponibles porque están incorporados en la estructura de los minerales. La parte restante no adsorbida o involucrada en complejos puede llegar a estar biodisponible. La evaluación de riesgos es un conjunto de métodos para evaluar el peligro potencial que puede afectar a los seres humanos y al medio ambiente y ayuda a identificar poblaciones o áreas que están bajo amenazas de contaminación del suelo, agua o aire. La evaluación del riesgo ecológico es mucho más compleja que la evaluación del impacto en los seres humanos; sin embargo, este último tiene consideraciones mucho más éticas y es mucho más difícil de probar in vivo (26).

2.2.8 Bioacumulación

El concepto de bioacumulación se dirige específicamente a los datos cuantitativos; la concentración de metales pesados se compara entre las disueltas, absorbidas (adsorbidas) por las plantas y otras formas. La concentración selectiva de elementos conduce a una sobreexposición, y la biodisponibilidad puede definirse como la medida en que una sustancia puede ser absorbida por un organismo vivo y puede causar una respuesta adversa fisiológica o toxicológica (23).

2.2.9 Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados con Metales Pesados

Por remediación se entiende las medidas adoptadas para limpiar, mitigar, corregir, atenuar, minimizar, eliminar, controlar y contener o impedir la liberación de un contaminante en el medio ambiente con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente (28).

La definición anterior muestra que es un término más amplio que la limpieza e incluye el manejo de un contaminante en un sitio para prevenir, minimizar o mitigar el daño a la salud humana o al ambiente. Las tecnologías de remediación del suelo y de las aguas subterráneas se elaboran para eliminar los sitios contaminados históricamente y actualmente, ya que la contaminación provoca la pérdida de tierras como recurso. Se propone una variedad de métodos para la remediación de suelos y aguas subterráneas que van desde biológicas hasta técnicas de ingeniería avanzadas y complicadas; éstos pueden ser específicos del sitio y depender de la clase de contaminantes o contaminantes (51).

Teniendo en cuenta el concepto de desarrollo sostenible, las tecnologías de remediación deben corresponder al principio de bajo consumo de energía y recursos, baja producción de residuos, huella minimizada y tener un carácter innovador (52).

La decisión sobre la elección tecnológica debe tener los siguientes objetivos:

- a) Eficacia a corto y / o largo plazo;
- b) Eficacia de la reducción de contaminantes en el sitio;
- c) Reducción de la toxicidad de los contaminantes;
- d) Rentabilidad de la remediación (29).

Con respecto al nivel de contaminación y al carácter geológico e hidrológico del sitio, se deben mejorar los criterios para incluir factores de importancia social, sanitaria y ambiental. El análisis de las ventajas y desventajas de cada tecnología establece criterios adicionales para la elección de tecnologías de remediación. Las tecnologías se dividen en subgrupos, por ejemplo, tecnologías para metales pesados, sales inorgánicas, volátiles y semi-volátiles no halogenados, hidrocarburos combustibles, explosivos y otros (34).

Las sustancias radiactivas comprenden un grupo separado que se origina principalmente en la investigación nuclear, la producción, los derrames accidentales, las instalaciones del ciclo del combustible y otras fuentes. Los metales pesados incluyen un grupo de metales y algunos metaloides como contaminantes ambientales (V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Cd, Sn, Sb, Hg, Tl y Pb) (27).

En el ambiente antropogénico, los metales pesados comprenden un importante grupo de contaminantes del suelo, sedimentos y aguas subterráneas porque no pueden ser destruidos, pero bajo condiciones naturales locales, los metales pesados se transforman en varias especies químicas (17).

Por lo tanto, la remediación de suelos contaminados con metales consiste principalmente en manipular (es decir, explotar, aumentar, disminuir o mantener) la movilidad de contaminantes metálicos para producir un suelo tratado que tiene un contenido aceptable de metal total o lixiviable. Existen factores que influyen en la movilidad del metal en los sistemas de desecho de suelos: el tipo y cantidad de suelo, la concentración del metal de interés, la concentración y el tipo de iones competidores y complejos que forman ligandos, tanto orgánicos como inorgánicos, pH (51).

La movilidad potencial de los metales pesados cambia a través de procesos naturales de meteorización, manipulación humana y cambios en la condición del suelo (53).

2.2.9.1 Las tecnologías de remediación: in situ y ex situ

Una tecnología in situ significa que una sustancia contaminada en el suelo o agua subterránea se trata en el sitio con la contaminación determinada. Las tecnologías in situ se utilizan para el tratamiento de suelos no excavados o aguas subterráneas no extraídas que permanecen relativamente inalterados después del

proceso de limpieza. Este enfoque exige información detallada sobre las características físicas, químicas y bioquímicas de la matriz y sobre las condiciones de contaminación, geológicas, hidrogeológicas y otras. En este caso, el nivel de seguridad para el personal involucrado en el proceso de tratamiento es mayor; es más económico y tiene un menor impacto en el sitio (54).

En el proceso de tratamiento fuera del sitio, el suelo contaminado y/o el agua subterránea son retirados del sitio excavado (enfoque ex-situ). Requiere el transporte del suelo contaminado y/o del agua subterránea a las instalaciones de tratamiento. Las tecnologías ex situ se aplican al suelo excavado y/o al agua subterránea extraída y se pueden realizar tanto dentro como fuera del sitio (21). Las siguientes tecnologías de remediación in situ y ex situ se utilizan para la reducción del nivel de contaminación de metales pesados:

- a) Tecnologías in-situ y ex situ-biorremediación, estabilización / solidificación y separación / concentración;
- b) Tecnologías in situ-limpieza del suelo, electrocinética, barreras / muros de tratamiento, tratamiento químico, enmiendas del suelo y fitorremediación;
- c) Tecnologías ex situ-lavado del suelo (31).

Las tecnologías de remediación basadas en su ámbito de aplicación incluyen tecnologías vadosas y de zonas saturadas. La zona vadosa incluye el perfil geológico desde la superficie hasta la superficie superior de la formación principal que contiene agua. Algunos métodos de tratamiento sólo pueden utilizarse para el tratamiento de zonas vadosas, pero no para el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas. La práctica más común para remediar la zona vadosa de contaminación es la excavación y el transporte a vertederos. El suelo contaminado puede ser tratado o no tratado antes de la eliminación. Este es el mejor enfoque para los sitios contaminados de pequeñas dimensiones; sin embargo, cuando se tiene que aplicar a sitios más grandes, el costo de la excavación, el transporte y el tratamiento aumenta (35)

Las tecnologías que se basan en los procesos utilizados incluyen la biológica, la separación física, químicas, fisicoquímicas, térmicas y técnicas de contención. En las tecnologías de biorremediación, el metabolismo microbiológico se

utiliza para transformar o degradar los contaminantes del suelo o del agua subterránea en sustancias inofensivas. Estos últimos pueden ser dióxido de carbono, agua, ácidos grasos y otros. Las tecnologías de tratamiento físico y químico se basan en las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes, así como en los medios contaminados para convertir químicamente, separar o contener la contaminación (40).

2.2.9.2. Fitorremediación del Maíz

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas de maíz para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en los suelos. Los contaminantes se incorporan a la planta de maíz en su forma disuelta, y favorece este proceso de asimilación la acción de las raíces a partir de sus exudaciones que modifican condiciones ambientales en la rizósfera, como el pH y el potencial redox y la actividad microbológica. Este proceso es moderado en la planta del maíz (55).

De forma general, los metales de mayor biodisponibilidad para la absorción por las plantas acumuladoras son: el Cd, Ni, Zn, As, Se y Cu. Con un comportamiento moderado están el Co, Mn y Fe, mientras que el Pb, Cr y U prácticamente no son biodisponibles. (56)

Las plantas hiperacumuladoras que pueden crecer y desarrollarse en suelos con altas concentraciones de metales pesados pertenecen a una flora especializada, que coloniza suelos originarios de serpentina o ultramáficos ricos en Ni y calamina (mineral que contiene altas concentraciones de Zn y Cd), naturales o contaminados por la actividad minera. Esas plantas son seleccionadas naturalmente por su alta tolerancia a un determinado metal (hipertolerancia). (57)

Se han identificado alrededor de 415 especies de plantas hiperacumuladoras distribuidas en 45 familias botánicas con capacidad para acumular selectivamente alguna sustancia. Los hiperacumuladores son especies capaces de acumular metales a niveles de 100 veces más que aquellos típicamente medidos en retoños de plantas no acumuladoras comunes (58). Un hiperacumulador concentrará más de 10 µg/g Hg; 100 µg/g Cd; 1000 µg/g Co, Cr, Cu y Pb; 10000 µg/g Zn y Ni. (59)

En la mayoría de los casos no se trata de especies raras, sino de cultivos bien conocidos, tal es el caso del girasol (*Heliantus annus*) capaz de absorber grandes cantidades de uranio depositado en el suelo y el maíz (*Zea mays*) con un gran potencial para la acumulación de cadmio y plomo. (60)

Los mecanismos de fitorremediación incluyen:

- a) Fitoacumulación que es la absorción de los contaminantes a través de las raíces y su posterior acumulación en tallos y hojas.
- b) Rizodegradación se lleva a cabo en el suelo que rodea a las raíces las sustancias excretadas naturalmente por éstas, suministran nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica.
- c) Fitoextracción es la eliminación del contaminante del suelo y su acumulación en el tejido del maíz. La fitoextracción de metales pesados se basa en el uso de plantas que poseen una capacidad natural por encima de lo usual para absorber y concentrar en sus partes aéreas metales pesados sin desarrollar síntomas de toxicidad (60).
- d) Fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta de maíz, a través de enzimas que catalizan su degradación.
- e) Fitoestabilización, las plantas de maíz limitan la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción en las raíces de compuestos químicos que pueden adsorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interfase raíces-suelo (61) .

2.2.9.2.1 Acumulación de los metales en la rizósfera del maíz

Comprende tres mecanismos por los cuales se puede dar el movimiento de los iones:

- Intercepción Radicular, al ir aumentando el sistema radicular del maíz se va incrementando su volumen radicular y por ello se intercepta un volumen cada vez mayor de solución suelo.

- Flujo de Masas, el cual consiste en el movimiento del agua y los nutrientes de la solución a la raíz. Este proceso es debido a la pérdida de agua por la transpiración

de la planta, lo cual crea una fuerza de succión por la diferencia de presión de agua entre el interior y exterior de la planta de maíz.

- Difusión, proceso espontáneo por el que ocurre un movimiento de los iones por una gradiente de potencial químico de una solución de mayor concentración a una de menor concentración. Este mecanismo es importante para iones de alta energía (62).

2.2.9.2.2. Absorción de los metales en la rizósfera del maíz

Cuando las sales entran en contacto con el sistema radicular se puede iniciar el proceso de absorción en sí. Se produce primero una rápida absorción no selectiva (mecanismos pasivos de absorción) seguida de una absorción lenta y selectiva (mecanismos activos de absorción) (63).

Los mecanismos pasivos de absorción son procesos exergónicos fácilmente reversibles y no selectivos, por lo cual se considera que su participación en el proceso de absorción total es mínima. Estos mecanismos son: Difusión, Intercambio iónico, Equilibrio de Donnan y Flujo de Masas. En el transporte activo en cambio las partículas son transportadas activamente contra un gradiente de concentración o de potencial electroquímico, por lo cual se requiere aporte de energía externa, la cual es suministrada por el metabolismo celular (61).

También participan los mecanismos de difusión facilitada, como son: canales iónicos y proteínas translocadoras, las características comunes de estos dos mecanismos son que tan sólo permiten que los solutos atraviesen la membrana a favor de un gradiente de concentración y que además muestran especificidad (64).

A pesar de que existen mecanismos transportadores específicos para ciertos iones, muchas veces iones similares compiten por el mismo sitio de enlace en una molécula transportadora; para casos de toxicidad por metales, el efecto tóxico podría deberse a una competencia con nutrientes fundamentales para la planta (12).

2.2.9.2.3. Quelación

La quelación es la capacidad de un compuesto químico para formar una estructura en anillo con un ion metálico originando un compuesto con

propiedades químicas diferentes a la del metal original. El quelante impide que el metal produzca sus reacciones químicas normales (21).

La acumulación de metales pesados en la planta se genera por un proceso de complejación; un complejo o compuesto de coordinación es el resultado de la interacción de un átomo central, esto es, un ion metálico con orbitales de valencia vacíos que pueden actuar como ácido de Lewis (aceptor de electrones), y una o varias bases de Lewis (dador de electrones) con pares de electrones libres. Estas bases se conocen como agentes complejantes o ligandos. Esta interacción lleva a la formación de un enlace covalente coordinado o dativo. La capacidad de quelación y complejación en el maíz es alta, más aún si se trata de una variedad adaptada a suelos potencialmente contaminados (65).

Los quelatos formados en el maíz incrementan la solubilización del cromo y del arsénico y facilita su transporte hacia la raíz u hoja de la planta, dado que estos metales compiten con ciertas sales nutritivas para la planta que son quelatadas y transportadas (61).

2.2.9.2.4. Translocación de los metales desde la raíz al resto de la planta de maíz

Este proceso no ha sido completamente explicado. Es posible que exista un equilibrio de quelación entre los cationes y moléculas quelantes (ácidos orgánicos y aminoácidos) presentes en el jugo xilemático. También no se ha determinado con exactitud el nivel de acumulación en las raicillas de los metales (62).

2.2.10 Muestreo

El muestro es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio, constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos. (66)

2.2.10.1 Muestreo de Identificación

El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los ECA. En el muestreo de identificación, no se dispone de datos precisos sobre la concentración de compuestos contaminantes en un suelo, sin embargo, para contar con un límite de confianza aceptable, es pertinente realizar un número mínimo de puntos de caracterización. (66)

2.2.10.2 Muestreo para muestras superficiales

Para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pueden aplicar sondeos manuales. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica será necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. En este tipo de muestras es permisible tomar muestras compuestas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para la determinación de sustancias orgánicas volátiles. Se recomienda en particular la toma de muestras superficiales compuestas para la evaluación de riesgos a la salud humana o para la flora y fauna. En estos casos se recomienda un muestro bidimensional, es decir, la toma de sub muestras en un área y una capa determinada y unir las sub-muestras individuales en una muestra compuesta.

Para la profundidad del muestro se indica en el cuadro siguiente:

Cuadro N°01: Profundidad del muestro según el uso del suelo

Usos del suelo	Profundidad del muestro (capas)
Suelo Agrícola	0-30 cm
	30-60 cm
Suelo Residencial/Parques	0-10 cm
	10-30 cm
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0-10 cm

Fuente: (66)

De acuerdo a los parámetros a analizar se seleccionará el material del instrumento muestreador, recomendándose el uso de acero inoxidable o plástico, evitando el empleo de elementos cromados, pintados o con otro tratamiento de superficie. Limpie cuidadosamente el área a muestrear de cualquier desecho o

escombro superficial (ramas, piedras, residuos, etc). Cuando éste es abundante se aconseja quitar los primeros cm en un área de 15 cm de radio. (66)

2.2.10.3 Manejo de las muestras

Es necesario observar ciertas consideraciones en el manejo de las muestras, sin embargo, es pertinente cumplir con los protocolos establecidos por los laboratorios respecto a la recolección y conservación de las muestras para su análisis. Se debe contemplar que para la conservación se debe mantener a una temperatura de 4 a 6 °C y en este caso se debe de muestrear en bolsas de polietileno densa, así como también deben contar con el etiquetado. (66)

2.2.10.4 Determinación de puntos de muestreo

Para el número mínimo de puntos de muestreo se determina en función de cada área de potencial interés dentro del predio de estudio, según lo establecido en el Cuadro N°02, que abarca el número total de los puntos de muestreo, tanto superficial, como de profundidad. (66)

Cuadro N°02: Número mínimo de puntos de muestro para el Muestreo de Identificación

Área de potencial interés (ha)	Puntos de muestreo en total
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente: (66)

2.2.11 Técnicas para valoración

2.2.11.1 Técnica para valoración de cromo total en la planta.

Espectrometría de absorción atómica por llama.

