



Universidad  
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Aplicación de sedimentos de piscigranja en un suelo  
contaminado y su efecto en la disponibilidad de arsénico  
y crecimiento de Ryegrass (*Lolium perenne*), distrito  
El Mantaro, Jauja, 2016**

**Liz Cecilia Huamancaja Palomino**

Huancayo, 2018

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

La presente investigación tuvo un largo desarrollo de aprendizajes, la cual no hubiera sido posible culminarlo sin la ayuda de instituciones y personas, a quienes tengo que darle toda mi gratitud por el apoyo incondicional. En primera instancia agradeciendo al Centro Piscícola El Ingenio, ubicado en el distrito de Ingenio, provincia de Huancayo, región Junín, por facilitarme los subproductos de la piscigranja siendo los sedimentos para el proceso experimental, ya que sin ello no hubiera sido posible culminar esta investigación. Al laboratorio de Química Agrícola “Valle Grande - Cañete”, por haberme brindado los análisis de reporte de resultados de los suelos y sedimentos tanto en las caracterizaciones iniciales y resultados finales. A la Dirección Regional de Agricultura Junín, por brindarme la información agrícola del cultivo Ryegrass (*Lolium perenne*). A la Autoridad Administrativa del Agua X Mantaro, por brindarme la información de las áreas agrícolas totales con riego de la zona de estudio. A la Universidad Continental, sede Huancayo, que me permitió el uso de equipos y laboratorios para el desarrollo de esta investigación.

De igual forma agradezco a mi asesor de tesis M. Sc. Andrés Alberto Azabache Leyton por guiarme en el proceso del desarrollo desde el inicio hasta el final de la investigación transmitiendo todo su conocimiento y facilitándome su apoyo en cada etapa de la elaboración de la tesis. A la Ing. Elizabeth Guisella Machuca Manrique por encaminarme en el proceso de levantamiento de observaciones. A mis jurados revisores Ing. Jacinto Arroyo Aliaga, Ing. Geyner Amado Cadillo y a la Ing. Carmencita Lavado Meza, quienes con sus contribuciones aportaron a mejorar el trabajo de investigación. A los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental por guiarme en solventar las dudas pertinentes.

A todas las personas, que directa o indirectamente han contribuido a la realización del presente trabajo de investigación, para la obtención de mi título profesional.

Para el primer ingeniero de quien aprendí mucho en toda mi vida, Ing. Javier Huamancaja, mi padre adorado a quien amo tanto; para mi hermosa madre Gladys Palomino quien me apoyó en todo momento en mi formación profesional; a mis hermanos Ehrik y Mayela, por motivarme y apoyarme para seguir creciendo profesionalmente; a ustedes por siempre mi agradecimiento.

# ÍNDICE GENERAL

<b>Agradecimientos</b> .....	ii
<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Índice general</b> .....	iv
<b>Índice de tablas</b> .....	vii
<b>Índice de figuras</b> .....	ix
<b>Resumen</b> .....	xi
<b>Abstract</b> .....	xii
<b>Introducción</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b>	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1 Caracterización del problema.....	1
1.1.2 Formulación del problema.....	8
1.2 Objetivos.....	8
1.2.1 General.....	8
1.2.2 Específicos.....	8
1.3 Justificación e importancia.....	9
1.3.1 Justificación de la investigación.....	9
1.3.1.1 En lo social.....	9
1.3.1.2 En lo académico.....	9
1.3.1.3 En lo ambiental.....	9
1.3.2 Importancia de la investigación.....	10
1.4 Hipótesis .....	10
1.4.1 General.....	10
1.4.2 Específicas.....	10
1.4.3 Hipótesis nula.....	11
1.4.4 Hipótesis alternativa.....	11
1.5 Descripción de variables.....	11
1.5.1 Variable independiente.....	11
1.5.2 Variables dependientes.....	12
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	14
2.1 Antecedentes del problema.....	14
2.2 Bases teóricas.....	18
2.2.1 Fundamentos teóricos de la investigación .....	18

2.2.1.1 Contaminación del suelo.....	18
2.2.1.2 El arsénico en el suelo.....	19
2.2.1.2.1 Fuentes de arsénico en los suelos.....	19
2.2.1.2.2 Comportamiento químico del arsénico en la fase sólida del suelo.....	21
2.2.1.3 El arsénico en la planta.....	23
2.2.1.3.1 Disponibilidad del arsénico.....	26
2.2.1.3.2 Factores que afectan en la disponibilidad del As .....	27
2.2.1.4 Enmienda orgánica.....	30
2.2.1.5 Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.....	35
2.2.1.6 Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	38
2.2.1.7 Distrito de El Mantaro.....	44
2.2.2 Fundamentos metodológicos y técnicos.....	46
2.2.2.1 Técnica para determinar la disponibilidad del As en el ryegrass.....	46
2.2.2.2 Tipo de muestreo .....	46
2.2.2.3 Técnica de muestreo de suelos in situ.....	47
2.2.2.4 Método de análisis físico-químico del suelo.....	48
2.2.3 Normativa ambiental.....	54
2.2.4 Modelo teórico de la investigación.....	58
2.2.5 Definición de términos básicos.....	59
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....	<b>62</b>
3.1 Método y alcance de la investigación.....	62
3.1.1 Método de la investigación.....	62
3.1.1.1 Método general de la investigación.....	62
3.1.1.2 Método específico de la investigación.....	62
3.1.1.3 Fase de gabinete.....	79
3.1.2 Alcances de la investigación.....	80
3.2 Diseño de la investigación.....	80
3.3 Población y muestra.....	81
3.3.1 Población.....	81
3.3.2 Muestra.....	81
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	81
3.4.1 Técnicas utilizados en la recolección de datos.....	82
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	82
3.5 Técnicas de tratamiento de datos.....	83

<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	85
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	85
4.1.1 Propiedades físico-químicas del suelo del experimento.....	85
4.1.2 Contenido de arsénico en el suelo al inicio del experimento .....	87
4.1.3 Propiedades químicas de los sedimentos de la piscigranja.....	87
4.1.4 Metales pesados en los sedimentos de la piscigranja.....	88
4.1.5 Disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento.....	88
4.1.6 Crecimiento de la planta de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	91
4.1.6.1 Altura de la planta.....	91
4.1.6.2 Materia seca de la parte aérea de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	92
4.1.6.3 Materia seca de la raíz de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	94
4.1.7 Correlación y Regresión .....	95
4.1.7.1 Correlación.....	95
4.1.7.2 Regresión.....	96
4.2 Discusión de resultados .....	100
<b>Conclusiones</b> .....	102
<b>Recomendaciones</b> .....	103
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	104
<b>Fuentes</b> .....	122
<b>Anexos</b> .....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1</b>	Operacionalización de las variables en estudio.....	13
<b>Tabla N° 2</b>	Requisitos específicos que deben cumplir.....	33
<b>Tabla N° 3</b>	Número de plantas hiperacumuladoras de metales en el mundo...	36
<b>Tabla N° 4</b>	Criterios para plantas hiperacumuladoras.....	36
<b>Tabla N° 5</b>	Plantas acumuladoras de metales.....	37
<b>Tabla N° 6</b>	Clasificación científica ( <i>Lolium perenne</i> ).....	39
<b>Tabla N° 7</b>	Contenido de nutriente de la materia seca del ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	43
<b>Tabla N° 8</b>	Información agrícola sobre los cultivos principales del distrito de El Mantaro, Jauja.....	45
<b>Tabla N° 9</b>	Registro administrativo de derechos de uso de agua del distrito de El Mantaro.....	45
<b>Tabla N° 10</b>	Recomendaciones acerca de la aplicabilidad de los patrones de muestreo.....	47
<b>Tabla N° 11</b>	Lista de sistemas para la toma de muestras sólidas.....	48
<b>Tabla N° 12</b>	Interpretaciones de los datos de conductividad.....	51
<b>Tabla N° 13</b>	Estándares de calidad ambiental para suelo.....	56
<b>Tabla N° 14</b>	Estándares de calidad de sedimentos.....	57
<b>Tabla N° 15</b>	Descripción de la zona de estudio.....	63
<b>Tabla N° 16</b>	Número mínimo de puntos para el Muestreo de identificación.....	64
<b>Tabla N° 17</b>	Datos de georreferenciación de muestras simples de suelo.....	64
<b>Tabla N° 18</b>	Profundidad del muestreo según el uso del suelo.....	65
<b>Tabla N° 19</b>	Datos del lugar de experimentación del proyecto.....	69
<b>Tabla N° 20</b>	Características de las unidades experimentales.....	75
<b>Tabla N° 21</b>	Preparación de unidad experimental.....	75
<b>Tabla N° 22</b>	Tratamientos en estudio.....	80
<b>Tabla N° 23</b>	Métodos de análisis de suelo.....	82
<b>Tabla N° 24</b>	Método de análisis de arsénico en suelo.....	82
<b>Tabla N° 25</b>	Caracterización físico-química del suelo del distrito El Mantaro.....	85
<b>Tabla N° 26</b>	Resultado inicial del análisis de arsénico del suelo agrícola del distrito El Mantaro.....	87
<b>Tabla N° 27</b>	Resultados del análisis de caracterización del sedimento de piscigranja.....	87