Consiste en la medición de la concentración de los metales que presentan absorción de la radiación a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, pudiendo utilizar distintos procedimientos, técnicas y accesorios, para llegar al estado fundamental del átomo. Una de las técnicas más utilizadas para realizar la atomización es la absorción atómica con flama o llama, que se describe a continuación:

En un atomizador de flama se nebuliza una solución de la muestra, mediante el flujo de un gas oxidante mezclado con un combustible también gaseoso, y se lleva hacia una llama donde ocurre la atomización. Durante la desolvatación, el disolvente se evapora y produce un aerosol molecular finamente dividido; después, éste se volatiliza para formar moléculas de gas. La disociación de la mayor parte de estas moléculas produce un gas atómico. Algunos de los átomos de este gas se ionizan y forman cationes y electrones. Una fracción de las moléculas, átomos e iones se excitan por el calor de la llama y producen espectros de emisión: atómicos, iónicos y moleculares. Los átomos neutros gaseosos, en su estado fundamental, absorben radiación a longitudes de onda específicas. La medición de la magnitud de esa absorción atómica y su aplicación y análisis cuantitativo constituyen la espectrometría de absorción atómica. La fuente primaria de radiación luminosa es generalmente una lámpara de cátodo hueco del elemento de interés.

El método de espectroscopia de llama tiene como requisito que la muestra sea introducida en disolución. En esta investigación se utilizó una digestión húmeda por medio de ácido nítrico, obteniendo extractos acuosos de cada muestra, y analizada por flama siguiendo el método MEF-017. Se utiliza un equipo de espectroscopia de absorción atómica marca Thermo Electrón Corporation Serie SOLAAR M. (67)

2.2.11.2 Técnica para valoración el arsénico total en la planta

Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros.

La espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (HGAAS) aporta la sensibilidad requerida para detectar al arsénico. La técnica de

Generación de Hidruro se basa en la reacción de Marsh y Gutzeit en la cual se emplea zinc como reductor. La técnica de HGAAS consta de tres etapas fundamentales: la generación y volatilización del hidruro, la transferencia de este y su posterior atomización en el espectrómetro de AA. La generación del hidruro, en el presente trabajo se consigue, tratando la muestra que contiene arsénico con una disolución de Borohidruro de sodio (NaBH₄) en medio ácido (HCl). Con el método MEF-018. Se utiliza un equipo de espectroscopia de absorción atómica marca Thermo Electrón Corporation Serie SOLAAR M. (68)

2.2.11.3 Técnica para determinación de cromo en el suelo *Espectrometría de absorción atómica por llama*

Metal total.: Se pesa alrededor de 200 mg de muestra seca (suelo, lodo y mezcla suelo/lodo) en triplicado y se traspasaron a vasos para microondas, luego se agrega 4 mL de HNO₃, 4 mL de HF y 2 mL de H₂O₂, y estas se mineralizan por digestión en horno microondas Millestone1200 mega, utilizando un programa de tres etapas: 5 min. a 250 W, 5 min. a 400 W y 10 min. a 500 W, luego se eliminan los ácidos por evaporación, llegando casi a sequedad, se agregó HCl 1 M y se aforó a 10 mL, para posteriormente determinar su concentración por EAA con llama Perkin Elmer 1100B.

Extracción secuencial.: Se selecciona la metodología de Howard y Shu (1996) de seis etapas que incluye la adición del equivalente a 200 mg/L de NTA (ácido nitrilotriacético) a cada reactivo extractante, con el fin de evitar la readsorción y aumentar la selectividad.

Método de extracción secuencial			
Etapa	Solución Extractante	Tratamiento	Suelo : Solución
1 Metal soluble + intercambiable	MgCl ₂ (1M), en NTA (200 mg/L)	Agitación por una hora a 20°C, centrifugar 30 min.	3:20
2 Metal unido a carbonato	NaOAc 1M/HOAc (pH 5), en NTA (200 mg/L)	Agitación por 5 horas a 20°C, centrifugar 30 min.	3:20
3 Metal asociado a MnOx	NH ₂ OH.*HCl 0,1M /HNO ₃ 0,01M en NTA (200 mg/L)	Agitación por 30 min. a 20°C, centrifugar 30 min.	3:20
4 Metal enlazado a MO	K ₄ P ₂ O ₇ 0,1M en NTA (200 mg/L)	Agitación por 24 horas a 20°C, centrifugar 30 min.	3:20

5 Metal asociada a FeOx	NH ₂ OH·HCl 1M + HOAc 25% (V/V) en NTA (200 mg/L)	4 horas en baño de agua a 96°C ± 3°C	3:20
6 Metal Residual	HNO ₃ (6 mL) H ₂ O ₂ (2 mL) HF (2 mL)	Secar al aire, pesar 200 mg, digerir en horno microonda (determinar humedad)	1:50 llevar a 10 mL.

En un tubo de centrifuga 50 mL se pesa exactamente (en triplicado) alrededor de 3 g. de muestra (suelo y mezcla suelo/lodo), previamente molida en un mortero de ágata y tamizada utilizando un tamiz plástico de 2 mm de abertura, se agregó el reactivo correspondiente a la etapa, luego se agita el tiempo indicado y se centrifugó, de esta manera se separó el líquido sobrenadante (se guardó en recipientes de plástico, para medir por EAA con llama) y se continua con la siguiente etapa. Posteriormente a la separación se procede a pesar el tubo de centrifuga, para corregir volúmenes y cantidad del metal que ha quedado de la etapa anterior. No se efectúa lavado entre las etapas, pues se comprueba que los resultados son similares, sin embargo, podría producirse con éste una mayor pérdida de suelo. Con el método MES-025. (69)

2.2.11.4 Técnica para determinación de arsénico en el suelo *Espectrometría de absorción atómica por llama*

El acoplamiento de un generador de hidruros al espectrómetro de absorción atómica (GH-AAS) aporta la sensibilidad requerida. La técnica de Generación de Hidruro, basada en la reacción de Marsh y Gutzeit en la cual se emplea zinc como reductor, se utiliza para mejorar la determinación de arsénico. La técnica de GH-AAS consta de tres etapas fundamentales: la generación y volatilización del hidruro, la transferencia de este y su posterior atomización en el espectrómetro de AA.

La generación del hidruro se consigue, tratando la muestra que contiene arsénico con una disolución de Borohidruro de sodio (NaBH₄) en medio ácido (HCl). Donde H* es el hidrógeno nascente, "A" es el elemento formador de hidruro y "m" su estado de oxidación (que puede o no coincidir con "n", el índice de coordinación). Si bien, el reductor utilizado universalmente es el Borohidruro de sodio, la reacción es completa y rápida cuando se trata de la especie inorgánica As (III), en el caso de As (V) y las especies orgánicas Monometilarsénico (MMA) y Dimetilarsénico (DMA), la

reacción es muy lenta por lo que es necesaria una reducción previa, para lo cual se utiliza yoduro de potasio o L-cisteína.

Entre los sistemas de generación de hidruros, los que combinan las ventajas de la inyección en flujo, con la posterior detección por espectrometría por absorción atómica, es de los más usadas en la determinación total de arsénico, porque es sensible, rápido y minimiza los efectos de las interferencias, si se lo compara con los métodos tradicionales, además resulta ser más cómodo de usar y apropiado para el análisis. Los métodos continuos de análisis (Flow Injection Análisis) se refieren a aquellos procesos analíticos en los que la concentración del analito es medida sin interrumpir un flujo de líquido o gas. La mezcla del hidruro con el resto de la dilución es bombeada a un separador gas-líquido, donde una corriente de gas inerte (generalmente argón) impulsa el hidruro hacia la llama liberándolo de la disolución. La atomización del hidruro se realiza en un tubo de cuarzo en forma de "T" que, calentado por la llama, aumenta el tiempo de residencia de los átomos y evita la dispersión de estos y el ruido de fondo. La señal generada se almacena en un registrador de tipo continuo. Con el método MES-026. (70)

2.2.12 Estiércol de Lombriz

2.2.12.1 Definición de Lombrhumus

Es el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar por el intestino de las lombrices de tierra. Está constituido principalmente por Carbono, Oxígeno e Hidrógeno, al igual de una gran cantidad de microorganismos. Siendo una sustancia color oscuro generalmente, aunque puede variar su coloración de acuerdo con el origen del material que le sirvió de alimento como estiércoles maduros de ganado vacuno, ovino, porcino, equino, conejo, etc. (37).

El mejor estiércol para la reproducción de la lombriz roja es de equino y de ganado vacuno, debe tener un periodo de maduración de 6 a 7 meses, no se debe utilizar un estiércol de ave ya que es muy ácido y se dificultaría su ingesta por las lombrices (40).

2.2.12.2 Características del Lombrhumus

El humus producido a diferencia de las compostas tiene una elevada carga microbiana que beneficia a las plantas produciéndose abono orgánico de alta calidad, mejorando también la composición y estructura del suelo. Haciendo la tierra más aireada menos pesada y menos sensible a la sequía dependiendo del origen del humus; el humus de lombriz debe su enorme poder, sobre todo a la flora bacteriana que contiene y debería ser llamado con más propiedad como elemento corrector, en lugar de elemento para abono. El pH del humus de lombriz es siempre neutro y constituye un neutralizador de los suelos, debido a que las lombrices segregan una sustancia llamada carbonato de calcio que neutraliza los ácidos de sus alimentos. Debido a que el pH de dicho material es neutro, se crea un medio desfavorable para la proliferación de ciertos parásitos (34).

Incrementa la disponibilidad de elementos como Nitrógeno, Fósforo y Azufre. También inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas. Inactiva los residuos de plaguicida gracias a su capacidad de absorción. Regula el incremento y la actividad de los nitritos del suelo. Mejora la capacidad de intercambio catiónico. Al igual que la arcilla forma complejos absorbentes, lo que incrementa la reserva de elementos nutritivos para la planta. El humus favorece la acción de los abonos minerales, facilitando la absorción de los elementos fertilizantes a través de la membrana celular de las raicillas. Por lo tanto, en presencia de humus la planta puede absorber mayor cantidad de elementos fertilizantes que en su ausencia (28).

Le proporciona un color oscuro al suelo, que favorece la absorción de los rayos solares y, por lo tanto, un aumento de la temperatura. Actúa como un moderador de las variaciones térmicas en el suelo. Es el principal responsable de la granulometría del suelo, dando una mayor porosidad, favoreciendo la aireación y drenaje. Por su retención de agua, mantiene al suelo húmedo disminuyendo la evapotranspiración. El humus se considera un agente preventivo a la erosión (71).

Sirve de soporte a una multitud de microorganismos, que hacen del suelo un medio vivo. Estos microorganismos, que viven a expensas de él y contribuyen a su transformación, son tanto más numerosos y activos cuanto mayor cantidad existan en el suelo (27).

Frente a las plantas se manifiesta favoreciendo su nutrición mineral, mediante su descomposición gradual y lenta, por acción de los microorganismos del suelo se puede aprovisionar a las plantas en elementos nutritivos (28).

2.2.12.3 Composición del Lumbrihumus de *Eisenia Foétida*

La composición se observa en el Cuadro N°03.

Cuadro N°03: Composición química y biológica del Lumbrihumus de *Eisenia Foétida*

Composición química y biológica del Lumbrihumus de <i>Eisenia Foétida</i>
Nitrógeno total 1,95-2,2%
Fósforo 0,23 -1,8 %
Potasio 1,07-1,5%
Calcio 2,70 – 4,8 %
Magnesio 0,3 – 0,81 %
Hierro disponible 75 mg/l
Cobre 89 mg/kg.
Zinc 125 mg/kg.
Manganeso 455 mg/kg.
Boro 57,8 mg/kg.
Carbono orgánico 22,53 %
Ácidos húmicos 2,57 g Eq/100g
Hongos 1,500 c/g.
Levaduras 10 c/g
Actinomicetos total 170,000,000 c/g
Act. Quitinasa 100 c/g
Bacterias aeróbicas 460,000,000 c/g
Bacts. Anaeróbicas 450,000 c/g
Relación Aer./Anaer 1:1000

Fuente: (63)

2.2.12.4. Sustancias Húmicas (SH)

Comprenden una mezcla heterogénea de macromoléculas que son relativamente resistentes a la degradación y al ataque químico. Las SH se caracterizan por su color (desde el amarillo al negro), su variado peso molecular, la presencia de grupos funcionales oxigenados (carboxílicos, OH fenólicos y enólicos,

OH alcohólicos, y C=O de quinonas) y por ser altamente refractarias. Son ubicuas en el medio natural, encontrándose tanto en medioambientes terrestres como acuáticos, tal es así que representan el 60-70% de la materia orgánica del suelo y el 30-50% de la materia orgánica del agua superficial (31).

Se dividen en tres categorías, definidas operacionalmente debido a la heterogeneidad de estas, en función de su solubilidad en medios acuosos en función del pH: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), y humina (72).

2.2.12.4.1. Ácido Húmicos

Los Ácidos húmicos (HAs) comprenden una mezcla ácidos orgánicos de débiles alifáticos (cadenas de carbono) y aromáticos (Anillos de carbono) que no son solubles en agua bajo condiciones acidas, pero si son solubles en agua bajo condiciones alcalinas. Los ácidos húmicos consisten en esa fracción de sustancias húmicas que precipitan de soluciones acuosas cuando el pH disminuye bajo 2. Los ácidos húmicos (HAs) son polidispersores térmicos por sus características químicas variables. De un aspecto tridimensional estos carbonos complejos contienen componentes que son considerados polímeros lineales flexibles que existen como cadenas aleatorias con enlaces cruzados entre sí (73).

En promedio el 35% de las moléculas de ácido húmico (HA) son aromáticas (Anillos de carbono), mientras que los componentes que residuales son moléculas alifáticas (Cadenas de carbono). El tamaño molecular de HAs varían de 10,000 a 100,000 aproximadamente. Polímeros de HAs, se mezclan con arcilla para formar compuestos orgánicos estables de arcilla. Los poros periféricos en un polímero son capaces de acomodar fácilmente (unir) químicos orgánicos, naturales y sintéticos. Los ácidos húmicos (HAs) forman fácilmente sales con elementos minerales traza inorgánicos. Un análisis de los extractos de HAs ocurridos naturalmente va a revelar la presencia de más de 60 elementos minerales diferentes presentes. Estos elementos traza están unidos a las moléculas de HAs en una forma que puede usarse fácilmente por varios organismos vivos. Como resultado, la función de HAs es tan importante como los sistemas de intercambio de iones y sistemas de metales complejos (quelante) (28).

2.2.12.4.2. Ácidos Fúlvicos

Los Ácidos fúlvicos (FAs) son una mezcla de ácidos orgánicos (alifáticos débiles y aromáticos) que son solubles en agua en todas las condiciones de pH (ácido, neutral y alcalino). La composición y forma es variable. El tamaño de ácidos fúlvicos (FAs) son más chicos que los ácidos húmicos (HAs), con un peso molecular que varía de 1,000 a 10,000. FAs tienen un contenido de oxígeno dos veces mayor que el de HAs. Tiene muchos grupos carboxilos (COOH) e hidroxilos (COH), en consecuencia, los FAs son más químicamente reactivos. La capacidad de intercambio de FAs es el doble que el de HAs. Esta alta capacidad de intercambio se debe al número total de grupos carboxilos (COOH) presentes (63).