<b>Tabla N° 28</b>	Resultados del análisis de metales pesados de los sedimentos de piscigranja.....	88
<b>Tabla N° 29</b>	Análisis de varianza de la disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento.....	89
<b>Tabla N° 30</b>	Prueba de significación de Duncan para la disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento.....	89
<b>Tabla N° 31</b>	Variación porcentual de la disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento.....	90
<b>Tabla N° 32</b>	Análisis de varianza de la altura de planta de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) al final del experimento.....	91
<b>Tabla N° 33</b>	Prueba de significación de Duncan para la altura de planta de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) al final del experimento.....	92
<b>Tabla N° 34</b>	Análisis de varianza de la materia seca de la parte aérea de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) al final del experimento.....	92
<b>Tabla N° 35</b>	Prueba de significación de Duncan para la materia seca de la parte aérea de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) al final del experimento.....	93
<b>Tabla N° 36</b>	Análisis de varianza de la materia seca de la parte radicular de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) al final del experimento.....	94
<b>Tabla N° 37</b>	Prueba de significación de Duncan para la materia seca de la parte radicular de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) al final del experimento.....	95
<b>Tabla N° 38</b>	Análisis de correlación entre las dosis de sedimento de piscigranja y los parámetros evaluados.....	95
<b>Tabla N° 39</b>	Análisis de varianza de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y disponibilidad de arsénico en el suelo.....	96
<b>Tabla N° 40</b>	Análisis de varianza de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y altura de planta de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	97
<b>Tabla N° 41</b>	Análisis de variancia de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la parte aérea de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	98
<b>Tabla N° 42</b>	Análisis de variancia de la regresión entre las dosis de sedimento de piscigranja y materia seca de la raíz de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1</b>	Lugares de la república mexicana más afectados por la contaminación de metales pesados. ....	2
<b>Figura N° 2</b>	Concentración media de metales/metaloideos biodisponibles (DTPA) en muestras de suelo recogidas antes y treinta meses después de la aplicación de enmiendas.....	4
<b>Figura N° 3</b>	Concentración del arsénico en la zona alta y media de la cuenca del Mantaro que se encuentra distribuido en diferentes concentraciones.....	6
<b>Figura N° 4</b>	Dinámica de los metales pesados en el suelo.....	27
<b>Figura N° 5</b>	Composicion nutricional de principales enmiendas orgánicas...	31
<b>Figura N° 6</b>	Morfología de una gramínea.....	40
<b>Figura N° 7</b>	Fases de crecimiento del ryegrass.....	41
<b>Figura N° 8</b>	Las etapas foliares del ryegrass a medida que crece.....	42
<b>Figura N° 9</b>	Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA...	50
<b>Figura N° 10</b>	Área de ubicación representativa del distrito de El Mantaro - Jauja – Junín.....	66
<b>Figura N° 11</b>	Área de ubicación del centro piscícola “El Ingenio”-Huancayo-Junín.....	68
<b>Figura N° 12</b>	Ubicación del lugar de experimentación del proyecto.....	70
<b>Figura N° 13</b>	Croquis experimental por tratamientos 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de SP.....	77
<b>Figura N° 14</b>	Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y disponibilidad de arsénico en el suelo de El Mantaro, al final del experimento.....	97
<b>Figura N° 15</b>	Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y altura de planta de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) en el suelo de El Mantaro, al final del experimento.....	98
<b>Figura N° 16</b>	Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca aérea de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) en el suelo de El Mantaro, al final del experimento.....	99

**Figura N° 17** Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*) en el suelo de El Mantaro, al final del experimento..... 100

## RESUMEN

**Objetivo:** determinar la influencia de la utilización de sedimentos de piscigranja sobre la disponibilidad de arsénico y crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*) en un suelo contaminado con arsénico, del distrito de El Mantaro, Jauja. 2016. **Método:** se utilizó el método de análisis: las muestras de suelo del distrito El Mantaro, fueron analizadas en sus propiedades físico-químicas: densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, contenido de nutrientes y materia orgánica. Las técnicas utilizadas son estándar para cada tipo de determinación. Una vez reportados los análisis se interpretaron los datos para determinar sus niveles, según el tipo de análisis. **Diseño:** se utilizó una muestra de suelo compuesta de la capa arable, y se distribuyó en macetas de 2 kg de capacidad, donde se aplicó cinco dosis de SP (0%, 2%, 4%, 6% y 8%), cuyos tratamientos estuvieron dispuestos en un diseño experimental **completamente al azar**. **Resultados:** las dosis de sedimentos de piscigranja, disminuyen la disponibilidad de este metaloide a valores inferiores al estándar (<12 mg/kg), en el rango de 9,07 mg/kg a 7,120 mg/kg, debido a la adsorción en la fase sólida del suelo, representando porcentajes de disminución de disponibilidad entre 1,726% a 23,169% respecto al testigo; sobresale la dosis de 8% de sedimentos de piscigranja, que redujo la disponibilidad de arsénico del suelo en 23,168%. Las dosis de sedimentos de piscigranja incrementaron significativamente el crecimiento de ryegrass, en altura de planta entre 79,556% y 91,66%; en materia seca de la parte aérea entre 81,231% y 198,462%, y en materia seca de raíz entre 186,667% y 346,667%; atribuible a la mejora de las propiedades del suelo, y por ende la influencia en el crecimiento de ryegrass.

**Palabras clave:** *contaminación del suelo, arsénico, disponibilidad, ryegrass (Lolium perenne)*

## ABSTRACT

**Objective:** to determine the influence of the use of piscigranja sediments on the availability of arsenic and ryegrass growth in a soil contaminated with arsenic, from the district of El Mantaro, Jauja. 2016. **Method:** the analysis method was used: the soil samples from the district of El Mantaro district were analyzed in their physical-chemical properties: apparent density, pH, electrical conductivity, nutrient content and organic matter. The techniques used are standard for each type of determination. Once the analyzes were reported, the data were interpreted to determine their levels, according to the type of analysis. **Design:** a soil sample composed of the arable layer was used, and it was distributed in pots of 2 kg capacity, where five doses of SP were applied (0, 2, 4, 6 and 8%), whose treatments were arranged in an experimental design **completely random**. **Results:** the doses of piscigranja sediments, decrease the availability of this metalloid to values lower than the standard (<12 mg / kg), in the range of 9.07 mg / kg to 7,120 mg / kg, due to the adsorption in the solid phase of the soil, representing percentages of decrease in availability between 1,726% to 23,169% with respect to the control; the 8% dose of piscigranja sediments stands out, which reduced the availability of arsenic in the soil by 23.168%. The doses of piscigranja sediments significantly increased the growth of ryegrass, in plant height between 79.556% and 91.66%; in dry matter of the aerial part between 81.231% and 198.462%, and in root dry matter between 186.667% and 346.667%; attributable to the improvement of soil properties, and therefore the influence on the growth of ryegrass.

**Keywords:** *soil contamination, arsenic, availability, ryegrass.*

## INTRODUCCIÓN

Los suelos del distrito de El Mantaro están contaminados por metales pesados, como por ejemplo arsénico, según datos reportados, a través del proyecto Mantaro Revive (1). Estos suelos agrícolas, ubicados en la margen izquierda del río Mantaro sostienen el desarrollo de cultivos alimenticios como el maíz, arveja, quinua y pastos cultivados, que son fuente alimenticia del hombre y los animales. Estos organismos vivos podrían ser afectados si la cadena alimenticia conlleva la transferencia de metales pesados desde el suelo.

En décadas recientes, los metaloides pesados han recibido considerable atención como consecuencia del incremento de la contaminación ambiental, proveniente de fuentes industriales, agrícolas, energéticas, y municipales (2). El arsénico (As) tiene propiedades intermedias entre metales y no metales, aunque su electronegatividad y energía de ionización le da características cercanas a las de no metales, tendiendo a formar aniones antes que cationes (3).

El suelo es una fuente principal de elementos traza para las plantas, tanto micronutrientes como contaminantes (4), pero no hay evidencia que la presencia de arsénico en este medio sea esencial para el crecimiento de las plantas. Altas concentraciones de arsénico en los suelos pueden reducir el rendimiento del cultivo, pues inhibe el crecimiento de la planta y bajo condiciones estrictas puede ser letal para la planta (5). Según se informa, los niveles de arsénico sobre los 50 ppm en suelo tienen una influencia negativa sobre el rendimiento o crecimiento de la planta en cebada, y ryegrass (6).

Esta información del arsénico en el suelo condujo a plantear este experimento en un suelo contaminado del distrito El Mantaro, para evaluar la cantidad de elemento presente en el suelo antes y después de la aplicación de sedimentos de piscigranja, en diferentes dosis, para determinar su retención en el suelo, y de esa manera reducir su potencial tóxico en las plantas cultivadas, como el ryegrass (*Lolium perenne*). Por consiguiente, en la investigación se plantea como objetivo, determinar la influencia de la utilización de sedimentos de piscigranja sobre la disponibilidad de arsénico y crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*) en un suelo contaminado con arsénico, del distrito de El Mantaro, Jauja. 2016.

La hipótesis de la investigación se refiere a la utilización de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado, influye inversamente en la disponibilidad de arsénico y directamente en el crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*), distrito de El Mantaro, Jauja.

La investigación se divide en 4 capítulos. En el primer capítulo I, se da a conocer el planteamiento y formulación del problema, los objetivos, justificación e importancia, hipótesis y descripción de las variables. Uno de los grandes problemas de gran impacto son los suelos contaminados por arsénico en el distrito de El Mantaro, provincia de Jauja.

En el capítulo II, trata del marco teórico y consta de los antecedentes del problema, bases teóricas, metodología y técnicas para la medición de las variables de investigación y definición de términos básicos.

El método de investigación elegido ante otras metodologías planteadas es el método de análisis: las muestras de suelo del distrito de El Mantaro, fueron analizadas en sus propiedades físico-químicas: densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, contenido de nutrientes y materia orgánica. Las técnicas utilizadas son estándar para cada tipo de determinación.

En el capítulo III se describe la metodología que consiste en el método, y el alcance de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el capítulo IV se describen los resultados del tratamiento y el análisis de la información, pruebas de hipótesis y discusión de resultados. Se da a conocer la disponibilidad de arsénico en el suelo, prueba de significación de Duncan y variación porcentual de la disponibilidad de arsénico en el suelo; análisis de varianza de la altura de planta de ryegrass (*Lolium perenne*), prueba de significación de Duncan para la altura de planta de ryegrass (*Lolium perenne*); análisis de varianza de la materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*) y prueba de significación de Duncan para la materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*); todo lo antes mencionado se realiza al final del experimento. Análisis de varianza de la materia seca de la parte radicular de ryegrass (*Lolium perenne*) y prueba de significación de Duncan para la materia seca de la parte radicular de ryegrass (*Lolium perenne*). Análisis de correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y los parámetros evaluados; análisis de varianza de la regresión

entre las dosis de sedimentos de piscigranja y disponibilidad de arsénico en el suelo; análisis de varianza de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y altura de planta de ryegrass (*Lolium perenne*), análisis de varianza de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*) y; por último, análisis de varianza de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*).

Los resultados de la investigación más importantes fueron que, las dosis de sedimentos de piscigranja disminuyen la disponibilidad de este metaloide a valores inferiores al estándar (<12 mg/kg), en el rango de 9,07 mg/kg a 7,120 mg/kg, representando porcentajes de disminución de disponibilidad entre 1,726% a 23,169% respecto al testigo; sobresale la dosis de 8% de sedimentos de piscigranja, que redujo la disponibilidad de arsénico del suelo en 23,168%. Las dosis de sedimentos de piscigranja incrementaron significativamente el crecimiento de ryegrass, en altura de planta entre 79,556% y 91,66%; en materia seca de la parte aérea entre 81,231% y 198,462%, y en materia seca de raíz entre 186,667% y 346,667%; atribuible a la mejora de las propiedades del suelo y, por ende, la influencia en el crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*).



# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Caracterización del problema**

Se reporta que las fuentes antropogénicas de metales y metaloides pesados pueden ser descritas como contaminantes en el contexto del suelo y la tierra. La importancia de la contaminación está claramente mostrada en una comparación de datos analíticos para diferentes suelos con niveles de fondo y los resultados para suelos afectados por contaminación antropogénica de diversas fuentes (actividades: urbana, agrícola, minera o industrias) (7).

En México, existen reportes de la presencia de metales pesados en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire de zonas urbanas, así como en ambientes costeros y marinos, donde se ha detectado la acumulación de metales tóxicos en tejidos de peces y moluscos de consumo humano (8).

Lugar	Estado	Metal	Afectación	Referencia
San Felipe, Nuevo Mercurio	Zac		En suelos (1569 mg/kg) y orina de niños (29.6 µg/gcrt)	Costilla-Salazar et al. 2010
San Joaquín, Sierra Gorda	Qro		En suelo (300 mg/kg) y cultivos de maíz	Martínez-Trinidad 2013, Hernández-Silva et al. 2012
Río Coatzacoalcos	Ver	Hg	En agua del río (6.96 mg/L)	Villanueva y Botello 1992
Sistema Lagunar Alvarado	Ver		Acumulación de baja a moderada en personas por ingesta de mariscos	Guentzel et al. 2007
Zimapán	Hgo.		En acuífero (1.09 mg/L), suelos (14 700 mg/kg), en cabello de personas (8.55 mg/kg)	Ongley et al. 2007, Armienta et al. 1997a, Espinosa et al. 2009, Armienta et al. 2000
Santa María	SLP	As	En suelos (300 mg/kg)	Castro-Larragoitia et al. 1997,
Villa de la Paz	SLP		En suelos (7200 mg/kg), agua (5.9 mg/L)	Razo et al. 2003, Yañez et al. 2003,
Milpillas, Minatitlán	SLP, Ver		En sangre de niños (SLP: 5.6 µg/dL, Ver: 5.5 µg/dL)	Trejo-Acevedo et al. 2009
Varias comunidades	Chih, SLP, Tlax	Pb	En suelos (400 mg/kg), en sangre de niños (Tlax: 52.3 µg/dL)	Flores-Ramírez et al. 2012
Vetagrande	Zac		En sangre de niños (>10 µg/dL)	González-Valdez et al. 2008
León	Gto	Cr	En suelos (12,960 mg/kg de Cr (III), 65.14 mg/ kg de Cr (VI)	Mauricio-Gutiérrez et al. 2010, Armienta et al. 1996, Robles-Camacho y Armienta 2000

Significado de las abreviaturas de los estados: Zacatecas (Zac), Querétaro (Qro), Veracruz (Ver), Hidalgo (Hgo), San Luis Potosí (SLP), Chihuahua (Chih), Tlaxcala (Tlax), Guanajuato (Gto). Símbolos químicos de los metales: mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cromo (Cr).

**Figura 1. Lugares de la república mexicana más afectados por la contaminación de metales pesados. en el cuadro se indican los principales metales contaminantes, la concentración del metal y la referencia correspondiente**

**Fuente: (1)**

En el suelo, la alta concentración de elementos, genera contaminación; nos referimos, especialmente, a los metales pesados, como el arsénico (As), un elemento muy soluble en el suelo y que tiene diferentes fuentes que ingresan al suelo, como son los diferentes insumos agrícolas, ya sea herbicidas, insecticidas, fertilizantes, abonos, y productos similares, utilizados por los productores agrarios para la protección y cuidado de los cultivos, y asegurar que sus cosechas tengan alto rendimiento y generen rentabilidad.

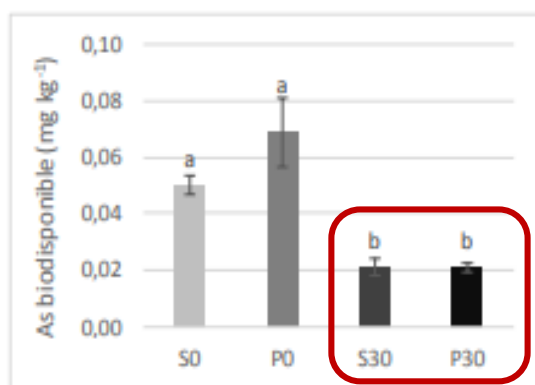
Para que un suelo se contamine por metales o metaloides tiene que ser transportado de alguna fuente al suelo de una localidad particular. Los principales mecanismos por los cuales los contaminantes de metales pesados o metaloides son transportados de alguna fuente al suelo, son (7):

- Corrientes de aire en movimiento (viento) y deposición de partículas del tamaño de aerosoles, polvos (< 30  $\mu\text{m}$ ) y formas gaseosas de metales (por ejemplo mercurio).
- Agua en movimiento (inundaciones, riego y escorrentía de ríos) seguido por deposición de metales o metaloides en suelos en pendientes planas o en un suelo aluvial en el caso de anegamiento de ríos.
- Movimiento pendiente debajo de rocas ricas en metales y materiales minerales contaminantes o suelo por gravedad.
- Ubicación intencional de materiales conteniendo metales pesados y metaloides, por tractores, pulverizadores, esparcidores de estiércol, camiones y excavadoras.

Actualmente, la contaminación del suelo tiene singular interés, debido a sus efectos negativos que puede producir en el funcionamiento del suelo, así como en los organismos que están relacionados al suelo, especialmente las plantas, que al absorber los contaminantes, trasladan el problema de exceso de concentración de elementos a las diversas partes de la planta, ya sea tallos, hojas o frutos, los cuales al ser consumidos por humanos o animales, generan alteraciones en el funcionamiento de estos organismos, debido a su toxicidad y efectos adversos colaterales, y en general estos elementos no son fácilmente degradados, sino que se acumulan.

Un estudio realizado sobre la “Evolución de la calidad del suelo, disponibilidad de metales pesados y vegetación en un depósito minero de la sierra minera de Cartagena, La Unión, tras su rehabilitación mediante fitoestabilización asistida”, realizado en la Universidad Politécnica de Cartagena de Colombia. Menciona que como alternativa

sostenible es la aplicación de la fitoestabilización asistida con residuos industriales y ganaderos, la utilización del lodo de mármol, el purín y el estiércol de cerdo son efectivos a la hora de reducir la disponibilidad de los metales (ver Figura 2). Este hecho se traduce en una disminución del riesgo de contaminación de aguas superficiales por escorrentía y de aguas subterráneas por lixiviación, además de favorecer el crecimiento vegetal y microbiano por reducción de la toxicidad de los metales y mitigar los riesgos de entrada de los metales en la cadena trófica.



**Figura 2. Concentración media de metales/metaloideos biodisponibles (DTPA) en muestras de suelo recogidas antes y treinta meses después de la aplicación de enmiendas**  
Fuente: (2)

Donde:

SO: superficie inicial

PO: profundidad inicial

S30: superficie treinta meses después de aplicar enmiendas

P30: profundidad treinta meses después de aplicar enmiendas

Como se puede observar en la figura 2, esta fracción ha seguido una tendencia distinta entre los diferentes metales/metaloideos. El As biodisponible disminuyó significativamente treinta meses después de la aplicación de enmiendas. En superficie, lo hizo desde 0,05 mg kg<sup>-1</sup> (SO) hasta 0,02 mg kg<sup>-1</sup> (S30), mientras que en profundidad lo hizo desde 0,07 mg kg<sup>-1</sup> (PO), hasta 0,02 mg kg<sup>-1</sup>. Como conclusión del estudio se confirma que la combinación de lodo de mármol, purín y estiércol de cerdo ha demostrado ser eficiente en la rehabilitación de la balsa de residuos de la mina San Antonieta mediante fitoestabilización asistida. La aplicación de estas enmiendas permitió aumentar el pH del suelo, la CIC, el contenido de MO y nutrientes, mejorar la estructura edáfica y reducir la movilidad de los metales pesados/metaloideos, lo que a su vez posibilitó la activación de la actividad microbiana en el suelo y el desarrollo de una comunidad vegetal que parece

desarrollarse de forma cada vez más autosostenible. Por otra parte, las especies vegetales *L. spartum*, *L. caesium*, *P. miliaceum* e *H. hirta* han demostrado ser efectivas en estrategias de fitoestabilización, ya que no bioacumularon metales ni As ni los traslocaron hacia las partes aéreas, reduciendo el riesgo de entrada de metales/metaloides a la cadena trófica (9).