El número de grupos carboxilos presentados en FAs varía de 520 a 1120 cmol (H⁺)/kg. FAs que son colectados de diferentes lugares y son analizados, no muestran evidencia de grupos metoxi (CH₃), son bajos en fenoles y son menos aromáticos al ser comparados con HAs de los mismos lugares. Por el tamaño chico que presentan las moléculas de FA pueden entrar rápidamente a las raíces de plantas, tallos y hojas (74).

Mientras entran están plantas llevan minerales traza de la planta a la superficie de los tejidos de la planta. FAs son un ingrediente clave de fertilizantes foliares de alta calidad. Rociadores foliares contienen minerales quelatos FAs, en estados específicos del crecimiento de la planta, pueden ser usados como una técnica de producción primaria para maximizar la capacidad de productiva de la planta. Una vez aplicado al follaje de la planta, los FAs transportan minerales traza directamente a lugares metabólicos en las células de la planta. Los FAs son el compuesto quelante que contiene carbón, más efectivo conocido. Son compatibles con la planta, en consecuencia, no son tóxicos cuando son aplicados en concentraciones relativamente bajas (15).

2.2.12.4.3. Humatos

Los Humatos son sales metálicas (minerales) de HAs o FAs. Dentro de cualquier sustancia húmica hay un largo número de moléculas complejas de humatos. La formación de los humatos está basada en la habilidad de los grupos carboxilos (COOH) e hidroxilos (OH) (afuera de los polímeros) en desasociar (expulsar) los iones de hidrógeno. Una vez que los iones de hidrógeno son desasociados, resulta un anión cargado negativamente (COO⁻ -CO⁻). Dos de estos aniones puede unirse a cationes de metal positivo, como Hierro (Fe⁺⁺), Cobre (Cu⁺⁺),

Zinc (Zn^{++}), Calcio (Ca^{++}), Manganeso (Mn^{++}), Magnesio (Mg^{++}). La reacción simplificada ($COO + Fe^{++} \rightarrow COO Fe^+ + H$) procede a unir dos aniones, frecuentemente es un grupo $COOH$ y un grupo COH . La composición de humatos en cualquier sustancia húmica es específica para cada sustancia. Sin embargo, existe una larga variabilidad en la composición molecular de diferentes sustancias húmicas. Se espera que los humatos de diferentes depósitos minerales tengan características únicas (40).

2.2.13 Sustancias Húmicas y su Interacción con los Metales

Entre las sustancias húmicas, los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos poseen diferentes tipos de grupos funcionales a los cuales pueden enlazarse los iones. Hay dos grupos principales de grupos funcionales con particular importancia: grupos carboxílicos y fenólicos, que a su vez son los que otorgan las características ácidobase a estas sustancias (17).

También pueden estar presentes grupos amino, sulfhidrilos y quinonas, y poseer fuertes interacciones con trazas de iones metálicos. Sin embargo, como su número es mucho menor, su contribución al enlace de iones es también generalmente pequeño, aunque bajo ciertas condiciones puede ser sustancial (34).

Los intentos por encontrar modelos que describan el enlace de cationes (sobre todo metálicos, además del protón) a sustancias húmicas han comenzado hace varios años. Este tipo de modelos se enfoca en obtener la especiación de los iones metálicos en ambientes naturales, de manera directamente relacionada con los estudios de riesgo ambiental. Mientras que los primeros modelos fueron aceptablemente satisfactorios en la descripción de grupos de datos individuales, su alcance en términos de rango de pH, competencia de iones metálicos y fuerza iónica era a menudo limitado y no coincidían con el rango de condiciones encontradas en ambientes naturales. Las constantes de enlace de metal obtenidas eran condicionales, dependiendo su valor de las condiciones experimentales. Idealmente, las constantes de enlace deberían ser una propiedad intrínseca de la sustancia húmica, no variando con la química de la solución. La capacidad de tener en cuenta competición entre metal y protón y, sobre todo, entre dos metales resulta un desafío para dichos modelos (51).

Recientemente, se han desarrollado diversos modelos que intentan lidiar con las dificultades mencionadas anteriormente; éstos muestran una complejidad considerable y un alto número de parámetros. Sin embargo, esto es inevitable cuando se trata de sustancias húmicas: se origina en la complejidad propia del sistema. Las bases de esta complejidad son la heterogeneidad de sitios de enlace, la estequiometría variable de las reacciones de enlace y la presencia de interacciones electrostáticas (37).

Es muy complicado lograr una descripción molecular detallada completa de las SH, por ello se han empleado generalmente modelos simplificados para la interpretación de las curvas de titulación. Estos modelos suelen incluir una descripción de las constantes de unión intrínsecas en términos de una distribución (llamada distribución de afinidad, espectro de afinidad o distribución de constantes de enlace) y una contribución electrostática que tiene en cuenta el comportamiento coloidal de las SH (34).

Se asume que la distribución de afinidad intrínseca puede ser discreta (efectivamente similar a una mezcla de ácidos débiles) o continua, con alguna función de distribución propuesta, pero en ambos casos se incluyen dos tipos principales de grupos o sitios: sitios carboxílicos, con pKa en el rango de 3 a 5, y fenólicos, con pKa entre 8 y 10. Uno de los primeros modelos fue el modelo húmico Gaussiano, donde se aplicó una función bimodal gaussiana, que incluye los dos tipos mencionados, sin contribución electrostática (29).

Posteriormente se han desarrollado diversos modelos, que combinan una descripción de la distribución de afinidad con un submodelo electrostático que tiene en cuenta este tipo de interacciones (75).

2.2.14 Sustancias húmicas y su influencia en el crecimiento y desarrollo de la planta.

El crecimiento de la planta está influenciado indirectamente y directamente por las sustancias húmicas. La correlación positiva entre el humus contenido en el suelo, rendimiento de los cultivos y la calidad del producto han sido publicados en diferentes revistas científicas. Los efectos indirectos, que se expusieron indirectamente, son aquellos factores que proporcionan energía para los organismos beneficios del suelo, que influyen en la capacidad de retención de agua del suelo,

influyen en la estructura del suelo, liberan los nutrientes de las plantas de minerales suaves, incrementan la disponibilidad de minerales traza, y en general mejoran la fertilidad del suelo (76).

Los efectos directos incluyen cambios en el metabolismo de las plantas que se producen después de la absorción de macromoléculas orgánicas tales como ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Una vez que estos compuestos entran en las células de las plantas se producen varios cambios bioquímicos en las membranas y en los diversos componentes citoplasmáticos de las células vegetales. La captación de los principales nutrientes de las plantas esta medida por las sustancias húmicas. Un efecto estimulante de estas sustancias en el crecimiento de las plantas es la mejora de la absorción de nutrientes principales como: nitrógeno (N), fosforo (P), y potasio (K) (77).

Cuando las sustancias húmicas adecuadas están presentes en el suelo se reduce la necesidad de la aplicación de fertilizantes N, P, K. A medida que el nivel de sustancias húmicas en los suelos se agota, la demanda de mayores concentraciones de N, P, K aparece. Muchos productores han reportado en los últimos años la creciente demanda de fertilizantes solubles en acido con el fin de mantener el rendimiento de los cultivos. Estas observaciones indican que algo está mal en la tierra (25).

El aumento del filtrado de los ingredientes de nitrato en el agua subterránea es también una advertencia de problemas futuros. Estas tendencias reflejan la perdida de las sustancias húmicas del suelo. Los cultivadores podrían reducir sus necesidades de fertilizantes y retener los ingredientes de los fertilizantes en la zona de raíz de la planta con la aplicación de fertilizantes a base de humatos (78).

La aplicación de sustancias húmicas secas o liquidas al suelo aumenta dramáticamente la eficiencia del fertilizante. Otros investigadores han reportado el incremento de la absorción del calcio (Ca) y el magnesio (Mg) cuando las plantas se riegan con suspensiones liquidas de HAs o FAs. Otro mecanismo clave, que maximiza la eficiencia de los fertilizantes y su relación a la función de las sustancias húmicas, es la reducción en la toxicidad y filtrado de componentes nitrogenados al agua del subsuelo. Las sustancias húmicas tienen estos importantes nutrientes para las plantas en una forma molecular que reduce su solubilidad en agua. Estos

procesos de unión reducen el filtrado de nitrógeno en el subsuelo y previene la volatilización a la atmosfera (55).

Las sustancias húmicas tienen una influencia muy marcada en el crecimiento de raíces de las plantas. Cuando los HAs y/o FAs se aplican en el suelo, se observa la iniciación de la raíz y el crecimiento de la raíz. Por eso está la común observación que HAs y FAs son estimuladores de la raíz. La aplicación de sustancias húmicas dentro de un rango bastante amplio de concentraciones es altamente beneficioso para el desarrollo de la planta (79).

Los HAs y FAs son excelentes portadores de fertilizantes foliares y activadores. La aplicación de HAs o FAs en combinación con oligoelementos y otras nutrientes de las plantas, como rociadores foliares, puede mejorar el crecimiento del follaje de las plantas, raíces y frutos. Al aumentar los procesos de crecimiento de la planta dentro de las hojas se produce un aumento en el contenido de carbohidratos en las hojas y tallos. El aumento de carbohidratos puede ser detectado dentro de 24 a 48 horas después de la aplicación del rociador foliar mediante el uso de un refractómetro. Esta mejora en la producción de carbohidratos puede resultar en la mejora de la calidad del producto o en el incremento de la producción (80).

Los HAs y FAs tienen efectos directos en las membranas celulares de las plantas. Los ácidos HAs aumentan la permeabilidad, la facilidad en la que los elementos minerales se mueven hacia atrás y adelante a través de las membranas celulares, lo que resulta en un aumento de transporte de diversos nutrientes minerales a los sitios de necesidad metabólica (81).

Las sustancias húmicas influyen tanto sitios hidrófilos (que tiene afinidad por el agua) como hidrófobos (sin afinidad al agua) en las superficies de las membranas. Además, muchos científicos creen que los componentes fosfolipídicos de las membranas se alteran eléctricamente por sustancias húmicas. Como resultado de estos cambios eléctricos, la superficie de la membrana se vuelve más activa en el transporte de minerales traza desde fuera de la célula vegetal al citoplasma de la célula (82).

La energía del metabolismo se acelera y el contenido de clorofila de las hojas de las plantas se ve aumentada por la presencia de sustancias húmicas. Cuando los HAs y FAs se aplican a las hojas de las plantas el contenido de clorofila de estas

hojas aumenta. A medida que aumenta la concentración de clorofila hay un aumento correlacionado en la captación de oxígeno (83).

El desarrollo de clorofila en las hojas de plantas es más pronunciado cuando los FAs están presentes en el fertilizante foliar. Los ácidos orgánicos [HAs y FAs] también aumentan la concentración de los ácidos ribonucleico mensajero (ARN m) en las células vegetales. El ARN mensajero es esencial para muchos procesos bioquímicos dentro de las células (71).

La activación de varios procesos bioquímicos resulta en un aumento de la síntesis de enzimas y un aumento en el contenido de proteína de las hojas. Durante estos cambios metabólicos se detecta un aumento en la concentración de varias enzimas importantes. Algunas de las enzimas que se ha reportado que aumentan son: la catalasa, peroxidasas, diphenoloxidase, polifenoloxidasas, e invertasa. Estas enzimas activan la formación tanto de portador como de proteínas estructurales (84).

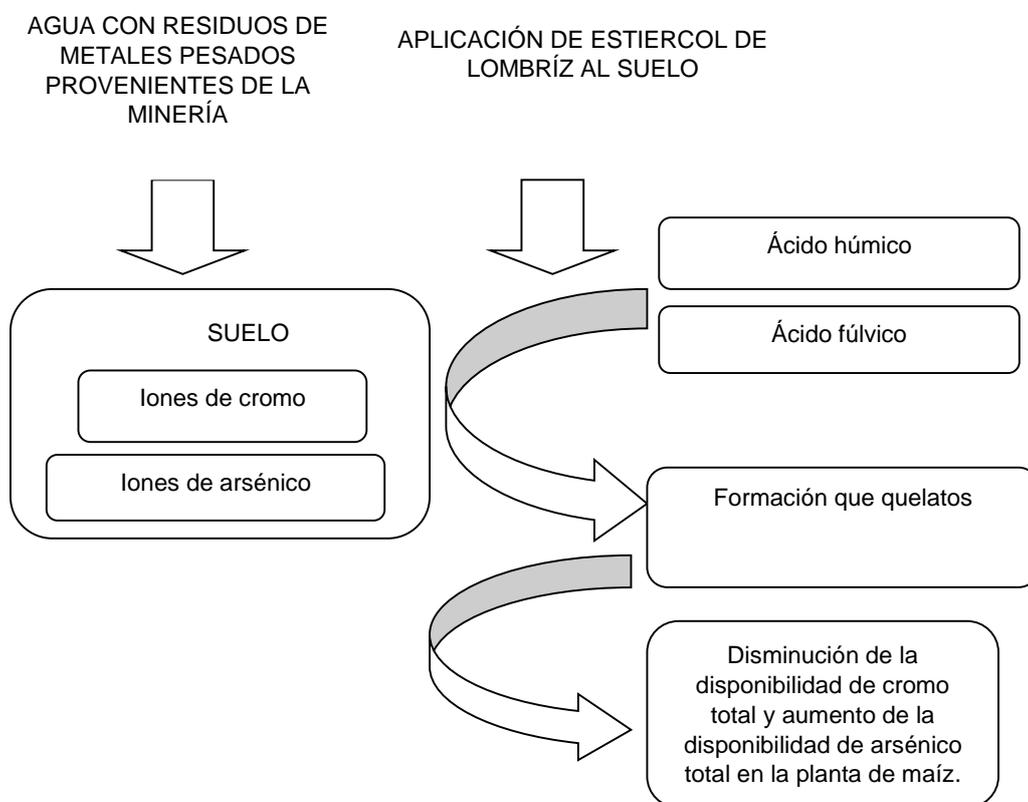
Las sustancias húmicas aumentan la producción del adenintrifosfato (ATP) dentro de las células vegetales. Como varios sistemas metabólicos son activados por las sustancias húmicas, se da un aumento en la producción de uniones de fosfato de alta energía (ATP). Los enlaces fosfato de alta energía del ATP funcionan como energía la cual es utilizada para muchas diferentes reacciones metabólicas (85).

Las sustancias húmicas proporcionan radicales libres a las células vegetales. Los radicales libres son "sitios activos" en los polímeros que funcionan como donantes de electrones. Los radicales libres contribuyen a ejercer efectos positivos sobre la germinación de la semilla, la iniciación de la raíz y el crecimiento de las plantas en general. Los radicales libres contienen uno o más electrones no apareados, son altamente reactivos, de corta duración, y capaces de participar en muchas reacciones diferentes (52).

El contenido de los radicales libres de las sustancias húmicas se relaciona con el estado de humificación de la sustancia húmica. Cuanto mayor sea la humificación (bajos índices H:C) más oscuro es el color del humus. Los HAs contienen un contenido de radicales libres más altos en comparación con los FAs, que tienen un alto índice H:C (86).

El contenido relativamente bajo de radical libre de FAs, está asociado con un alto índice H:C, que es indicador de un bajo grado de condensación química para estas sustancias. Los Has contienen dos tipos de radicales libres. La primera clase es un tipo permanente, estable que persiste durante períodos más largos. La segunda clase es un tipo paramagnético de transición que es transitorio. Cada tipo de radicales libres tiene una función específica (por ejemplo, catalizadores, fotosensitizador, y activadores) en varios procesos metabólicos dentro de las células vivas (65).