En la región Junín, Perú, se reportaron datos por el proyecto Mantaro Revive, del año 2007, donde muestran alta contaminación por arsénico en los suelos del distrito de El Mantaro, atribuible al uso del agua del río Mantaro para el riego de los cultivos; el río, que, por tener afluentes provenientes de relaves mineros en la cuenca alta, genera esta contaminación del suelo (1).

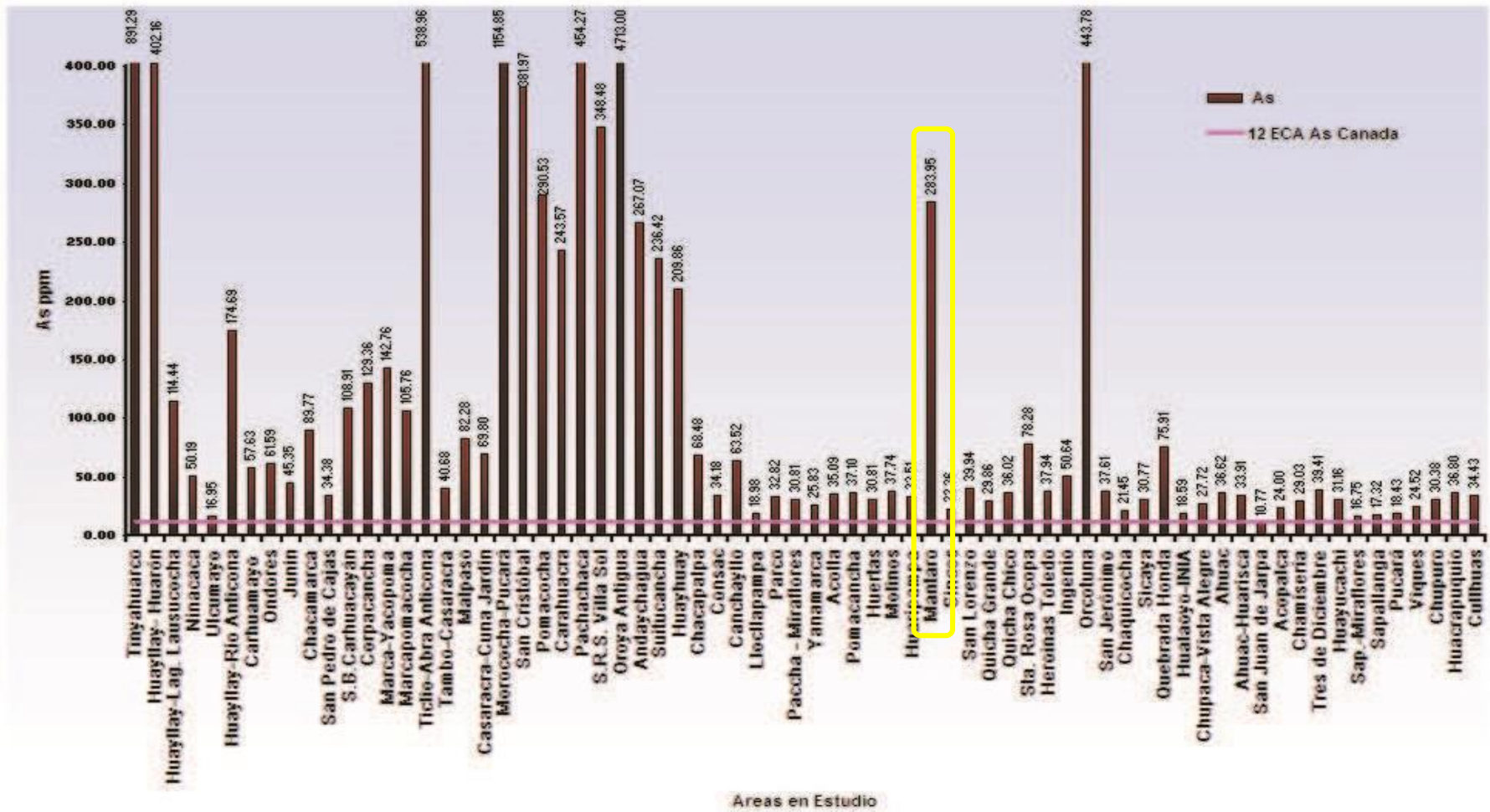


Figura 3. Concentración del arsénico en la zona alta y media de la cuenca del Mantaro  
Fuente: (3)

La menor movilidad del elemento contaminante en el suelo, que también puede ser ocasionada por otros factores (precipitación o formación de minerales secundarios, debido a su alta concentración), genera menor concentración disponible en el suelo, no solo para la planta sino también para los microorganismos del suelo, es decir se disminuye el efecto negativo del contaminante en el suelo.

Una de las formas de acondicionar al suelo para disminuir su contaminación y evitar que contamine el agua o el aire, que están en contacto con este recurso natural, se hace posible utilizando el método de selección de diferentes materiales con un potencial enmendador como, lombri-abono (L.A), estiércol de burro (E.B), estiércol de vaca (E.V), binde (B), árbol descompuesto (A.D), aserrín (AS), cascarilla de arroz (C.A), fibra de coco (F.C), piedra pómez (P.P) y biochar (BIO); al utilizar estos materiales enmendantes tienen la capacidad de aumentar la inmovilización de metales pesados como el arsénico y mejora la calidad en el suelo con el aumento de nutrientes y la capacidad de retención de agua y su fertilidad (10).

Las fracciones orgánicas primariamente responsables para el enlace de metales y metaloides, son los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, que pueden representar alrededor del 75% en promedio, de la materia orgánica del suelo (11).

La menor movilidad del elemento contaminante en el suelo, que también puede ser ocasionado por otros factores (precipitación o formación de minerales secundarios, debido a su alta concentración), genera menor concentración disponible en el suelo, no solo para la planta sino también para los microorganismos del suelo; es decir, se disminuye el efecto negativo del contaminante en el suelo.

En este sentido, se plantea utilizar una enmienda orgánica disponible en nuestra zona como son los sedimentos orgánicos de piscigranjas, especialmente truchas, que muy bien pueden favorecer la disminución de la cantidad disponible de contaminantes en el suelo, además de mejorar las propiedades de un suelo contaminado, como son el pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio de cationes y el contenido de nutrientes tales como el fósforo, potasio y nitrógeno. Este efecto significa mejorar la calidad del suelo. El comportamiento de una enmienda orgánica no solo mejora las principales propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, sino que también actúa como adsorbente o complejante de contaminantes, como es el arsénico. Al disminuir la movilidad del

contaminante en el suelo (adsorbiéndolo o complejándolo), también reduce su absorción por la planta, pues disminuye su concentración en la solución suelo.

### **1.1.2 Formulación del problema**

#### **A) Problema general**

¿En qué medida la aplicación de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado, influye en la disponibilidad de arsénico y crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*) en el distrito de El Mantaro, Jauja, 2016?

#### **B) Problemas específicos**

¿En qué medida la utilización de sedimentos de piscigranja en diferentes dosis (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) influye en la disponibilidad de arsénico en un suelo contaminado del distrito de El Mantaro, Jauja?

¿En qué medida la utilización de sedimentos de piscigranja en diferentes dosis (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) influye en el peso seco del follaje y de la raíz del ryegrass (*Lolium perenne*) en un suelo contaminado con arsénico del distrito de El Mantaro, Jauja?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar la influencia de la utilización de sedimentos de piscigranja sobre la disponibilidad de arsénico y crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*) en un suelo contaminado con arsénico, del distrito de El Mantaro, Jauja.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Determinar la influencia de la utilización de sedimentos de piscigranja en diferentes dosis (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) en la disponibilidad de arsénico en un suelo contaminado, del distrito de El Mantaro, Jauja.



Determinar la influencia de la aplicación de sedimentos de piscigranja en diferentes dosis (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) en un suelo contaminado, en el peso seco del follaje y de la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*), distrito de El Mantaro, Jauja.

### **1.3 Justificación e importancia**

#### **1.3.1 Justificación de la investigación**

##### **1.3.1.1 En lo social**

El trabajo de investigación ofrece beneficio social en la agricultura por la utilización de una enmienda orgánica (sedimentos de piscigranja) el cual mejora las propiedades del suelo y no se ve afectada en el rendimiento del ryegrass (*Lolium perenne*) cuando es cultivado en un suelo con presencia de este metaloide.

##### **1.3.1.2 En lo académico**

Este trabajo de investigación se realizó con fines de estudiar la disponibilidad de As en el suelo con el uso de diferentes dosis de tratamientos de enmienda orgánica (sedimentos de piscigranja) y la evaluación de crecimiento del ryegrass (*Lolium perenne*) porque actualmente no se tiene información sobre el comportamiento de este tipo de enmienda orgánica, esto generará el inicio de nuevos estudios por parte de instituciones, universidades, interesados, investigadores y estudiantes.