2.2.15 Modelo Teórico



Fuente: Elaboración propia

2.2.16 Base Legal

Constitución Política de Perú del año 1993; que en el artículo 2, hace mención sobre los derechos fundamentales de la persona; a la vida, a su bienestar, a su integridad moral, psíquica y física y a su libre desarrollo y bienestar; en el artículo 192, hace mención que, los gobiernos regionales promueven el desarrollo y la economía regional, fomentan las inversiones, actividades y servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y locales de desarrollo, en el cual se debe promover y regular actividades y/o servicios en materia de agricultura, pesquería, industria, agroindustria, comercio, turismo, energía, minería, vialidad, comunicaciones, educación, salud y medio ambiente, conforme a ley. (87).

Ley N°28611, Ley General del Ambiente; que en el artículo 66, hace mención de la salud ambiental; la prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritario en la gestión ambiental; la política nacional de salud incorpora la política de salud ambiental como área prioritaria, a fin de velar por la minimización de riesgos ambientales derivados de las actividades y materias comprendidas bajo el ámbito de ese sector. (88).

Estándar de calidad ambiental para Suelo, D.S N°011-2017-MINAM; que en el artículo 3, hace mención; de la superación de los ECA para suelo; de superarse los ECA para suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargos de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente. (89)

2.2.17 Lugar

El distrito de Orcotuna pertenece a la provincia de Concepción, se encuentra a una altitud de 3250 msnm y posee una superficie de 44 750 Km², se ubica en la margen derecha del río Mantaro y posee los siguientes límites: por el norte colinda con el distrito de Mito, por el sur colinda con el distrito de Sicaya, por el este colinda con el distrito de San Jerónimo de Tunán y por el Oeste colinda con el distrito de Manzanares y Chambará.

El distrito posee un suelo de origen aluvial; la morfología está determinada por el hundimiento del sub suelo, cubierto por un potente aluvión y las recientes terrazas a diferentes niveles formados por el río Mantaro, los detríticos de materiales gruesos erosionados por el mismo río, las áreas depresionadas, las laderas de depósito coluviales, las quebradas encajonadas y los desfiladeros; que marcan los procesos físicos más importantes donde se ubican los suelos. Como también el distrito posee diversas actividades económicas en las cuales resalta la agricultura, ganadería, caza y silvicultura con un total de 10310 pobladores (54.4%), así mismo en el distrito poseen 1977.16 hectáreas dedicadas a las actividades agrícolas, de las cuales 1496.96 hectáreas es de bajo riego y 480.23 en seco. Con respecto a los principales productos agrícolas, que son, la papa, el maíz, la quinua, la alcachofa y la cebada en grano; el maíz choclo (*Zea Maíz*), 255.04 hectáreas son con riego y 47.26 en seco. (90).

2.3 Definición de términos básicos

ABSORCIÓN: Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias y luego es transportado hacia otros órganos. (91)

ADENOSINA TRIFOSFATO (ATP): Es una molécula utilizada por todos los organismos vivos para proporcionar energía en las reacciones químicas. (92)

ADSORCIÓN: Proceso por el que el agua o cuerpos disueltos, materiales dispersos o coloides son atraídos y se concentran sobre la superficie de un sólido por enlaces físicos y químicos. (93)

CONTAMINACIÓN: Puede ser definida como un cambio indeseable en las características físicas, químicas y biológicas del aire, agua y suelo que afecta la vida humana, la vida de los otros organismos relacionados, útiles para la vida de plantas y animales, el progreso industrial, condiciones de vida y aspectos culturales (75).

CONTAMINANTE: Un contaminante es algo que interfiere adversamente a la salud, el confort, amenidades, características o ambiente de las personas. Generalmente, muchos contaminantes son introducidos al ambiente como aguas residuales, residuos, descargas accidentales o son sub-productos o residuos de la producción de algo útil. También son introducidos al ambiente como compuestos usados para proteger plantas y animales (63).

DESARROLLO SOSTENIBLE: Es un concepto definido en el Informe Brundtland de 1987, elaborado por distintas naciones y que se refiere al desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. La redacción de esta premisa supuso un cambio social, ambiental y económico importante que, además, aludía a discusiones morales sobre el medioambiente que nunca habían sido debatidas. (94)

DESORCIÓN: La desorción es la operación unitaria contraria a la absorción, en ella, un gas disuelto en un líquido es arrastrado por un gas inerte, siendo eliminado del líquido. (95)

EISENIA FOETICA: Es la lombriz roja de california, la cual tolera amplios rangos de pH, humedad y temperatura, donde es capaz de digerir diariamente su propio peso y excretar un 60% de excelente abono (humus de lombriz). (96)

INTERCAMBIO IÓNICO: Sustitución de un ión por otro en la superficie de determinadas sustancias. Es posible tanto el cambio de cationes como de aniones, aunque en medios naturales los procesos más comunes son los de cambio catiónico. Las arcillas y la materia orgánica del suelo son cambiadores iónicos naturales que contribuyen significativamente en los procesos de depuración de las aguas que atraviesan el suelo y los acuíferos. (97)

METALOIDES: Son los elementos que tienen propiedades intermedias entre metales y no metales, son, por ejemplo: semiconductores, es decir la corriente eléctrica la conducen, pero en mucho menos grado que los metales, Son los elementos semimetales: Boro, Silicio, Germanio, Arsénico, Antimonio. (98)

PROCESOS BIOGEOQUIMICOS: Se denomina al movimiento de cantidades masivas de carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, calcio, sodio, azufre, fósforo, potasio y otros elementos entre los seres vivos y el ambiente (atmósfera, biomasa y sistemas acuáticos) mediante una serie de procesos de producción y descomposición. En la biosfera la materia es limitada de manera que su reciclaje es un punto clave en el mantenimiento de la vida en la Tierra. (99)

QUELATACIÓN: Es la habilidad de un compuesto químico para formar una estructura en anillo con un ión metálico resultando en un compuesto con propiedades químicas diferentes a las del metal original. (El quelante impide que el metal siga sus reacciones químicas normales). (100)

RIZÓSFERA: Es una zona de interacción única y dinámica entre raíces de plantas y microorganismos del suelo. Esta región especializada, está caracterizada por el aumento de la biomasa microbiana y de su actividad. (101)

SUSTANCIAS HALOGENADAS: Son sustancias químicas orgánicas que contienen uno o varios átomos de un elemento halógeno (generalmente cloro, bromo e yodo). Pueden ser sustancias simples y volátiles como es el caso del triclorometano (cloroformo), o moléculas orgánicas complejas como las dioxinas y los furanos. (102)

TOXICIDAD: La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas. (91)

TRANSLOCACIÓN: Proceso de transporte de agua, minerales o nutrientes a larga distancia, mayoritariamente usado para referirse al transporte de nutrientes, (103)

VERTEDEROS: Se utilizan para eliminar excesos de carga o de agua acumulados en una estructura hídrica como presas o represas entre otras, lo cual se efectúa por encima de un muro o placa y a superficie libre (como un depósito).
(104)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método, y alcance de la investigación

3.1.1 Metodología de la investigación

3.1.1.1 Método general

El método general se establece por un método hipotético-deductivo, método en él hace mención que la teoría precede a los hechos, considerando que los constructos teóricos existentes determinan lo que debemos observar. Este método, propone la creación de hipótesis para dar respuesta a un fenómeno, seguido por la deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, finalizando con la corroboración de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia. **(105)**

En la investigación se formula la hipótesis del efecto de aplicación de diferentes dosis de estiércol de lombriz en la disponibilidad del cromo y arsénico en el cultivo de maíz.

3.1.1.2 Método específico

A) Campo:

- a. Elección de lugar: Se utilizó el método de observación directa a partir del estudio realizado por el proyecto "Fortalecimiento de la gestión ambiental para la lucha contra la contaminación en la zona alta y media de la cuenca del río Mantaro - Junín", durante 2007 y 2008.
- b. Delimitación de la parcela: Se aplicó el método de observación directa y se delimitó la parcela que tiene 8.75 hectáreas como se muestra en la Imagen N°01, y se detallan los vértices en el Cuadro N°04; por encontrarse en la ladera baja y muy próxima a la derecha del río Mantaro.



Imagen N°02: Mapa del área delimitada de 8.75 hectáreas, para la obtención de muestras de suelo.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°04: Coordenadas de los vértices del área delimitada

Vértice	Norte	Este
Punto 1	8677145	467739
Punto 2	8677032	467617
Punto 3	8676845	467631
Punto 4	8676835	467823
Punto 5	8676911	468000

- c. Muestreo de suelos: Se utilizó el muestreo de identificación, haciendo uso del método del zigzag, obteniendo 31 muestras de suelo de 1kg., haciendo un total de 31 kg.

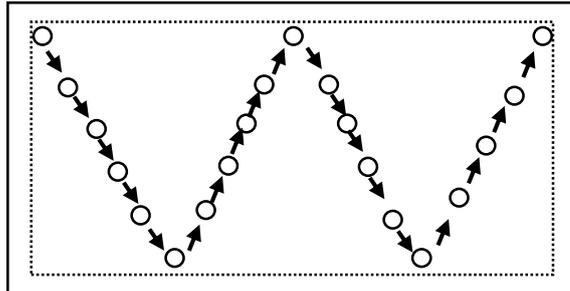


Imagen N°03: Método de zigzag para la obtención de muestras.

Fuente: Elaboración propia

- d. Preparación y envío de muestra de suelo: Se realizó el cuarteo, secado al aire libre, se separó un kg, y se envió la muestra de suelo para análisis de metales pesados, con los 30 kg restantes se hizo el experimento.
- e. Elección y compra de la semilla: Se realizó la elección del maíz amiláceo (*Zea mays L.*) INIA-606 "Choclero Prolífico".
- f. Compra del humus de lombriz de 10 kg. del Instituto Nacional de Investigación Agraria-INIA, Huancayo.
- g. Establecimiento y conducción del experimento
- g.1. Pesado del suelo: Se realizó el pesado de 2 kg de suelo, para cada tratamiento.
- g.2. Sembrado de la semilla de maíz: Se colocó 3 semillas por cada tratamiento, a una profundidad de 5 cm.
- g.3. Colocación del humus de lombriz: Se colocó en la superficie del suelo el humus de lombriz de acuerdo con las 5 dosis por tratamiento (0%, 5%, 10%, 15% y 20%).
- g.4. Riego: El riego se suministró cada 12 días iniciándose en el momento de la siembra.

h. Fin del experimento

h.1. Corte de la parte aérea a los 62 días.

h.2. Secado de las muestras de la parte aérea del maíz, a 80 °C por 24 horas.

h.3. Rotulado y envío de muestras de la materia seca de la parte aérea al laboratorio.

B) Gabinete

a. Comparación de los resultados de análisis de metales pesados del suelo con el ECA peruano para suelo, ECA canadiense y de Holanda.

b. Análisis de varianza de Duncan: El análisis de varianza se basa en la participación de la variabilidad total asociada al experimento en dos estimaciones independientes de varianza. **(106)** Se aplicó a la materia seca de la parte aérea del maíz.

c. Prueba de Duncan: La prueba de Duncan ajusta la diferencia crítica considerando si los dos promedios que se comparan son adyacentes o sí por el contrario existe uno o más medias entre las medias que se están comparando. **(106)**

3.1.2 Alcance de la Investigación

A) Tipo de Investigación: El tipo de investigación es aplicada, ya que el estudio se sustenta en la investigación teórica con la finalidad de aplicar las teorías existentes para buscar la solución de problemas más que la formulación de teorías que expliquen la realidad. Es por tal razón, la investigación aplicada busca conocer para hacer, actuar, construir y modificar una realidad problemática **(107)**.

B) Nivel Investigación: El nivel de la investigación es correlacional-causal, pues tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables. **(108)**.

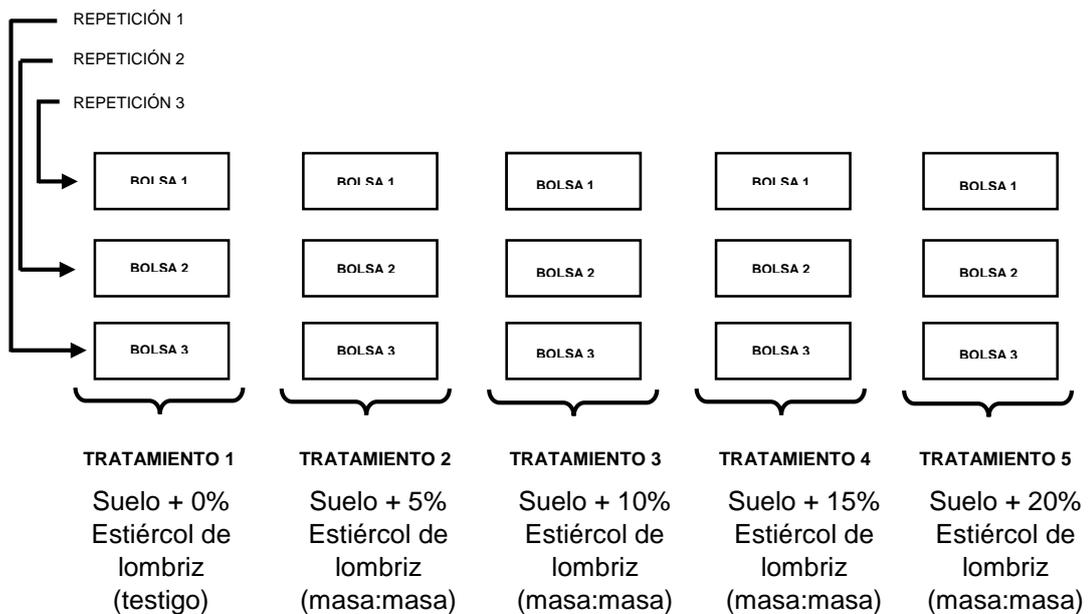
3.2. Diseño de la Investigación

Se utilizó el Diseño Cuasi Experimental, que es un diseño particularmente útil para estudiar problemas en los cuales no se puede tener control absoluto de las situaciones, pero se pretende tener mayor control posible, aun cuando se estén usando grupos ya formados. Es decir, es cuasiexperimento se utiliza cuando no es posible realizar la selección aleatoria de los sujetos participantes en dichos estudios. (109).

Por otra parte, la condición de homogeneidad de las unidades experimentales permite flexibilidad, en el sentido que los tratamientos puedan ser evaluados con un número de repeticiones diferente (38).

El número de tratamientos y repeticiones solo está restringido por el total de unidades experimentales disponibles en el experimento. Este tipo de experimentos es muy utilizado bajo condiciones de laboratorio, donde se puede garantizar que las unidades experimentales sean homogéneas, aunque también puede utilizarse bajo condiciones de invernadero, siempre y cuando se cumpla la condición de homogeneidad (110).

DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR DEL EXPERIMENTO



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población está conformada las 1496.96 hectáreas de suelo agrícola bajo riego, del distrito de Orcotuna.

3.3.2. Muestra

La muestra se realizó a criterio de experto el cual consiste, básicamente, en solicitar a una serie de personas la demanda de un juicio hacia un objeto, un instrumento, un material de enseñanza, o su opinión respecto a un aspecto concreto. El área muestreada tiene 8.75 hectáreas, del cual se extrajo 31 muestras de suelo.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

A. Técnicas

Espectrofotometría de adsorción atómica en llama para la determinación de metales pesados tanto para cromo y arsénico presentes en el suelo y en la planta.

B. Instrumentos

Espectrofotómetro de marca Thermo Electrón Corporation Serie SOLAAR M. para el análisis de metales pesados en la materia seca de la parte aérea de la planta.

Espectrofotómetro UV-Visible METROLAB Mod. 4200 para el análisis de metales pesados en el suelo

GPS marca Garmin, para la determinación de los vértices de la parcela.

Cámara digital para las evidencias fotográficas.

Balanza de capacidad máxima de un kilogramo, para el pesado de la muestra de suelo y la materia seca.

Horno, para el secado de las muestras de la parte aérea de la planta.

3.5 Técnicas de análisis de datos

Hoja de cálculo de Excel, versión 2016.

IBM SPSS Statistics 22.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información

4.1.1. Resultados del Análisis de Suelo del Experimento.

4.1.1.1. Características Físicoquímico del Suelo de Orcotuna

Las características físicoquímicas que se obtuvieron del análisis realizado por el laboratorio Valle Grande, Cañete, Perú, se muestran en el Cuadro N°05.

Cuadro N°05: Resultados del análisis fisicoquímico del suelo experimental – Orcotuna, 2016

Parámetro	Resultado
Textura:	
Arena (%)	47,28
Limo (%)	40,00
Arcilla (%)	12,72
Clase textural	Franco
Carbonato de Calcio (%)	17,71
Conductividad eléctrica (dS.m-1)	1,67
pH	7,76
Materia Orgánica	2,07 %
Nitrógeno total	0,12 %
Fósforo disponible	29,11 ppm
Potasio disponible	138,80 ppm
Cationes cambiables:	
Calcio	8,66 cmol/kg
Magnesio	2,36 cmol/kg
Sodio	0,16 cmol/kg
Potasio	0,34 cmol/kg
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva	11,52 cmol/kg

Fuente: muestra extraída de terrenos en descanso del distrito de Orcotuna en el 2016 – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande. Elaboración Propia

El suelo de Orcotuna tuvo textura media, con predominancia de la fracción de arena (47.28%), limo (40.00%) y arcilla (12.72%), con una clase textural de Franco.

El contenido de carbonato de calcio se encuentra en un 17.71%. La conductividad eléctrica se encuentra en 1.67 dS.m⁻¹. El pH es ligeramente alcalino 7.76, que permitiría una buena disponibilidad de nutrientes para la planta.

La materia orgánica presenta un valor de 2.07%, con un contenido de nitrógeno total de 0.12%, fosforo disponible de 29.11 ppm, potasio disponible 138.80 ppm.

La capacidad de intercambio catiónico, del calcio es de 8.66 cmol/kg, magnesio es 2.36 cmol/kg, sodio 0.16 cmol/kg y potasio de 0.34 cmol/kg; con una capacidad de intercambio catiónico efectiva de 11.52 cmol/kg. Estos datos califican al suelo de fertilidad media (Cuadro N°05).

Cuadro N°06: Resultados del análisis de metales pesados en el suelo del experimento – Orcotuna, 2016

Parámetro	Resultado
Mercurio total (mg/kg)	5.40
Cadmio total (mg/kg)	9.60
Arsénico total (mg/kg)	870
Cromo total (mg/kg)	43.01

Fuente: muestra extraída de terrenos en descanso del distrito de Orcotuna en el 2016 – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande. Elaboración: Propia.

4.1.1.2. Arsénico en el Suelo de Orcotuna

El análisis del contenido de arsénico total (870 ppm) en el suelo de Orcotuna, supera el ECA de suelos de Perú (50 ppm), Canadá (12 ppm) y Holanda (29 ppm), lo cual lo califica como suelo contaminado por este metal pesado. La concentración encontrada es bastante alta, superando en 17.4 veces el ECA de suelos de Perú, en 72.5 veces el ECA de suelos de Canadá y en 30 veces el ECA de suelos de Holanda. En este caso, las fuentes lo pueden constituir no solo las fuentes de agua de riego del río Mantaro, sino también los agroquímicos en general, utilizados en los cultivos que se siembran en estos suelos, los cuales aportan arsénico al suelo (Cuadro N°06, Gráfico N°01).

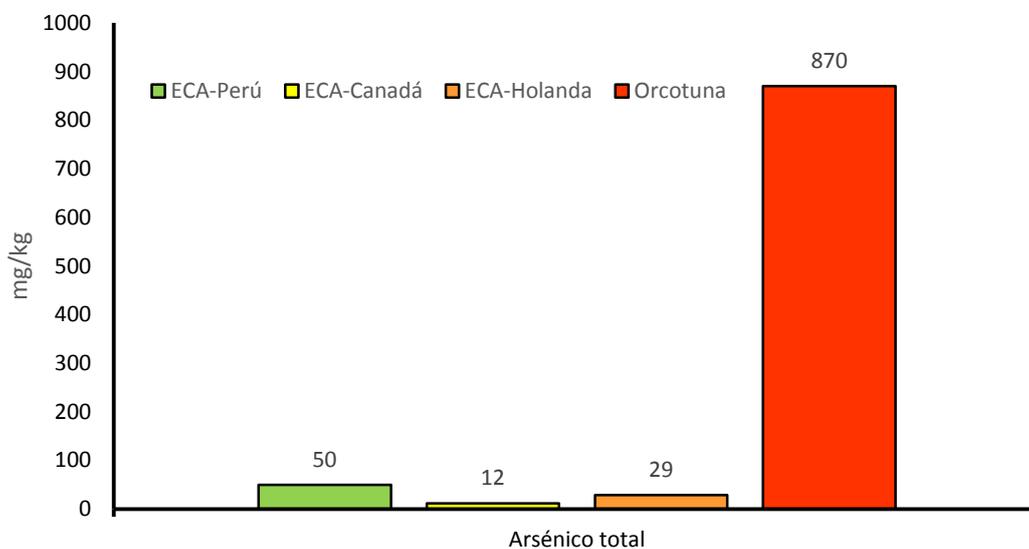


Gráfico N°01: Contenido de arsénico en el suelo de Orcotuna, comparado a los estándares de calidad ambiental de Perú, Canadá y Holanda.

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Cromo en el Suelo de Orcotuna

El contenido de cromo total en el suelo de Orcotuna (43,01 ppm), no supera el ECA de suelos de Canadá (64 ppm) y Holanda (100 ppm), lo que estaría calificándolo como suelo no contaminado. Las concentraciones de cromo en este suelo se encuentran en valores permisibles para los organismos vivos. No se tomó en cuenta el ECA de suelos del Perú, porque no lo reporta, solo presenta el ECA para Cromo VI (Gráfico N°02).

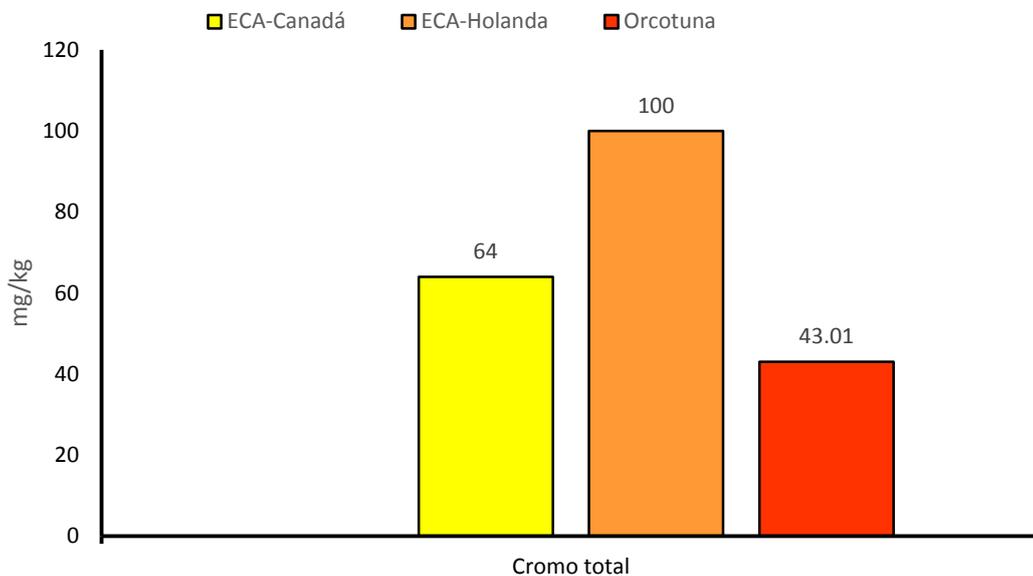


Gráfico N°2: Contenido de cromo en el suelo de Orcotuna, comparado a los estándares de calidad ambiental de Perú, Canadá y Holanda.

4.1.2. Resultados del Análisis de Estiércol de Lombriz utilizado en el experimento.

Se utilizó, el lombricompost, vermicompost o humus de lombriz que es un producto, resultado de la ingestión y digestión de diferentes residuos orgánicos por parte de la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*).

Se utilizó como sustrato para el vermicompost el estiércol de bovino con un envejecimiento de 6 meses.

Cuadro N°07: Resultados del análisis físico-químico del estiércol de lombriz

Parámetro	Resultado
Carbonato de Calcio	< 0,01%
Conductividad eléctrica	1,99 (dS.m ⁻¹)
pH	6,91
Humedad	51,93%
Materia Orgánica	23,85 %
Nitrógeno total	1,54 %
Fósforo total	0,60 %
Potasio total	0,08 %
C/N	9,01
Calcio total	1,81%
Magnesio total	0,26 %
Azufre total	0,12 %
Sodio total	0,01 %
Cloro total	< 0.01 %
Cobre total	17,30 ppm
Zinc total	157,00 ppm
Manganeso total	315,00 ppm
Hierro total	1854 ppm
Boro total	24,92 ppm

Fuente: Estiércol de lombriz adquirido y producido en la provincia de Huancayo – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande.
Elaboración: Propia.

Los resultados del análisis físico-químico del estiércol de lombriz, utilizado en el presente experimento, como una fuente de enmienda orgánica, presenta contenido bajo de carbonato de calcio (< 0,01%), bajo contenido de sales solubles, evidenciado por la baja Conductividad Eléctrica (1,99 dS.m⁻¹), el pH está en el rango de la neutralidad (6,91), un contenido de humedad de 51,93%; un contenido alto de materia orgánica (23,85%) si lo comparamos con los niveles de materia orgánica presente en los suelos (alto contenido materia orgánica en el suelo: > 4%); el nitrógeno total en el estiércol de lombriz tiene valor alto, comparado a un suelo (nitrógeno alto en el suelo: > 0,2%); el contenido de fósforo total (0,60%) y de potasio total (0,08%) son bajos, revelando su bajo aporte de estos nutrientes al suelo, pues el estiércol de lombriz, como todo abono orgánico es un mejorador de suelo por excelencia (Ferruzi, 2001), antes que un compuesto que aporta nutrientes al suelo.

La relación C/N del estiércol de lombriz utilizado en este experimento es bajo (9,01) y revela la buena calidad del compost, pues para lograr esta relación C/N la descomposición ha sido completa y le va a conferir al suelo las mejoras en sus propiedades, como fuente orgánica descompuesta.

La concentración de los demás elementos nutrientes de las plantas (calcio, magnesio, azufre, cloro, cobre y zinc), presentes en el estiércol de lombriz, presenta valores relativamente bajos y corrobora su bajo poder de aporte de nutrientes, siendo un mejorador de suelos por excelencia (Guerrero, 1993).

Cuadro N°08: Resultados del análisis de metales pesados en el estiércol de lombriz

Parámetro	Resultado
Cadmio total (mg/kg)	0,40
Cromo total (mg/kg)	2,86
Arsénico total (mg/kg)	21,65
Mercurio total (mg/kg)	1,16

Fuente: Estiércol de lombriz adquirido y producido en la provincia de Huancayo – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande.
Elaboración Propia

Según el Cuadro N°08 los resultados del análisis de metales en el estiércol de lombriz, el cadmio total es de 0,40 mg/kg, cromo total de 2,86 mg/kg, arsénico total de 21,65 mg/kg, mercurio total de 1,16 mg/kg.

4.1.3 Resultados del Análisis de la Planta de Maíz.

Cuadro N°09: Resultados del análisis de metales en la parte aérea del cultivo de maíz.

Tratamiento	Repetición	Cr total	As total
		(mg/kg)	(mg/kg)
1 (testigo)	I	11,60	0,53
	II	7,40	0,71
	III	10,07	0,77
2 (suelo + 5% Estiércol de lombriz)	I	4,37	1,25
	II	4,69	1,04
	III	2,70	1,02
3 (suelo + 10% estiércol de lombriz)	I	1,81	1,61
	II	1,90	1,32
	III	2,52	1,78
4 (suelo + 15% estiércol de lombriz)	I	1,89	1,54
	II	2,51	2,52
	III	1,91	1,83
5 (suelo + 20% estiércol de lombriz)	I	2,47	2,11
	II	1,97	2,23
	III	3,00	3,66

Fuente: muestra extraída de la parte aérea de las plantas de maíz cultivadas en condiciones de invernadero con 62 días de desarrollo – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande.

Elaboración: Propia.

El contenido del metal pesado cromo, y el metaloide arsénico en la parte aérea de la planta de maíz, representan la cantidad de estos elementos disponibles en el suelo, que la planta pudo absorber, después del tratamiento del suelo con diferentes dosis de estiércol de lombriz, el cromo total varió de 1,81 a 11,60 mg/kg, el arsénico total estuvo en el rango de 0,53 a 3,66 mg/kg. (Cuadro N°09).

4.2. Prueba de Hipótesis y Discusión de Resultados

4.2.1. Estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Cromo en el Maíz

En el estudio nos planteamos la hipótesis que “El estiércol de lombriz reduce la disponibilidad de cromo en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción – 2016”.

Para poder comprobar la hipótesis planteada, procedimos a realizar el análisis de varianza con su respectiva significancia bilateral y la prueba de comparación múltiple de Duncan, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$).

ANÁLISIS DE VARIANZA:

Las hipótesis estadísticas son:

H₀: El nivel de cromo es igual entre los 5 tratamientos

H₁: El nivel de cromo es diferente entre los 5 tratamientos

Cuadro N°10: Análisis de varianza del contenido de cromo total en la parte aérea de las plantas de maíz.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	4	125,925	31,481	25,392	<0,0001
Error Experimental	10	12,398	1,240		
Total	14	138,323			

Fuente: muestra extraída de la parte aérea de las plantas de maíz cultivadas en condiciones de invernadero con 62 días de desarrollo – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande.
Elaboración: Propia.

En el cuadro N°10, se obtiene un p-valor de 0,0001, que es menor a 0,05; con este resultado rechazamos la hipótesis nula, de forma que afirmamos que el nivel de cromo es diferente entre los 5 tratamientos.

PRUEBA DE DUNCAN:

Las hipótesis estadísticas son:

H0: El nivel de cromo para cada uno de los tratamientos, es igual a la media de cromo de todos los tratamientos.

H1: El nivel de cromo para cada uno de los tratamientos, es diferente a la media de cromo de todos los tratamientos.

Cuadro N°11: Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de cromo total en la parte aérea de plantas de maíz.

Orden de Mérito	Tratamiento	Cromo (mg/kg)	Significación
1	1 (suelo+0% EL)	9,6900	A
2	2 (suelo+5% EL)	3,9200	B
3	5 (suelo+20% EL)	2,4800	B
4	4 (suelo+15% EL)	2,1033	B
5	3 (suelo+10% EL)	2,0767	B

Fuente: muestra extraída de la parte aérea de las plantas de maíz cultivadas en condiciones de invernadero con 62 días de desarrollo – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande.
Elaboración propia

En el cuadro N°11, se obtiene un nivel de significancia de “b” para la mayoría de los tratamientos; con este resultado rechazamos la hipótesis nula, de forma que afirmamos que el nivel de cromo para cada uno de los tratamientos es diferente a la media de cromo de todos los tratamientos.

Este resultado; indica que la aplicación de las dosis de estiércol de lombriz, si influyeron en la absorción de cromo por las plantas de maíz, como indicador de la disponibilidad de este metal pesado en el suelo.