##### **1.3.1.3 En lo ambiental**

Los sedimentos de piscigranja que se generan de la actividad piscícola en nuestra zona tendrán un uso adecuado en la agricultura por contener altas concentraciones de parámetros orgánicos benéficos para el sistema y estructura del suelo, evitando así su acumulación y su efecto negativo al ambiente, considerando al suelo como un gran receptor de materiales orgánicos que pueden ser transformados, disminuyendo sus efectos tóxicos a los diferentes organismos.

### **1.3.2 Importancia de la investigación**

La evaluación de la disponibilidad de arsénico con la aplicación de sedimentos de piscigranja, permitirá estimar cuantitativamente el efecto de materiales orgánicos reciclados en la remediación de suelos contaminados; así como evaluar el crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*), a través de sus indicadores como materia seca de la parte aérea y la raíz.

La determinación de la cantidad de arsénico presente inicialmente en el suelo contaminado y su variación al final del periodo experimental, servirá de base para otras investigaciones in situ, que pueden realizarse considerando el efecto integrado de los factores suelo, planta y ambiente, en suelos contaminados con arsénico.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 General**

La utilización de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado, influye inversamente en la disponibilidad de arsénico y directamente en el crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*), distrito de El Mantaro, Jauja.

### **1.4.2 Específicas**

La utilización de sedimentos de piscigranja en diferentes dosis (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) en un suelo contaminado, disminuye la disponibilidad de arsénico, distrito de El Mantaro, Jauja.

La utilización de sedimentos de piscigranja en diferentes dosis (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) en un suelo contaminado con arsénico, incrementa el peso seco del follaje y la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*), distrito de El Mantaro, Jauja.

### **1.4.3 Hipótesis nula**

La aplicación de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado, no disminuye la disponibilidad de arsénico y afecta negativamente en el peso seco del follaje y la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*), distrito de El Mantaro, Jauja.

### **1.4.4 Hipótesis alternativa**

La aplicación de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado, disminuye la disponibilidad de arsénico e incrementa el peso seco del follaje y la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*), distrito de El Mantaro, Jauja.

## **1.5 Descripción de variables**

### **1.5.1 Variable independiente**

**X = Sedimentos de piscigranja**

#### **Conceptualización:**

Los sedimentos de piscigranja son una mezcla de sólidos, secados al aire libre, provenientes de las pozas de crianza de trucha.

#### **Dimensiones:**

Aplicación de niveles porcentuales (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) de sedimentos de piscigranja en suelos contaminados con arsénico para el crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*) en condiciones controladas.

#### **Indicador:**

Dosis (%) de sedimentos de piscigranja en (g).

## 1.5.2 Variables dependientes

### Y1 = Disponibilidad de arsénico en suelos contaminados

#### Conceptualización:

Contenido de arsénico en el suelo, presente en la fase líquida y en la fracción sólida, que fácilmente pasa a solución.

#### Dimensiones:

Contenidos bajos y altos de arsénico en suelos agrícolas, según el Estándar de Calidad Ambiental de Suelos.

#### Indicador:

Contenido de As en (mg.kg) en el suelo del distrito de El Mantaro.

### Y2 = Crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*)

#### Definición:

El crecimiento se refiere a la acumulación de biomasa.

#### Dimensiones:

Área de la planta y acumulación de materia seca vegetal de la parte aérea foliar y radicular.

#### Indicadores:

- Altura de planta (cm)
- Materia seca parte aérea (g)
- Materia seca de raíz (g)

**Tabla 1. Operacionalización de las variables en estudio**

VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR
X = Sedimentos de piscigranja	N: Cuantitativa	Los sedimentos de piscigranja son una mezcla de sólidos provenientes de las pozas de crianza de truchas.	Niveles porcentuales de sedimentos de piscigranja (0%, 2%, 4%, 6%, 8%)	Dosis (%) de sedimentos de piscigranja en (g)
	C: Simple			
	F: Independiente			
Y1 = Arsénico disponible del suelo	N: Cuantitativa	Fracción del arsénico del suelo presente en la solución suelo y en la superficie de los sólidos del suelo, que fácilmente puede pasar solución.	Concentración de As en el suelo del distrito de El Mantaro	Contenido de As en (mg.kg) en el suelo del distrito de El Mantaro
	C: Simple			
	F: Dependiente			
Y2 = Crecimiento de ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ).	N: Cuantitativa	El crecimiento se refiere a la acumulación de biomasa (12).	Área de la planta	Altura de planta (cm)
	C: Simple		Área foliar	Materia seca aérea (g)
	F: Dependiente		Área radicular	Materia seca raíz (g)

**Fuente: elaboración propia**

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

En el artículo científico titulado “*A field experiment investigating the effects of olive husk and cow manure on heavy metal availability in a contaminated calcareous soil from Murcia (Spain)*”, cuyos objetivos fueron determinar el efecto de estiércol de vacuno y la cáscara de olivo sobre la biodisponibilidad de metales pesados en suelos calcáreos contaminados, y la factibilidad de su uso para fitoremediación; determinar el efecto de dos residuos orgánicos, usados como enmiendas de suelo, sobre la biodisponibilidad de metales pesados en un suelo agrícola y sobre su acumulación sobre *Beta vulgaris* variedad *Nomonta* y *Beta marítima L.* como plantas indicadoras de metales. El suelo fue un *Xeric Torriorthent Xerix* calcáreo y los niveles de metales pesados fueron (mg.kg<sup>-1</sup>): 2706 Zn, 3235 Pb, 39 Cu. Los tratamientos fueron: estiércol de vacuno fresco, cáscara de olivo y fertilizantes inorgánicos como control. Se cultivaron dos especies (*Beta vulgaris* y *Beta marítima*), en forma sucesiva. El suelo fue muestreado antes de cada siembra y después de cada cosecha. Presenta como resultado que el *Beta vulgaris* se comportó como una planta indicadora de metales, en la medida que su concentración de metales pesados (Cu, Mn y Pb) en todos los tratamientos reflejaron los niveles extractables del suelo. Las altas concentraciones de metales, especialmente Pb (5.1 – 16.8 veces más que el límite de Estados Unidos para productos alimenticios) reveló un alto riesgo a la salud para humanos y animales debido a la dispersión de la contaminación del metal desde sitios mineros hasta

áreas agrícolas. El estiércol de vacuno no alteró las concentraciones extractables de metales con DTPA en el suelo o su absorción por las plantas en comparación con el control. El estudio aporta que la cáscara de olivo favoreció la solubilidad de los metales en el suelo y su acumulación en las plantas, debido a la reducción de óxidos de Mn durante la degradación de compuestos fenólicos. De tal manera que este material (cáscara de olivo), puede ser una enmienda útil para la fitoextracción de metales por especies acumuladoras, mientras que el estiércol puede ser muy útil para la fitoestabilización (13).

En el trabajo de investigación titulado: “*Assessment of arsenic toxicity in spiked soils and water solutions by the use of bioassays*”, realizado en España con los objetivos de evaluar la toxicidad de arsénico a diferentes concentraciones en soluciones contaminadas usando bioensayos de toxicidad de dos organismos, la bacteria *Vibrio fischeri* y semillas de *Lactuca sativa* (lechuga) como bioindicadores. El potencial de contaminación también fue estudiado en cuatro suelos contaminados artificialmente con arsénico, con diferentes rangos de propiedades físico-químicas, para evaluar la interacción entre arsénico y las propiedades del suelo, y evaluar el potencial de toxicidad de arsénico en estos suelos. Presenta como resultado de estudio que los suelos contaminados con 100 ppm de arsénico registraron una fuerte reducción de la solubilidad de este contaminante con el tiempo, obteniéndose una respuesta a la toxicidad prácticamente nula a las ocho semanas de incubación. En las soluciones acuosas contaminadas con concentraciones crecientes de arsénico (0, 0.1, 1, 10, 12.5, 25 y 100 ppm As) se produjo una reducción significativa en la elongación de raíces y en la luminiscencia en los bioensayos con lechuga y bacterias, respectivamente. La concentración efectiva de arsénico que reduce un 50% la variable respuesta (EC50) fue de 1.52 ppm para el ensayo con *L. sativa* y 4.98 ppm para el ensayo con *V. fischeri*, indicando que el bioensayo con *L. sativa* fue más sensible a las concentraciones de arsénico en las soluciones contaminadas (14).

En la tesis titulada “Ecotoxicología del arsénico en suelos de la comunidad de Madrid” en el año 2015, realizada en la Universidad Complutense de Madrid, con el objetivo de contribuir al conocimiento de las causas de la contaminación por arsénico de los suelos de la comunidad de Madrid, así como los factores que influyen en su movilización y transferencia a aguas subterráneas, que son las que realmente ponen en peligro la salud del ser humano, se llegó a la conclusión que el arsénico es un elemento tóxico para la salud del ser humano, por lo tanto ha de controlarse su presencia en el medio ambiente. La mayoría del arsénico se encuentra como fondo geoquímico de los suelos de forma natural,

es decir, la contaminación antropogénica es baja y muy localizada. El riesgo no proviene de que exista arsénico en el suelo, sino de que este puede mobilizarse transfiriéndose a las aguas subterráneas, las cuales ya pueden entrar dentro de nuestra cadena trófica. Según los estudios mencionados, en la comunidad de Madrid existen ciertas áreas con mayor riesgo, por lo general suelen ser pozos privados donde su control es más difícil, por lo tanto, en estos será donde hay que incidir en mayor medida tanto en su control como en su regulación. Las autoridades sanitarias y ambientales regulan los niveles genéricos de referencia para suelos contaminados y los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Como conclusión final, indica que el arsénico es un elemento natural en los suelos y aguas y tenemos que convivir con él, evitando la movilización y transferencia hacia las cadenas tróficas (15).