Concluimos que; con los resultados obtenidos se ha validado la hipótesis planteada que “El estiércol de lombriz reduce la disponibilidad de cromo en la parte aérea de la planta de maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción – 2016”.

4.2.2. Estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Arsénico en el Maíz

En el estudio nos planteamos la hipótesis que “El estiércol de lombriz reduce la disponibilidad de arsénico en el maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción – 2016”.

Para poder comprobar la hipótesis planteada, procedimos a realizar el análisis de varianza con su respectiva significancia bilateral y la prueba de comparación múltiple de Duncan, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha= 0.05$).

ANÁLISIS DE VARIANZA:

Las hipótesis estadísticas son:

H₀: El nivel de arsénico es igual entre los 5 tratamientos

H₁: El nivel de arsénico es diferente entre los 5 tratamientos

Cuadro N°122: Análisis de varianza del contenido de arsénico total en la parte aérea de las plantas de maíz.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	4	7,146	1,787	8,248	0,0033
Error Experimental	10	2,166	0,217		
Total	14	9,312			

Fuente: muestra extraída de la parte aérea de las plantas de maíz cultivadas en condiciones de invernadero con 62 días de desarrollo – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande.

Elaboración: Propia.

En el cuadro N°12, se obtiene un p-valor de 0,0033, que es menor a 0,05; con este resultado rechazamos la hipótesis nula, de forma que afirmamos que el nivel de arsénico es diferente entre los 5 tratamientos.

PRUEBA DE DUNCAN:

Las hipótesis estadísticas son:

H0: El nivel de arsénico para cada uno de los tratamientos, es igual a la media de arsénico de todos los tratamientos.

H1: El nivel de arsénico para cada uno de los tratamientos, es diferente a la media de arsénico de todos los tratamientos.

Cuadro N°13: Prueba de comparación múltiple de Duncan para el contenido de arsénico total en la parte aérea de plantas de maíz.

Orden de Mérito	Tratamiento	Arsénico (mg/kg)	Significación
1	1 (suelo+0% EL)	0,6700	a
2	2 (suelo+5% EL)	1,1033	a b
3	3 (suelo+10% EL)	1,5700	b
4	4 (suelo+15% EL)	1,9633	b c
5	5 (suelo+20% EL)	2,6667	c

Fuente: muestra extraída de la parte aérea de las plantas de maíz cultivadas en condiciones de invernadero con 62 días de desarrollo – procesado por el laboratorio de química agrícola, Valle Grande.
Elaboración: Propia.

En el cuadro N°13, se obtiene un nivel de significancia de “b” y “c” para la mayoría de los tratamientos; con este resultado rechazamos la hipótesis nula, de forma que afirmamos que el nivel de arsénico para cada uno de los tratamientos es diferente a la media de arsénico de todos los tratamientos.

Este resultado; indica que la aplicación de las dosis de estiércol de lombriz, si influyeron en la absorción de arsénico por las plantas de maíz, como indicador de la disponibilidad de este metal pesado en el suelo.

Concluimos que; con los resultados obtenidos se ha validado la hipótesis planteada que “El estiércol de lombriz aumenta la disponibilidad de arsénico en la parte aérea del maíz cultivado en suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, Concepción – 2016”.

4.3. Discusión de Resultados

4.3.1. Estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Cromo

En el estudio encontramos que la aplicación de estiércol de lombriz reduce la disponibilidad de cromo en el maíz; esto podría responder a los mecanismos de secuestro de los iones de cromo por el ácido húmico y fúlvico presentes en el estiércol de lombriz que reduce la cantidad de cromo absorbible por la planta en el suelo; las sustancias húmicas, representan un reservorio significativo de donantes de electrones para la reducción de Cr, se dan reacciones de reducción entre varios iones inorgánicos y el ácido húmico, la tasa de reducción aumenta considerablemente al aumentar $[H^+]$.

De forma similar Gikas, P. et al, encuentra que el Cr (VI) muestra más fitotoxicidad cuando es absorbida por las plantas, interfiere con varios procesos metabólicos y su toxicidad para las plantas se muestra reduciendo la germinación de las semillas, las plantas con poco crecimiento y la acumulación inadecuada de fitomasas, esto agrava la posterior degradación de los pigmentos, el retraso en el crecimiento y, finalmente, la muerte de las plantas; todas estas reacciones son limitadas con la colocación de enmiendas orgánicas al suelo (37).

Asimismo, Pandey, N. evidencia que el Cr es un agente potencial de estrés oxidativo, que induce daño oxidativo a lípidos y proteínas, produce cambios en la actividad de las enzimas antioxidantes, y perturba el equilibrio hídrico en diversas plantas; la forma de proteger a los cultivos de estos iones, es utilizando compost además de fertilizantes inorgánicos. El ácido húmico del suelo puede reducir el Cr (VI) en el rango de pH de 2 a 7 (33).

Así también, Liu, D. encuentra que las plantas de maíz hiperacumulan varios metales pesados y el Cr es uno de ellos, este metal genera una reducción clara en el crecimiento de la raíz, los cambios en el crecimiento de las raíces se extrapolan en sucesión a los otros síntomas fitotóxicos del brote; sin embargo ante la presencia de ácidos húmicos y fúlvico, la concentración de cromo en la planta se reduce de forma considerable y la planta se desarrolla con normalidad (17).

En general, la alteración inducida por Cr de las actividades fisiológicas en todas las plantas comienza con el desarrollo de la enfermedad y el mal funcionamiento de

la fisiología de la raíz que se manifiesta, para perjudicar las actividades fotosintéticas, la relación del agua, la translocación de solutos orgánicos, etc. como se informó en cultivos de cereales; en el 85% de cultivos tratados con sustancia húmicas los efectos tóxicos del cromo desaparecieron porque los iones fueron retenidos en el suelo (111).

El estrés oxidativo causado por Cr u otros metales pesados como una fitotoxicidad severa de todas las maneras posibles limita el crecimiento y desarrollo exitoso de las plantas, no obstante, los suelos tratados con compost y otras enmiendas orgánicas mostraron una considerable disminución de los efectos tóxicos del cromo (36).

4.3.2. Estiércol de Lombriz y la Disponibilidad de Arsénico

En el estudio encontramos que la aplicación de estiércol de lombriz aumenta la disponibilidad de arsénico en el maíz; esto podría responder a la formación de complejos moleculares entre metales y ácidos húmicos; los aniones sulfato y nitrato presentes en las sustancias húmicas interactúan con los metales disponibles reduciendo significativamente las cantidades de arsénico disponible en el suelo que pudiera ser absorbida por la planta.

De forma semejante Antelo, J. encuentra que diversos cultivos en suelos afectados por la polución de residuos mineros, que habían sido previamente tratados con compost y otras enmiendas orgánicas reducían la cantidad de arsénicos en diferentes partes de la planta. También destaca que al utilizar fertilizantes con fósforo y hierro, se da la formación del sistema complejo humate-ferrihidrita-caolinita que afecta la reactividad del ferrihidrito hacia arsenito y arseniato, causando una disminución en el máximo de adsorción, así como también en la afinidad de las superficies adsorbentes hacia ambos (40).

Así, mismo Dave, R. halla que la aplicación de humus de lombriz altera el pH del suelo, y esto modifica la actividad del arsénico frente a diversos cultivos; la acumulación de As en el grano de maíz aumentó al aumentar el pH del suelo. El As es mucho más biodisponible en condiciones alcalinas y se acumula fácilmente en el grano de maíz en estas condiciones (26).

Así también Ding, C. en cultivos experimentales expuestos a diversas concentraciones de arsénico y tratados con sustancias húmicas, evidencia que la adsorción tanto del arseniato cargado negativamente como del ácido arsénico no cargado, principalmente no aislado, se vio afectado de manera similar por la cobertura húmica. Esto sugiere que, en el sistema actual, la repulsión electrostática podría desempeñar un papel secundario en comparación con la ocupación de parte de los sitios de adsorción por humato, posiblemente por el impedimento estérico de las moléculas húmicas grandes (15).

También McBride, M, observa que los ácidos húmicos presentes como carboxilos, fenólicos, carbonilos y otros grupos funcionales interactúan con metales pesados y arsénico de diversas formas, que incluyen: intercambio iónico con cationes metálicos; formación de sales heteropolares complejas con cationes metálicos; y la formación de complejos con aniones, que incluyen formas aniónicas de metales (16).

De la misma manera Zhao, F, encuentra que los ácidos húmicos en forma de concentrados minerales húmicos funcionan bien para la inmovilización de arsénico aniónico. La eficacia de la inmovilización con arsénico en las pruebas de laboratorio fue de 76% a 91%, según el nivel inicial de contaminación del suelo. Mediante la inmovilización con arsénico, es posible reducir el impacto tóxico del arsénico en las semillas y las plantas. Además, afirma que se incrementó la germinación de la semilla y se redujo el contenido de arsénico en las plantas mediante el tratamiento con ácido húmico (24).

CONCLUSIONES

1. La aplicación de estiércol de lombriz, afecta en la disponibilidad de cromo y el arsénico en las partes aéreas del maíz cultivado en suelos agrícolas expuestos a polución de residuos mineros.
2. La aplicación de estiércol de lombriz reduce la disponibilidad de cromo en las partes aéreas del maíz cultivado en suelos agrícolas expuestos a polución de residuos mineros; el cromo total (mg/kg) varió en el rango de 1,81 a 11,60, tras el empleo de 5 %,10%,15% y 20 % de volumen de estiércol de lombriz en el sustrato de cultivo.
3. La aplicación de estiércol de lombriz aumenta la disponibilidad de arsénico en las partes aéreas del maíz cultivado en suelos agrícolas expuestos a polución de residuos mineros; el arsénico total (mg/kg) varió en el rango de 0,53 a 3,66, tras el empleo de 5 %,10%,15% y 20 % de volumen de estiércol de lombriz en el sustrato de cultivo.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios sobre el efecto de la utilización de estiércol de lombriz en la disponibilidad de metales pesados y metaloides en diferentes cultivos, y a diferentes niveles de pH del suelo.
2. Evaluar en las diferentes etapas fenológicas en el cultivo de maíz, en relación con los metales cromo y arsénico.
3. Se recomienda la utilización del humus de lombriz en el cultivo de maíz, con fines de fitorremediación para un suelo contaminado con arsénico, por el contrario, no hacer uso de este abono orgánico, si los fines son de alimentación.
4. Evaluar el comportamiento de los ácidos húmicos y ácido fúlvicos en la disponibilidad de los metales pesados en el cultivo de maíz.
5. Caracterizar las enmiendas orgánicas a usar, para no introducir contaminantes como metales pesados en diferentes cultivos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. **GRUPO DE TRABAJO DE AMBIENTE Y ECOLOGÍA PERIODO ANUAL DE 2008-2009.** *El Problema de Salud Pública Ambiental del Túnel Kingsmill.* Lima : Informe Parlamentario, 2008. p. 5.
2. **MONGE PALOMINO, Yuri.** *Identificación de Fuentes de Contaminación en la cuenca del río Mantaro.* S/L : Ministerio del Ambiente, 2009.
3. **SALAZAR, Milagros.** La República. [Online] Noviembre 16, 2007. <http://www.larepublica.pe>.
4. **LOPEZ ACEVEDO, J.; PORTA, M. y ROQUERO, C.** *Edafología.* España : Mundi Prensa Libros S.A, 1994. 8471144689.
5. **ZHAO, F.J.; ROONEY, C.P.; ZHANG, H. y MCGRATH, S.P.** 2006, *Comparison of soil solution speciation and diffusive gradients in thin-films measurement as an indicator of copper bioavailability to plants.* Environmental Toxicology and Chemistry , Vol. 25, 3, pp. 733-742.
6. **HIRZEL CAMPOS, Juan y SALAZAR SPERBERG, Francisco.** *Uso de Enmiendas Orgánicas como fuente de Fertilización en Cultivos.* Chile : s.n., 2011. p. 10.
7. **ROSTRÁN MOLINA, Jorge L. y CARRIÓN DELGADO, Juan R. .** *Determinación de dosis de humus de lombriz para el óptimo desarrollo en el cultivo de Pipián (Cucúrbita pepo).* Nicaragua : s.n., 2003.
8. **BOECHAT, C.; PISTÓIA, V.; LUDTKE, A. y GIANELLO, C.** 2016 *Solubility of Heavy Metals/Metalloid on Multi-Metal Contaminated Soil Samples from a Gold Ore Processing Area: Effects of Humic Substances.*, Rev. Bras. Cienc. Solo, Vol. 40, pp. 1-10.
9. **DEL POZO, C.** *Impacto de la minería en la producción agropecuaria en el Perú, impactos heterogéneos y determinación de los canales de transmisión.* Centro de Estudios Regionales Andinos "Bartolomé de las Casas", Consorcio de investigación económica y social. 2015. [INFORME TÉCNICO].
10. **AZABACHE LEYTÓN, Andrés A.** *Aplicación de enmiendas orgánicas en la disponibilidad de cromo en un suelo contaminado de Orcotuna, Concepción, Junín.* Junín : s.n., 2016.
11. **BARCELÓ J. y POSCHENRIEDER CH.** 1992 *Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados.* Barcelona, Suelo y Planta, Vol. 2, pp. 345-362.
12. **BURLAKOV, J; KLAVINS, M; OSINSKA, L. y PURMALIS, O.** 2013, *The Impact of Humic Substances as Remediation Agents to the Speciation Forms of Metals in Soil.*, APCBEE Procedia, Vol. 5, 1, pp. 192 – 196.
13. **Organización Mundial de la Salud.** OMS. [Online] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>.

14. **Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.** ATSDR. [Online] https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html.
15. **CHANGFENG, Ding; XIAOGANG, Li; TAOLIN, Zhang; YIBING, Ma y XINGXIANG, Wang.** 2014, *Phytotoxicity and accumulation of chromium in carrot plants and the derivation of soil thresholds for Chinese soils.*, *Ecotoxicol Environ Saf*, Vol. 108, 1, pp. 179 – 186.
16. **MCBRIDE, MB; SIMON, T; TAM, G y WHARTON, S.** 2013, *Lead and arsenic uptake by leafy vegetables grown on contaminated soils: effects of mineral and organic amendments.*, *Water Air Soil Pollut*, Vol. 224, 1, pp. 1370 - 1378.
17. **LIU, D.; ZOU, J.; WANG, M. y JIANG, W.** 2008, *Hexavalent chromium uptake and its effects on mineral uptake, antioxidant defense system and photosynthesis in Amaranthus viridis L.*, *Bioresourc. Technol*, Vol. 99, 1, pp. 2628 - 2636.
18. **YU, Y.; YUAN, S. y WAN, Y.** 2017, *Effect of Humic Acid-based Amendments on Exchangeable Cadmium and its Accumulation by Rice Seedlings.*, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Vol. 36, 5, pp. 1308 - 1313.
19. **CUEVAS, Gabriela y WALTER, Ingrid.** 2004, *Metales pesados en maíz (Zea mays L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual.*, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Vol. 20, 2, pp. 59-68.
20. **HERRERA APABLAZA, Venecia; CARRASCO FARÍAS, Cristian; SANDOVAL CÁRCAMO, Patricia y CORTÉS CARVAJAL, Claudia.** 2017, *Transferencia de arsénico en el sistema agua-suelo-maíz de Zea mays L. cultivados en la quebrada de Camiña, norte de Chile.*, *Chile, Revista de la Sociedad Química del Perú*, Vol. 83, 1, pp. 52-64.
21. **CHAAB, A.; MOEZZI, A.; SAYYA, O y CHOROM, M.** 2013, *Alleviation of Cadmium Toxicity to Maize by the Application of Humic acid and Compost.*, *Life Science Journal*, Vol. 13, 12, pp. 56 - 63.
22. **PARK, S.; SEOB, K. y KANG, D.** 2013, *Effects of humic acid on heavy metal uptake by herbaceous plants in soils simultaneously contaminated by petroleum hydrocarbons.*, *Environ Earth Sci*, Vol. 68, 2, pp. 2375 – 2384.
23. **HASSNAPOUR, H. y KAMAJIAN M.** 2014, *Effects Cd accumulation abilities of annual alfalfa (Medicago scutellata L.) by humic acid and growth promoting bacteria association.*, *Iranian Journal of Plant Physiology*, Vol. 5, 1, pp. 1243 - 1247.
24. **ZHAO, FJ.; MCGRATH, SP. y MEHARG, AA.** 2010, *Arsenic As A Food Chain Contaminant: Mechanisms Of Plant Uptake And Metabolism And Mitigation Strategies.*, *Annu Rev Plant Biol* , Vol. 61, 1, pp. 535 – 559.
25. **MANNING, B.A. y GOLDBERG, S.** 1995, *Modelling competitive adsorption of arsenate with phosphate and molybdate on oxide minerals.*, *Soil Science Society of America Journal Abstract*, Vol. 60, 1, pp. 121 – 131.
26. **DAVE, R.; SINGH, P.; TRIPATHI, P.; SHRI, M. y DIXIT, G.** 2013, *Arsenite tolerance is related to proportional thiolic metabolite synthesis in rice (Oryza sativa L.).*, *Arch Environ Contam Toxicol*, Vol. 64, 2, pp. 235 – 242.
27. **LIEBEKE, M.** 2013, *Earthworms Produce phytochelatins in Response to Arsenic.*, *Plos One* , Vol. 8, 2, pp. 1 - 13.
28. **KHWAIRAKPAM, M. y BHARGAVA R.** 2009, *Vermitechnology for sewage sludge recycling.*, *J. Hazard. Mater*, Vol. 161, 2, pp. 948 - 954.

29. **KANG, J.; ZHANG Z. y WANG J.** 2011, *Influence of humic substances on bioavailability of Cu and Zn during sewage sludge composting.*, Bioresour. Technol., Vol. 102, 17, pp. 8022 - 8026.
30. **CONTAMINACIÓN DEL SUELO.** Tesis en red. [Online] <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11036/Tasm03de16.pdf>.
31. **HOCKNER, M.; DALLINGER, R. y STÜRZENBAUM S.** 2015, *Metallothionein gene activation in the earthworm (Lumbricus rubellus).*, Biochemical And Biophysical Research Communications , Vol. 460, 1, pp. 537 - 542.
32. **SUTHAR, S.** 2010, *Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology.*, Ecol. Eng., Vol. 36, 2, pp. 1028 - 1036.
33. **PANDEY, N. y SHARMA, C.** 2003, *Chromium interference in iron nutrition and water relations of cabbage.*, Environ. Exp. Bot, Vol. 49, 2, pp. 195 - 200.
34. **HAIT, S. y TARE V.** 2012, *Transformation and availability of nutrients and heavy metals during integrated composting-vermicomposting of sewage sludge.*, Ecotoxicol. Environ. Saf. , Vol. 79, pp. 214 - 224.
35. **GOSWAMI, L.** 2014, *Vermicomposting of Tea Factory Coal Ash: Metal accumulation and metallothionein response in Eisenia fetida (Savigny) and Lampito mauritii (Kinberg).*, Bioresour. Technol. , Vol. 166, 3, pp. 96 - 102.
36. **WANG, B.; SHEU, H. y GUO, Y.** 2010, *Hexavalent chromium induced ROS formation, Akt, NF-kappaB, and MAPK activation, and TNF-alpha and IL-1alpha production in keratinocytes.*, Toxicol. Lett, Vol. 198, 3, pp. 216 - 224.
37. **GIKAS, P. y ROMANOS, P.** 2006, *Effects of trivalent (Cr (III)) and hexa-valent (Cr (VI)) chromium on the growth of activated sludge.*, J. Hazard Mater. , Vol. 133, 3, pp. 212 - 217.
38. **FIGUEROA, A.** *Introducción a la metodología experimental.* Guadalajara : PEARSON, 2014.
39. **ESTHER CUBEROS, Alba; RODRIGUEZ, I. y PRIETO, Edgar.** 2009, *Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembre en Bogotá, Colombia.*, Colombia, Revista de Salud Pública, Vol. 11, 2, pp. 278-289.
40. **ANTELO, J.; AVENA, M.; FIOL, S.; LOPEZ, R. y ARCE, F.** 2005, *Effects of pH and ionic strength on the adsorption of phosphate and arsenate at the goethite-water interface.*, J Colloid Interface Sci , Vol. 285, 2, pp. 475 – 486 .
41. **RESEARCHGATE.** DISPONIBILIDAD DE LOS METALES PESADOS EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA. [Online] https://www.researchgate.net/profile/Edmundo_Acevedo/publication/44129713_METALES_PESADOS_Y_BIODISPONIBILIDAD/links/5490f0be0cf225bf66a99c37/METALES-PESADOS-Y-BIODISPONIBILIDAD.
42. **RIECHAMAN M. S.** *The Responses of Plants to metals Toxicity: A Review Focusing on Copper, Manganese and Zinc.* S/L : Australian Minerals and Energy Environment Foundation, 2002. pp. 1-55.
43. **PÉREZ GONZÁLEZ, Gustavo.** *Disponibilidad de Metales Tóxicos en Sitios Contaminados.* España : Universidad Autónoma de Barcelona, 2005.

44. **GOBIERNO DE CHILE-MINISTERIO DE AGRICULTURA SAG.** *Criterios de calidad de suelo agrícola.* Chile : s.n., 2005.
45. **KABATA PENDIAS, Alina.** *Trace elements in soils and plants.* USA : Third Edition. CRC Press-Boca Raton, 2000.
46. **GONZÁLEZ M., S.** *Chapter 17: Copper upper critical levels for plants on copperpolluted soils and the effect of organic additions.* Northwood : Biochemistry of trace elements. Science and Technology Letters, 1995.
47. **SILVA, C.** *Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos. Tesis Mestre em Agronomia, área de concentração: Solos e nutrição de plantas.* . Brazil : s.n., 2004.
48. **RIEUWERTS J.S.; THONTON I.; FARAGO M. y ASHMORE M.R.** *Factors influencing metals bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals.* s.l. : Chemical Speciation and Bioavailability, 1998.
49. **KRISHNAMURTI G.S.R.; CIESLINSKI,G.; HUANG, P.M. y VAN REES, K.C.J.** 1996, *Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: Implication in cadmium availability,* Journal of Environmental Quality Abstract, Vol. 26, 1, pp. 271-277.
50. **ISLAM, MN. DAS, BK. HUQUE, ME.** 2012, *Arsenic accumulation in common vegetables from irrigation.,* J Sci Res , Vol. 4, 2, pp. 675 – 688 .
51. **GUSTAFSSON, JP.** 2006, *Arsenate adsorption to soils: modelling the competition from humic substances.,* Geoderma, Vol. 136, 1-2, pp. 320 – 330.
52. **JACOBS, L.W.; SYERS, JK. y KEENEY, D.** 1970, *Arsenic sorption by soils.,* Soil Sci Soc Am J, Vol. 34, 5, pp. 750 – 754.
53. **RIVETTA, A. y NEGRINI, N.** 1997, *Involvement of Ca toxicity during the early phases of radish (Raphanus sativus L.) seed germination.,* Plant Cell Environ, Vol. 20, 1, pp. 600 – 608.
54. **DEMUYNCK, S.; GRUMIAUX, Fabien; MOTTIER, Violaine; SCHIKORSKI, David; LEMIERE, Sebastian y LEPRETRE Alain.** 2006, *Metallothionein response following cadmium exposure in the oligochaete Eisenia fetida.,* Comparative Biochemistry And Physiology, Vol. 144, 1, pp. 34 - 46.
55. **XIA, YS.; CHEN, BD.; CHRISTIE, P.; SMTHF, A.; WANG, YS. y LI, XL.** 2007, *Arsenic uptake by arbuscular mycorrhizal maize (Zea mays L.) grown in an arsenic-contaminated soil with added phosphorus.,* Journal of Environmental Sciences, Vol. 19, 10, pp. 1245 – 1251.
56. **VALDÉS, R. y BALBÍN, M.I.** *Fitorremediación para metales pesados. Principios de una tecnología en desarrollo.* Cuba : Universidad Agraria de la Habana, 2008.
57. **DIEZ, L.** *Fiotocorrección de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas.* España : Universidad de Santiago de Compostela, 2008.
58. **MARRERO COTO,Jeannette; AMORES SANCHEZ, Isis y COTO PÉREZ, Orquídea.** 2012, *Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental.,* Cuba, ICIDCA, Vol. 46, 3, pp. 52-61.
59. **BODY, R.S.; DAVIS, M.A. y BALKWILL, K.** 2008, *Elemental patterns in Ni hyperaccumulating and non-hyperaccumulating ultramafic soil populations of Senecio coronatus.,* South African Journal of Botany.74, Vol. 74, 1, pp. 158-162.

60. **MOJIRI, A.** 2011, *The Potential of Corn (Zea mays) for Phytoremediation of Soil Contaminated with Cadmium and Lead.*, J. BIOL. ENVIRON. SCI, Vol. 5, 13, pp. 17 - 22.
61. **ALIYU, H.** 2014, *The potential of maize as phytoremediation tool of heavy.*, European Scientific Journal, Vol. 10, 6, pp. 1857 - 1864.
62. **AZIZIAN, A.** 2007, *Phytoremediation Potential of Corn and Oat for Increased Levels of Soil Cadmium under Different Irrigation Intervals.*, Republic of Iran, Iran Agricultural Research, Vol. 30, 1, pp. 121 - 132.
63. **CAI, Q.; MO, C.; WU, Q.; ZENG, Q y KATSOYIANNIS, A.** 2007, *Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge-composts.*, Journal Of Hazardous Materials, Vol. 147, 3, pp. 1063 - 1072.
64. **FLORIJN, P. y VAN BEUSICHEM, M.** 1993, *Cadmium distribution in maize inbred lines – Effects of pH and level of Cd supply.*, Plant Soil, Vol. 153, 1, pp. 79 – 84.
65. **ZHAO, RX.; GUO, W.; BI N.; GUO, JY.; WANG, LX.; ZHAO, J. y ZHANG, J.** 2015, *Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (Zea mays L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress.*, Applied Soil Ecology, Vol. 88, pp. 41 – 49.
66. **Ministerio del Ambiente.** *Guía para muestreo de suelos.* Perú : s.n., 2014.
67. **LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, VALLE GRANDE.** MEF-017. Perú, S/F. Método de análisis.
68. **LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, VALLE GRANDE..** MEF-018. Perú, S/F. Método de análisis.
69. **LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, VALLE GRANDE..** MEF-025. Perú, S/F. Método de análisis.
70. **LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, VALLE GRANDE..** MEF-026. Perú, S/F. Método de análisis.
71. **SONG, X.; LIU, M.; WU, D.; QI, L.; YE, CH.; JIAO, J. y HU, F.** 2014, *Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues.*, Waste Management, Vol. 34, 11, pp. 1977 - 1983.
72. **GARG, V. y GUPTA Y.** 2011, *Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using Eisenia fetida.*, Ecotoxicol. Environ. Saf, Vol. 74, 1, pp. 19 - 24.
73. **SAHARIAH, B.; GOSWAMI, L.; KIM, K.;BHATTACHARYYA, P. y BHATTACHARYA S.** 2015, *Metal remediation and biodegradation potential of earthworm species on municipal solid waste: A parallel analysis between Metaphire posthuma and Eisenia fetida.*, Bioresour. Technol., Vol. 180, pp. 230 - 236.
74. **SEREGIN, I. y IVANOV, V.** 1998, *The transport of cadmium and lead ions through root tissues.* Moscow, Russ. J. Plant Physiol, Vol. 45, pp. 780 – 785.
75. **BOLAN, N.; MAHIMAIRAJA, S.; KUNHIKRISHNAN, A. y CHOPPALA, G.** 2013, *Phosphorus-arsenic interactions in variable-charge soils in relation to arsenic mobility and bioavailability.*, Science of The Total Environment, Vols. 463-464, 1, pp. 1154 – 1162.

76. RAHMAN, M.A.; HASEGAWA, H.; RAHMAN, M.M.; MAZID MIAH, M.A. y TASMIN, A. 2008, *Arsenic accumulation in rice (Oryza sativa L.): human exposure through food chain.*, *Ecotoxicol Environ Saf*, Vol. 69, 2, pp. 317 – 324.
77. DUAN, G.; LI, W.; CHEN, X.; HU, Y. y ZHU, Y. 2013, *Association of arsenic with nutrient elements in rice plants.*, *Metallomics*, Vol. 5, 7, pp. 784 – 792.
78. AMIR, S.; HAFIDI, M.; MERLINA, G. y REVEL, J. 2005, *Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge.*, 2005, *Chemosphere*, Vol. 59, 6, pp. 801- 810.
79. ROMERO, E.; PLAZA, C.; SENESI, N.; NOGALES, R. y POLO A. 2007, *Humic acid-like fractions in raw and vermicomposted winery and distillery wastes.*, *Geoderma*, Vol. 139, 3-4, pp. 397 - 406.
80. DING, C.; ZHOU, F.; LI, X.; ZHANG, T. y WANG, X. 2015, *Modeling the transfer of arsenic from soil to carrot (Daucus carota L.)—a greenhouse and field-based study.*, *Environ Sci Pollut Res*, Vol. 22, 14, pp. 10627 – 10635.
81. ZHAO, F.J.; MA, J.F.; MEHARG, A.A. y MCGRATH, S.P. 2009, *Arsenic uptake and metabolism in plants.*, *New Phytol*, Vol. 181, 4, pp. 777 – 794.
82. SHARMA, V. y SATYANARAYAN S. 2011, *Effect of selected heavy metals on the histopathology of different tissues of earthworm Eudrillus eugeniae.*, *Environ Monit Assess*, Vol. 180, 1-4, pp. 257 - 267.
83. SAHOO, PK. y KIM, K. 2013, *A review of the arsenic concentration in paddy rice from the perspective of geoscience.*, *Geosci J*, Vol. 17, 1, pp. 107–122.
84. TONG, J.; GUO, H. y WEI, C. 2014, *Arsenic contamination of the soil-wheat system irrigated with high arsenic groundwater in the Hetao Basin, Inner Mongolia, China, China*, *Sci Total Environ*, Vol. 496, pp. 479 – 487.
85. LIU, K.; LV, J.; HE, W.; ZHANG, H.; CAO, Y. y DAI, Y. 2015, *Major factors influencing cadmium uptake from the soil into wheat plants.*, *Ecotoxicol Environ Saf*, Vol. 113, pp. 207 – 213.
86. MA, R.; SHEN, J.; WU, J.; TANG, Z.; SHEN, Q. y ZHAO, F-J. 2014, *Impact of agronomic practices on arsenic accumulation and speciation in rice grain.*, *Environ Pollut*, Vol. 194, pp. 217 – 223.
87. ESTADO PERUANO. *Constitución Política de Perú del año 1993*. Lima : s.n., 1993.
88. ESTADO PERUANO. *Ley General del Ambiente*. Lima : s.n., 2005.
89. ESTADO PERUANO. *Estándar de calidad ambiental para Suelo*. Lima : s.n., 2017.
90. IV CENSO NACIONAL AGROPECUARIO 2012. INEI. [Online] 2012. <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/?id=CensosNacionales>.
91. Ministerio del Ambiente. *Glosario de términos- Sitios Contaminados*. Perú : s.n., S/F.
92. COENZIMA. Coenzima.com. [Online] https://www.coenzima.com/adenosina_trifosfato_atp.
93. Glosario de Riego. Riego.org. [Online] <https://www.riego.org/glosario/tag/adsorcion/>.
94. IMF Business School. IMF-formacion.com. [Online] <https://www.imf-formacion.com/blog/corporativo/gestion-empresarial/que-es-desarrollo-sostenible/>.