En el artículo científico titulado "*Plant response to fish farming wastes in volcanic soils*", cuyo objetivo es evaluar la respuesta de ryegrass a la aplicación de residuos de piscigranja en suelos volcánicos, mencionó que el uso agrícola de residuos de acuicultura parece ser una alternativa ecológica y económica para mejorar la fertilidad del suelo y disminuir el potencial de los impactos adversos en la calidad del agua en el sur de Argentina. Los autores condujeron un experimento de invernadero de 3 meses con ryegrass (*Lolium perenne L.*) para determinar la disponibilidad de N y P de residuos de acuicultura y compararon los resultados con incubaciones previas de laboratorio. Los tratamientos incluyeron: (i) residuos procedentes de sedimentos bajo las jaulas en una granja de peces de 3 años de edad (GPT) aplicado a una dosis de 40 a 80 Mg.ha<sup>-1</sup>; (ii) residuos procedentes de sedimentos bajo las jaulas en una granja de peces de 8 años de edad (GPO), aplicado a una dosis de 10 a 20 Mg.ha<sup>-1</sup>; (iii) las dosis más bajas de residuos con 50 kg N.ha<sup>-1</sup>; (iv) cuatro tratamientos de fertilizantes sintéticos incluyendo una dosis simple de 80 kg N/ha y 4 niveles de P de 30, 40, 60, y 80 kg P/ha (FDA), y (v) un tratamiento control no fertilizado (TC). Aunque el N y P total fueron más altos en GPO que en GPT, y las tasas de mineralización en laboratorio fueron similares. Presenta como resultado el estudio que el rendimiento de ryegrass y la absorción de N fue mucho mayor en GPT que en GPO. Cuando el N mineralizado fue estimado como la diferencia entre N agregado y N total absorbido, los valores fueron 50 a 63% para GPT y de 5 a 14% para GPO. Los rendimientos de ryegrass fueron aproximadamente así: GPT > FDA > LM > TC. Los tratamientos con fertilizantes sintéticos mostraron los más bajos valores de eficiencia de fertilización de P, P residual en el suelo determinado por el método de Olsen y absorción de P en la biomasa de planta, y la más alta retención de P en el suelo. Las dosis más bajas



de residuos junto con N produjeron rendimientos de ryegrass comparables con las dosis más altas. El estudio aporta que los resultados enfatizan: (i) la necesidad de incluir plantas vivas en las evaluaciones del potencial de mineralización para evitar errores significativos en los modelos de ciclos de nutrientes, y (ii) la importancia de las enmiendas orgánicas en mejorar la disponibilidad de P para la planta en suelos volcánicos que fijan bastante fósforo (16).

En el artículo científico titulado: "*Application of different organic wastes on soil properties and wheat yield*", cuyo objetivo es evaluar la aplicación de diferentes residuos orgánicos sobre las propiedades del suelo y rendimiento de trigo, utilizaron por 4 años residuos orgánicos compostados y frescos [vinaza de remolacha (VR), lodos de depuradora (LD), y compost de algodón triturado de desmotadora (CATD)] incorporados a un suelo *Typic Xerofluvent* en condiciones de secano cerca de Sevilla, España. Los residuos orgánicos fueron aplicados a dosis de 5, 7.5 y, 10 Mg MO. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Se evaluó el efecto sobre las propiedades físicas del suelo, biomasa microbial del suelo, y seis actividades de enzimas en el suelo (dehidrogenasa, ureasa, proteasa, β-glucosidasa, arilsulfatasa, y fosfatasa alcalina y parámetros de rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* cv. Cajeme). Teniendo como resultado que la aplicación de compost de CATD mejoró las propiedades físicas del suelo (estabilidad estructural, densidad de volumen), propiedades químicas (porcentaje de sodio intercambiable), y propiedades biológicas (biomasa microbial, respiración del suelo, y actividades enzimáticas) y los parámetros de rendimiento de trigo; sin embargo, la aplicación de LD afectó adversamente las propiedades biológicas del suelo y redujo el rendimiento de trigo, probablemente debido a las grandes cantidades de metales pesados. La aplicación de VR fresco también afectó adversamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y el rendimiento de trigo, probablemente debido a las grandes cantidades de Na y ácidos fúlvicos introducidos al suelo por la vinaza, que desestabilizaron su estructura. El rendimiento de trigo disminuyó en 22.5% en el tratamiento con VR con respecto al suelo enmendado con CATD, 13.6% en el tratamiento con LD con respecto al suelo enmendado con CATD, y 7.9% en el tratamiento con VR con respecto al suelo enmendado con LD. El estudio aporta que estos resultados sugieren que la composición química de los tres residuos orgánicos influyó notablemente en las propiedades del suelo y por lo tanto en los parámetros de rendimiento de trigo. De los tres residuos orgánicos estudiados, solo la aplicación de CATD originó un efecto positivo en el suelo y en los parámetros de rendimiento de trigo, mientras que la

aplicación de VR y LD originaron un efecto negativo en las propiedades del suelo y por lo tanto en los parámetros de rendimiento de trigo (17).

En el artículo científico titulado “Efecto del arsénico sobre plantas forrajeras de importancia pecuaria en la Argentina”, cuyo objetivo fue determinar el efecto del As presente en el agua de riego sobre los parámetros de germinación y sobre la biomasa aérea en dos de las principales especies forrajeras utilizadas: ryegrass perenne (*Lolium perenne*) Var. *Horizon* y alfalfa (*Medicago sativa* L.). El estudio aporta una metodología para determinar el efecto del As presente en el agua de riego sobre la producción de biomasa, se colocaron cantidades iguales de suelo comercial (proveniente de Escobar, provincia de Buenos Aires, Argentina) en 6 reactores. Los mismos se dividieron luego al azar en dos grupos, y cada uno fue asignado a un tratamiento distinto (0 y 1 mg/L de As), de modo que todos los tratamientos se realizaran por triplicado. En cada uno se sembraron, a chorrillo las semillas según recomendaciones para cada especie, y en cantidades iguales en cada reactor. Los reactores fueron regados con agua destilada hasta la germinación de las semillas. Tras la aparición de los primeros brotes, las mismas fueron regadas con las soluciones preparadas para cada tratamiento. Presenta como resultado que no se detectó un impacto significativo sobre el porcentaje de germinación en ninguna de las dos especies, pero sí sobre las longitudes de hipocótilo de alfalfa y en las longitudes radiculares de ambas especies. Se observó una disminución de la biomasa en presencia de arsénico, pero esta fue no significativa.

Estos resultados evidencian la importancia de profundizar el estudio de los efectos del arsénico y otros elementos traza asociados en el desarrollo de los forrajes, principal sustento de la producción ganadera (18).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Fundamentos teóricos de la investigación**

#### **2.2.1.1 Contaminación del suelo**

La contaminación del suelo se refiere a la introducción de elementos extraños al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su

efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o es susceptible de transmitirse a otros sistemas (19).

### **2.2.1.2 El arsénico en el suelo**

#### **2.2.1.2.1 Fuentes de arsénico en los suelos**

##### **A) Materiales parentales del suelo**

La principal fuente natural de arsénico en el suelo, es la meteorización de los materiales parentales (rocas). Las pizarras con un promedio de 13 mg.kg<sup>-1</sup> (20), arcillas y fosforitas con un promedio de 22,6 mg.kg<sup>-1</sup> (21), comúnmente contienen elevadas concentraciones de arsénico; mientras que las areniscas con un promedio de 0,5 a 1,0 mg.kg<sup>-1</sup>, las calizas con un promedio de 1,5 mg.kg<sup>-1</sup> y las rocas ígneas con un promedio de 1,5 a 3,0 mg.kg<sup>-1</sup> (20), muestran concentraciones típicamente bajas de arsénico que los promedios mundiales para los suelos que reportan promedios de 7,2 mg.kg<sup>-1</sup> (2).

Las pizarras, las arcillas y las fosforitas (fosfatos) comúnmente contienen elevadas concentraciones de arsénico (As) mientras que las areniscas, calizas y rocas ígneas muestran concentraciones típicamente bajas de As que el promedio de los suelos del mundo (7).

##### **B) Deposición atmosférica**

Una fuente importante de As en el suelo es la deposición atmosférica, especialmente en la vecindad de operaciones mineras y fundiciones metálicas, y en áreas urbanas. Las concentraciones de As en el aire provenientes de áreas remotas son muy bajas con valores promedio típicos < 0.01 ng.m<sup>-3</sup> pero pueden incrementarse en varios órdenes de magnitud en áreas urbanas y distritos mineros. El arsénico es depositado en la superficie del suelo vía deposición seca y húmeda, constituyendo juntos el As atmosférico total que entra al suelo del cual entre el 50 al 80% está presente en forma soluble (22).

### **C) Aguas subterráneas**

El suelo en contacto con el agua (*Gleysoils*) o con riego con agua subterránea (suelos arroceros) puede recibir ingresos adicionales de As, especialmente donde el acuífero está en contacto con sedimentos ricos en As o materiales de desecho de minas (23).

El nivel de fondo estimado en el mundo para concentraciones de As en aguas subterráneas está en el rango de 0.5 – 0.9 µg.L-1, pero las concentraciones pueden exceder los 1000 µg.L-1 debido a influencias antropogénicas o geogénicas. Probablemente el caso más conocido es el desastre de As en el Este de Bengala (India) y Bangladesh donde no solo cientos de miles de personas sufrieron de enfermedades relacionadas al uso de tubos de agua contaminados (24) (25), sino campos con riego (arroceros) resultaron en una acumulación significativa de As en los suelos (26) (27) y transferidos a los canales alimenticios (28).

### **D) Materiales agrícolas**

En el manejo de suelos agrícolas, las entradas de As pueden provenir de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, cal, pesticidas (insecticidas, herbicidas), defoliantes (en el cultivo de papa), desecantes, esterilizantes de suelo, residuos de ganado (donde los compuestos de As son utilizados como un aditivo del forraje) y biosólidos como compost o lodos de depuradora) (29) (30).

En 1600, los primeros usos de As inorgánico como un insecticida (en cultivos de arroz) fueron documentados en la Enciclopedia China de Medicina (29). El excesivo uso por largo tiempo de pesticidas arsenicales inorgánicos, en particular ácido arsénico (H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>), arsenatos de Pb y Ca, desde el año 1860 hasta la introducción del DDT y otros substitutos orgánicos en el año 1940 han dejado acumulación de As en muchos suelos agrícolas (manzana) (31) (32) (33) (34) (35). Los compuestos organoarsenicales, en particular metaarsenatos monosódicos, monoamónicos y disódicos, y el ácido dimetil arsénico han sido usados desde mediados del año 1970 como herbicidas selectivos para control postemergente en cultivos de cítricos y algodón, así como para el control de enfermedades en áreas no cultivadas como pastos. Su repetida alta aplicación puede conducir a acumulación de As en el suelo (2) (4).

La mayor parte de los fertilizantes contienen solo bajas concentraciones de arsénico. Sin embargo, dependiendo de la fuente y el proceso de producción de roca fosfatada, los fertilizantes fosfatados pueden ser una fuente significativa de As en suelos fertilizados con altas dosis de P (30). Con alta densidad de ganado y donde los compuestos inorgánicos de As son usados como promotores de crecimiento en alimentos para animales (aditivos alimenticios), el reciclaje de estiércol orgánico y aguas residuales a los suelos puede contribuir a incrementar el contenido de As en el suelo. Las concentraciones de As en cama de animales de granja alcanzan 77 mg/kg y su solubilidad en agua alcanza el 70%, que, con grandes dosis de aplicación, sugiere un efecto potencial perjudicial en la calidad del suelo y del agua a largo plazo (36) (37) (38).

## **E) Residuos y biosólidos**

Los biosólidos tales como el compost y lodos de depuradora son parcialmente reciclados para ser aplicados a los suelos agrícolas y su uso es cada vez más creciente. Algunos biosólidos pueden contener altos niveles de arsénico, dependiendo del origen (industrial, comunal), la colección (sistemas mezclados de alcantarilla o separados) y proceso tecnológico. Sin embargo, en algunos países se prohibió la aplicación de tales materiales al suelo y se han hecho grandes progresos en la producción de biosólidos “limpios”, es decir, a través de la separación de flujo de residuos industriales y comunales (domésticos) y el muestreo separado de residuos metálicos. En general, la disposición y reutilización agronómica de algunos residuos comunales e industriales, incluyendo biosólidos, son una fuente potencial de As en los suelos (7).

### **2.2.1.2.2 Comportamiento químico del arsénico en la fase sólida del suelo**

El arsénico en los suelos está mayormente asociado con sus minerales primarios derivados de los materiales parentales, minerales secundarios (principalmente sulfuros de Fe oxidados e hidroxidados) formados en el curso de la meteorización de los minerales, y el As adsorbido a superficies de minerales (39). El arsénico orgánico presente en pisos forestales, turba y otros materiales de tipo de suelos altos, en materia orgánica, son típicamente derivados de residuos de plantas (40). La asociación relevante con Ca (minerales) es probable que se presente en ambientes extremadamente alcalinos y ha sido solo inferido de estudios con fases puras como calcita (41).

Debido a que EDTA-NH<sub>4</sub> 0.025 M (pH 4.6) se ha mostrado como el extractante de fracciones de metales asociados con la materia orgánica del suelo, este agente se probó para la extracción de formas orgánicas de As de varios suelos colectados de los Alpes Austriacos (42). Sin embargo, los bajos rendimientos de extracción (2-7% del As total) y la carencia de correlación con la materia orgánica del suelo sugiere solo una importancia marginal del As enlazado orgánicamente en suelos minerales mayormente aeróbicos. Se estudió la solubilidad y la especiación del As en cuatro suelos con contenidos de materia orgánica (mezcla de estiércol de aves de corral y musgo de turba) que variaron entre 0.5% y 15%, y el carbono orgánico disuelto correspondiente entre 0.02 y 0.30 g.kg<sup>-1</sup>. La concentración de As soluble incrementó con la materia orgánica y carbono orgánico disuelto (COD) del suelo, indicando que la movilización del As por el COD fue más efectiva que la adsorción a la materia orgánica en la fase sólida (43). Además, la materia orgánica y el COD han mostrado que disminuyen la adsorción del arseniato a la goetita (44), hematita (45) y suelos (46) (47) (48).

#### **A) Mecanismos de adsorción**

El principal mecanismo de adsorción de arsénico a la materia orgánica sólida y disuelta puede incluir la formación de complejos de esfera interna de As con grupos amino de ácidos húmicos a pH7 cargados positivamente (49) y complejos ternarios con puentes de cationes metálicos (para ácidos fúlvicos), primariamente con Fe, Al, Mn, Ca y Mg (50). Se ha sugerido la participación de grupos fenólicos y carboxílicos en la complejación de esfera interna de arsénico por ácidos húmicos y fúlvicos (51).

La adsorción de arsénico a una variedad de compuestos se ha mostrado ser más o menos dependiente del pH del sistema, con una variación menor de la adsorción para As(III) comparado a As(V). La forma de la adsorción dependiente del pH y su correspondiente máximo no solo depende del tipo y naturaleza del adsorbente sino también de las condiciones experimentales tales como fuerza e índice iónico del electrolito y la carga relativa de As comparado a la máxima capacidad de adsorción (7). El efecto del pH sobre la adsorción de As(V) en los suelos parece ser generalmente pequeña. Sin embargo, la adsorción contrastante de As(V) (disminución constante versus adsorción máxima alrededor de pH 6-7) se ha reportado donde se observaron los efectos del pH. Como se mostró para un suelo, estos patrones pueden ser posteriormente modificados en la presencia de carbonatos con una adsorción creciente hasta pH 10.5 (52); sin embargo,

estos hallazgos no han sido confirmados en otros estudios incluyendo suelos calcáreos. Los resultados divergentes pueden ser parcialmente explicados por el uso de diferentes soluciones de electrolitos en términos de catión índice (Ca divalente vs. Na, K monovalente) y fuerza iónica (variando de 0.001 a 0.3 M), como se observó en una disminución constante de adsorción de As(V) con el incremento del pH a fuerzas iónicas moderadas y muy bajas, pero se desarrolló una adsorción parabólica en la presencia de una solución de electrolito de 0.3 M (53). Estudios sobre la adsorción de As(III) en los suelos son generalmente escasos, con solo un artículo que ha desarrollado adsorción de As(III) como una función del pH, sugiriendo que la adsorción de As(III) puede incrementarse marcadamente a  $\text{pH} > 5$  (53).

El calcio presente en una solución de electrolito o solución suelo puede incrementar la adsorción de arseniato en los suelos lo cual ha sido atribuido al incremento de cargas positivas cerca de superficies cargadas negativamente (54). Este efecto fue más pronunciado en la adsorción de As(V) comparado a As(III) y varió con la disponibilidad de sitios de adsorción en el suelo, es decir, el efecto fue mayor donde la capacidad de adsorción fue pequeña o los sitios de adsorción estuvieron ocupados. Además, el efecto del calcio se espera sea más importante donde las fuerzas de Coulomb estén significativamente involucradas en los enlaces de As a la superficie y en suelos variablemente cargados.

### **2.2.1.3. El arsénico en la planta**

La acumulación de arsénico en las plantas puede estar afectada por muchos factores, incluyendo las especies de plantas, el tipo de compuestos utilizados, los métodos de aplicación, las condiciones del suelo y la aplicación de fertilizantes. Es raro que la acumulación de arsénico en las plantas alcance niveles perjudiciales para los seres vivos, porque invariablemente el crecimiento es reducido antes de que el contenido alcance niveles tóxicos (55).

#### **A) Fitotoxicidad**

La fitotoxicidad del arsénico viene determinada por la forma química presente en el suelo. El arsenito es más fitotóxico que el arseniato y ambos son mucho más fitotóxicos

que el metanoarseniato monosódico (MAMS) y el ácido cacodílico (AC). Si los arsenicales son aplicados foliarmente, entonces el CA es el más fitotóxico (56).

La fitotoxicidad de los residuos de arsénico está influenciada más por las formas químicas que presentan que por su cantidad (57). Es raro que la disminución de una cosecha pueda ser correlacionada con el arsénico total del suelo (58). Los diferentes compuestos varían en su disponibilidad y, por tanto, en su toxicidad; siendo el arsénico soluble en agua más fitotóxica que otros más fuertemente enlazados. Se reporta una correlación significativa entre el logaritmo del arsénico total y la reducción del crecimiento en cereales ( $r = 0.74$ ), pero cuando la suma de las fracciones de arsénico soluble en agua, arsénico-calcio, arsénico-aluminio, y arsénico-hierro se correlacionan con el crecimiento, el coeficiente de correlación es de 0.82 (57).

La textura del suelo es un factor importante en la determinación de la fitotoxicidad del arsénico añadido al suelo. Altas proporciones de arseniato de calcio aplicadas desembocan en residuos de arseniato en suelos de textura gruesa en cultivos de algodón. Estos residuos causan reducción en el crecimiento de varias plantas incluyendo el algodón, soja y arroz. Similares proporciones de aplicación a suelos de textura fina no producen problemas tóxicos a estas plantas. En estudios similares sobre el efecto del arsénico en el crecimiento de cereales, una toxicidad mucho más pronunciada se observó en un suelo con poca arcilla que en otro con mucha arcilla. Las reducciones de la cosecha están directamente relacionadas a los niveles de arsénico extraíbles del suelo en acetato amónico (55).