95. **Industria e Ingeniería Química.** Industriaquimica.net. [Online]
<http://www.industriaquimica.net/absorcion-y-desorcion.html>.
96. **Inversa Compostaje y Lombricultura.** Inversanet.wordpress.com. [Online]
<https://inversanet.wordpress.com/2011/05/19/lombriz-roja-eisenia-foetida/>.
97. **L. Moreno.** *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno.* España : Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2003.
98. **CDIGITAL.DGB.UANL.MX.** Cdigital.[Online]
http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020082327/1020082327_012.pdf.
99. **GARCÍA HUAMAN, Flor Teresa .** *Ciclos Biogeoquímicos.* S/L : s.n., 2011.
100. **WALCO, S.A.** *Todo sobre los Quelatos.* Colombia : s.n., S/F.
101. **STECIOW, Mónica.** Rizósfera. [Online] <https://www.mendoza-conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Rizosfera.htm>.
102. **Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.** PRTR. [Online] España.
<http://www.prtr-es.es/Compuestos-Organicos-Halogenados-AOX,15627,11,2007.html>.
103. **Info Jardin.** InfoJardin.net. [Online]
<http://www.infojardin.net/glosario/tobera/translocacion.htm>.
104. **SCRIBD.** Es.scribd.com. [Online]
<https://es.scribd.com/document/354811998/DEFINICION-DE-VERTEDEROS-docx>.
105. **QUICENO SERNA, Yesenia .** *El método crítico de Karl Popper: La Falsabilidad como criterio de demarcación entre la ciencia y la metafísica.* S/L : s.n., S/F.
106. **FALLAS, Jorge.** *Análisis de Varianza-Comparando tres o más medias.* S/L : s.n., 2012.
107. **VALDERRAMA, S.** *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica.* 1°. Lima : Prisma, 2002.
108. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la investigación.* México : s.n., 2010.
109. **SEGURA CARDONA, Angela María.** DISEÑOS CUASIEXPERIMENTALES. [Online]
http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/renacip/disenos_cuasiexperimentales.pdf.
110. **CARRASCO, S.** *Metodología de la Investigación Científica.* 1°. Lima : San Marcos, 2006.
111. **DHIR, B.; SHARMILA, P.; PARDHA SARADHI, P. y NASIM, S.** 2009, *Physiological and antioxidant responses of Salvinia natans exposed to chromium-rich wastewater.*, Ecotoxicol. Environ. Saf., Vol. 72, 6, pp. 1790 - 1797.
112. **SPURGEON, D.** 2004, *Responses of earthworms (Lumbricus rubellus) to copper and cadmium as determined by measurement of juvenile traits in specifically designed test system.*, Ecotox. Environ. Safe. , Vol. 57, 2, pp. 54 - 64.
113. **GUTIÉRREZ, C.** *Introducción a la metodología experimental.* 2°. México DF : LIMUSA, 1998.

114. **SANITA DI TOPPI, L. GABBRIELLI, R.** 1999, *Response to cadmium in higher plants.*, Environ. Exp. Bot. , Vol. 41, 2, pp. 105 –130.

ANEXOS

1. CUADROS DE DATOS ORIGINALES
2. PANEL FOTOGRÁFICO
3. INFORMES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

CUADROS DE DATOS ORIGINALES

Cuadro N°01: Datos originales de altura de planta (cm).

Repeticiones	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
I	10.333	17.333	31.000	30.667	28.333
II	13.333	16.667	30.333	29.000	31.000
III	12.333	22.667	22.667	27.333	33.333

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°02: Datos originales de materia seca de la parte aérea (g).

Repeticiones	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
I	12.828	13.351	15.071	16.283	14.103
II	13.100	14.330	16.526	14.379	15.131
III	12.874	14.818	15.312	14.429	15.730

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°03: Datos originales de longitud de raíz (cm).

Repeticiones	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
I	4.145	5.003	2.706	3.724	3.283
II	3.923	3.645	4.388	3.285	3.694
III	3.673	3.720	2.884	4.043	2.613

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°04: Datos originales de materia seca de raíz (g).

Repeticiones	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
I	7.467	13.233	16.167	26.267	24.567
II	8.333	12.867	25.200	23.900	26.700
III	10.133	13.533	14.800	25.600	24.600

Fuente: Elaboración propia

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N°01: Cultivo de maíz, a los 22 días después de la siembra.



Fotografía N°02: Cultivo de maíz, a los 62 días después de la siembra. Tratamiento 1.



Fotografía N°03: Cultivo de maíz, a los 62 días después de la siembra. Tratamiento 2.



Fotografía N°04: Cultivo de maíz, a los 62 días después de la siembra. Tratamiento 3.



Fotografía N°05: Cultivo de maíz, a los 62 días después de la siembra. Tratamiento 4.



Fotografía N°06: Cultivo de maíz, a los 62 días después de la siembra. Tratamiento 5.

INFORMES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO



SOLICITANTE : MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION
 PREDIO : MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION
 MATRIZ : SUELO INVESTIGACION

ANÁLISIS N° : 707-015 -2016
 LUGAR : HUANCAYO
 FECHA DE RECEP. : 12/07/2016

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN MUESTRA : M: SUELO INVESTIGACION

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Textura				
Arena	47.28	%		
Limo	40.00	%		
Arcilla	12.72	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	ARCILLOSA ARENOSA			
Porcentaje de Saturación de Agua	40.32	%	MES - 002	Gravimétrico
Carbonato de Calcio Total	17.71	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	1.67	dS / m	MES - 004	Electrométrico
pH (1/1) a Temp = 21.7 °C	7.76		MES - 005	Electrométrico
Fósforo Disponible	29.11	ppm	MES - 006	Olsen
Materia Orgánica	2.07	%	MES - 007	Walkley y Black
Nitrógeno Total	0.12	%	MES - 008	Kjeldahl
Potasio Disponible	138.80	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
Cationes Cambiables				Extractante:Ac. Amonio
Calcio	8.66	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	2.36	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.16	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.34	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
P.S.I.	1.43	%	MES - 015	Cálculo Matemático
C.I.C.E	11.53	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

DONDE:

E.S : Extrato de Saturación.
 (1/1) : Relación Masa del Suelo / Volumen del Agua.
 P.S.I : Porcentaje de Sodio Intercambiable.
 C.I.C.E : Capacidad de Intercambio Cationico: Elctivo.

% : Masa / Masa
 ppm : mg / Kg
 MES : Método Propio del Laboratorio.
 FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama.

NOTA:

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
 JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
 DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular
 Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
 Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
 Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe

INFORME DE ENSAYO

N° - METALES PESADOS

SOLICITANTE	: MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION	CÓDIGO DE MUESTRA	: 707-01S -2016
DIRECCIÓN	: HUANCAYO	MUESTREADO POR	: CLIENTE
FECHA DE INICIO	: 19/07/2016	TIPO DE MUESTRA	: SUELO
FECHA FINAL	: 04/08/2016	FECHA DE INGRESO	: 12/07/2016
LOTE	: M: SUELO INVESTIGACION	FECHA DE EMISIÓN	: 25/08/2016

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - METALES PESADOS

MUESTRA : M: SUELO INVESTIGACION

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Plomo Total (Pb)	1955.00	mg / Kg	MES - 023	FAAS
Cadmio Total (Cd)	9.60	mg / Kg	MES - 024	FAAS
Cromo Total (Cr)	43.01	mg / Kg	MES - 025	FAAS
Arsénico Total (As)	870.00	mg / Kg	MES - 026	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	5.40	mg / Kg	MES - 027	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Plomo Total (Pb)	0.83	mg / Kg	FAAS
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsénico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frío

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.


MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO


MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

SOLICITANTE : MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION

ANÁLISIS N° : 707-01EOS

PREDIO : MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION

LUGAR : HUANCAYO

MATRIZ : HUMUS

FECHA DE RECEP. : 12/07/2016

INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA ORGÁNICA SÓLIDA - NUTRICIONAL
MUESTRA : M: HUMUS DE LOMBRIZ

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
pH a Temp = 21.6 °C (E.S)	6.91		LQA - ME - 005	Electrométrico
Conductividad Eléctrica a 25 °C.(E.S.)	1.99	dS/m	LQA - ME - 004	Electrométrico
Carbonato de Calcio	< 0.01	%	LQA - ME - 003	Gravimétrico
Humedad	51.93	%	LQA - ME - 017	Gravimétrico
Materia Orgánica	23.85	%	LQA - ME - 018	Gravimétrico
Carbono Orgánico	13.84	%	-----	-----
Cenizas Totales	4.22	%	LQA - ME - 021	Gravimétrico
Impurezas	20.00	%	LQA - ME - 022	Gravimétrico
Nitrógeno Total (N _T)	1.54	%	LQA - ME - F01	Kjeldahl
Fósforo Total (P)	0.60	%	LQA - ME - F02	Colorimétrico
Potasio Total (K)	0.08	%	LQA - ME - F03	FAAS
Calcio Total (Ca)	1.81	%	LQA - ME - F04	FAAS
Magnesio Total (Mg)	0.26	%	LQA - ME - F05	FAAS
Azufre Total (S)	0.12	%	LQA - ME - F07	Turbidimétrico
Sodio Total (Na)	0.01	%	LQA - ME - F06	FAAS
Cloro Total (Cl)	< 0.01	%	LQA - ME - F08	Argentométrico
Cobre Total (Cu)	17.30	ppm	LQA - ME - F09	FAAS
Zinc Total (Zn)	157.00	ppm	LQA - ME - F10	FAAS
Manganeso Total (Mn)	315.00	ppm	LQA - ME - F11	FAAS
Hierro Total (Fe)	1854.00	ppm	LQA - ME - F12	FAAS
Boro Total (B)	24.92	ppm	LQA - ME - F13	Colorimétrico
C / N	9.01		-----	-----

Los resultados están expresados en muestra original.

DONDE:

% : Masa / Masa

ppm : mg / Kg

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

LQA - ME : Métodos propios del Laboratorio

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.



MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO




MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO



INFORME DE ENSAYO

Nº - 707-01EOS METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION** CÓDIGO DE MUESTRA : **707-01EOS-2016**
 DIRECCIÓN : **HUANCAYO** MUESTREADO POR : **CLIENTE**
 FECHA DE INICIO : **19/07/2016** TIPO DE MUESTRA : **HUMUS**
 FECHA FINAL : **04/08/2016** FECHA DE INGRESO : **12/07/2016**
 LOTE : **M: HUMUS DE LOMBRIZ** FECHA DE EMISIÓN : **23/08/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA ORGÁNICA SÓLIDA - METALES PESADOS

MUESTRA : M: HUMUS DE LOMBRIZ

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Plomo Total (Pb)	24.40	mg / Kg	MEEOS - 033	FAAS
Cadmio Total (Cd)	0.40	mg / Kg	MEEOS - 034	FAAS
Cromo Total (Cr)	2.86	mg / Kg	MEEOS - 035	FAAS
Arsénico Total (As)	21.65	mg / Kg	MEEOS - 036	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	1.16	mg / Kg	MEEOS - 037	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Plomo Total (Pb)	0.83	mg / Kg	FAAS
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsénico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Líama
 HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
 CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 1 - I**

CODIGO DE MUESTRA : **902-01F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 1 - I

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	1.33	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	11.60	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	0.53	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 1 - II**

CODIGO DE MUESTRA : **902-02F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 1 - II

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	1.21	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	7.40	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	0.71	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION** CODIGO DE MUESTRA : **902-03F -2016**
 DIRECCIÓN : **HUANCAYO** MUESTREADO POR : **CLIENTE**
 FECHA DE INICIO : **05/09/2016** TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
 FECHA FINAL : **21/09/2016** FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
 LOTE : **MUESTRA: 1 - III** FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 1 - III

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	1.62	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	10.07	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	0.77	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
 HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
 CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
 MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 2 - I**

CODIGO DE MUESTRA : **902-04F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 2 - I

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	1.19	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	4.37	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.25	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 2 - II**

CODIGO DE MUESTRA : **902-05F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 2 - II

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	2.28	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	4.69	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.04	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION** CODIGO DE MUESTRA : **902-06F -2016**
 DIRECCIÓN : **HUANCAYO** MUESTREADO POR : **CLIENTE**
 FECHA DE INICIO : **05/09/2016** TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
 FECHA FINAL : **21/09/2016** FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
 LOTE : **MUESTRA: 2 - III** FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 2 - III

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.74	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	2.70	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.02	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
 HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
 CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
 MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú
 Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563
 Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 3 - I**

CODIGO DE MUESTRA : **902-07F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 3 - I

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	1.11	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.81	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.61	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 3 - II**

CODIGO DE MUESTRA : **902-08F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 3 - II

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.73	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.90	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.32	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 3 - III**

CODIGO DE MUESTRA : **902-09F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 3 - III

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	1.32	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	2.52	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.78	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 4 - I**

CODIGO DE MUESTRA : **902-10F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 4 - I

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.66	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.89	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.54	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 4 - II**

CODIGO DE MUESTRA : **902-11F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 4 - II

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.93	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	2.51	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	2.52	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 4 - III**

CODIGO DE MUESTRA : **902-12F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 4 - III

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.64	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.91	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	1.83	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 5 - I**

CODIGO DE MUESTRA : **902-13F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 5 - I

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	1.11	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	2.47	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	2.11	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION**
DIRECCIÓN : **HUANCAYO**
FECHA DE INICIO : **05/09/2016**
FECHA FINAL : **21/09/2016**
LOTE : **MUESTRA: 5 - II**

CODIGO DE MUESTRA : **902-14F -2016**
MUESTREADO POR : **CLIENTE**
TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 5 - II

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.82	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.97	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	2.23	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe



INFORME DE ENSAYO

Nº - METALES PESADOS

SOLICITANTE : **MANUEL ENRIQUE BUSTAMANTE CARRION** CODIGO DE MUESTRA : **902-15F -2016**
 DIRECCIÓN : **HUANCAYO** MUESTREADO POR : **CLIENTE**
 FECHA DE INICIO : **05/09/2016** TIPO DE MUESTRA : **PLANTAS DE MAIZ**
 FECHA FINAL : **21/09/2016** FECHA DE INGRESO : **01/09/2016**
 LOTE : **MUESTRA: 5 - III** FECHA DE EMISIÓN : **21/09/2016**

INFORME DE ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL - METALES PESADOS

MUESTRA : MUESTRA: 5 - III

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.82	mg / Kg	MEF - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	3.00	mg / Kg	MEF - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	3.66	mg / Kg	MEF - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	< 0.03	mg / Kg	MEF - 019	CVAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

LIMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC) :

PARÁMETRO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	TÉCNICA
Cadmio Total (Cd)	0.08	mg / Kg	FAAS
Cromo Total (Cr)	1.67	mg / Kg	FAAS
Arsenico Total (As)	0.03	mg / Kg	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	0.03	mg / Kg	CVAAS

Donde:

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama
 HGAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros
 CVAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
 MEF : Método propio del Laboratorio.

NOTA:

- 1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
- 2: Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin la autorización del Laboratorio de Química Agrícola.

MSc. Quím. Alexis Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO



MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Promotora de Obras Sociales y de Instrucción Popular

Panamericana Sur Km. 144, San Vicente de Cañete, Lima - Perú

Teléfono: (511) 581 2261 | Celular: 991 692 563

Email: laboratorio@vallegrande.edu.pe | Web: www.vallegrande.edu.pe