Otro reporte encontró correlaciones que dan cuenta del 64-83% de la variación entre los niveles de arsénico disponible y el crecimiento de la planta. Este investigador empleó ecuaciones de regresión para determinar los niveles de arsénico disponibles, necesarios para reducir el crecimiento de una planta en un 50%. De tal forma que al aumentar el tamaño de las partículas que constituyen el suelo, aumentan los efectos fitotóxicos (57).

Los compuestos orgánicos de arsénico son aplicados en proporciones considerablemente más bajas que los inorgánicos, resultando menos fitotóxicos para los cultivos. Los herbicidas, en cuya composición interviene el ácido metanoarsénico monosódico (MAMS) o el ácido cacodílico (AC), son aplicados, a ciertos cultivos, más de tres veces en una misma estación, en proporciones que no exceden los 4.5 kg de MAMS por hectárea o los 5.6 kg de AC por hectárea. Se calculó que la entrada más grande de



arsénico elemental era como MAMS (5.5 kg) o como AC (9 kg). Normalmente las proporciones requeridas para la mayoría de los cultivos agrícolas y para el control de malas hierbas no serían mayores. Solo se han encontrado pequeños efectos en el crecimiento de soja y avena como consecuencia de los residuos del metanoarseniato disódico (MADS) aplicado a suelos dedicados al cultivo de algodón. Basándose en estudios de invernadero, se puede afirmar que el algodón tolera hasta 50 ppm de arsénico. Sin correcciones por pérdida de arsénico, se ha calculado que se tardaría más de 40 años para que los niveles de MADS alcanzaran esta concentración usando las proporciones recomendadas (59).

Sin embargo, los cultivos realizados en rotación con el algodón son más susceptibles. Debido a esta mayor susceptibilidad por parte del arroz al MADS, se han investigado los efectos de diferentes niveles de MADS sobre diversos tipos de suelos. Así, se demostró otra vez, la importancia de la textura del suelo en la determinación de la fitotoxicidad de las adiciones de arsénico. La adición de MADS a niveles entre 2.5 y 100 ppm, solo afectó significativamente al crecimiento del arroz cuando este se desarrollaba sobre un suelo margo-limoso, pero no le afectaba si se trataba de un suelo arcilloso (55).

En raíces, todos los aniones son fuertemente adsorbidos a la superficie de la membrana, posteriormente sigue una conducción metabólica, una transferencia selectiva al simplasto y por último son transportados a la parte superior de la planta (60). En particular la adsorción del arsenito y del arseniato en la superficie radicular externa es bastante rápida e intensa, obteniéndose de esta forma concentraciones muy altas de arsénico en las raíces de plantas que se desarrollan en cultivo hidropónico (61). La velocidad del proceso de adsorción-absorción sigue el siguiente orden, de mayor a menor: arseniato, arsenito y compuestos orgánicos, en plantas de soja (61).

Existe una serie de antecedentes que indican que el arseniato compite con el fosfato como substrato en un sistema de asimilación, en una amplia variedad de especies: angiospermas, musgos, líquenes, hongos y bacterias (60).

Se ha encontrado que la toma de arsénico por semillas de cebada consistía en una fase inicial rápida, seguida por una fase "estable", que dura un mínimo de 40 minutos. Ambas fases están marcadamente afectadas por la temperatura. El fosfato se encontró que era un poderoso inhibidor de la toma de arseniato, siendo afectadas ambas fases de

la absorción. Este hecho nos indica que ambos iones son transportados por el mismo mecanismo (el cual tiene una mayor afinidad por el fosfato que por el arseniato) (62).

Cuando el arseniato y el arsenito son suministrados a plantas sanas, ambas fases de la toma son aparentemente de 3 a 4 veces superiores para arseniato que para arsenito. Parece ser que la toma de arsenito es también un proceso metabólico, pero la vía de entrada a la planta no se ha establecido (55). Por último, otro trabajo demuestra la anterior afirmación (63), donde se observó que el fosfato era un inhibidor competitivo en la toma de arseniato.

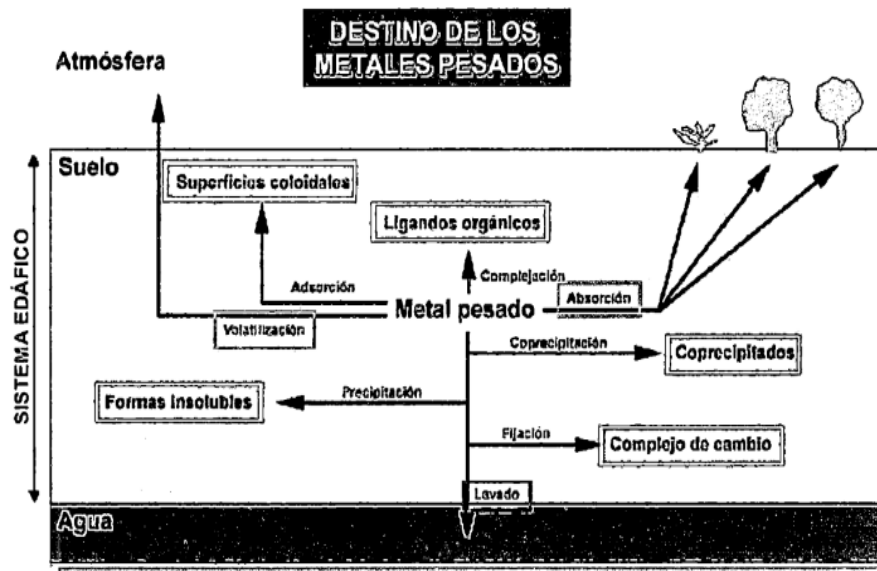
Se parte del hecho de que ambos iones son tomados por un sistema común (mayor afinidad por el fosfato), e intentan ver las diferencias existentes entre los sistemas de asimilación de individuos no tolerantes y tolerantes al arsénico de *Holcus lanatus*. Sus resultados indican que, en plantas no tolerantes, la toma de fosfato y arseniato parece ser bifásica, consistiendo en una etapa de alta afinidad (concentración baja), y otra de baja afinidad (concentración alta). Mientras que en plantas tolerantes la etapa de alta afinidad parece no existir (60).

Posteriormente se ha demostrado que, aunque la toma de arseniato en plantas tolerantes se reduce (frente a las no tolerantes), su transporte a la parte superior no se ve afectado (se transporta un mayor porcentaje del elemento tomado que en el otro tipo de individuos) y, por tanto, este hecho no explica adecuadamente el fenómeno de tolerancia. Una posible solución que se sugiere es la detoxificación bioquímica del elemento en el interior de las plantas, según la cual, el arseniato dentro de las células sería metilado y convertido en un derivado trimetilado de ribosa. Este fenómeno biológico se produce en ambos tipos de plantas, pero en las no tolerantes la velocidad del proceso no es suficiente para eliminar la acumulación que se produce del elemento (60).

#### **2.2.1.3.1. Disponibilidad del arsénico**

El suelo es un medio receptor de diversos contaminantes en el cual la dinámica de estos contaminantes va a depender la disponibilidad de este en el suelo, existen 4 vías en las que son incorporados en el suelo:

- Quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así, incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas. (64)



**Figura 4. Dinámica de los metales pesados en el suelo**  
Fuente: (4)

### 2.2.1.3.2. Factores que afectan en la disponibilidad del As

#### A) Factores del suelo

De acuerdo a las características edáficas dependerá el comportamiento del suelo frente a la disponibilidad de As.

Existen factores principales del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad del As como:

#### a) pH

El pH es uno de los parámetros más importantes para poder definir la movilidad del catión (65). Las fracciones más móviles de iones ocurren en los rangos menores de pH. Sin embargo, la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido. En

medios alcalinos pueden pasar nuevamente a la solución como hidroxicomplejos (64). Generalmente con un aumento del pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y la concentración de elementos traza es menor en la solución de suelos neutros y básicos que aquellos ligeramente ácidos (4).

El comportamiento del As con un aumento en el pH provoca una movilización de este en el suelo. En general, un aumento en el pH del suelo provoca una liberación de aniones desde dentro de sus posiciones de cambio. En suelos alcalinos bien aireados, la solubilidad del arsénico es limitada por su precipitación como arseniatos de Ca o Fe. Cuando el pH cae por debajo de 2,5 el As(V) pasa a estar completamente protonado, lo que hace que sea menos probable que se retenga por las partículas del suelo (55).

## **b) Condiciones redox**

La condición de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido y del cambio directo en la valencia de ciertos metales. Generalmente, las condiciones redox afectan indirectamente la movilidad de los metales, siendo más solubles en medios reducidos (66).

El comportamiento del As está controlado por reacciones de retención y liberación de Fe, Al, óxidos de Mn y oxihidróxidos, los suelos con una gran cantidad de hierro tienen una mayor capacidad de retención de arseniatos y arsenitos. La distribución de estos sólidos en el suelo depende tanto del pH y Eh como de los suelos involucrados; esto hace que, en condiciones reductoras la estructura de los hidróxidos de Fe y Mn se rompe, y el arsénico se fija en el interior de la superficie de estos compuestos. La adsorción de arsénico con óxidos depende de la duración de la interacción entre el As y el óxido, la liberación del arsénico será más difícil a medida que aumenta el tiempo de interacción (55).

La adición al suelo de Fe en varias formas inmoviliza el arsénico. Por ejemplo, adiciones de óxidos de Fe, suelos ricos en hierro (los de color rojizo), sales inorgánicas Fe o subproductos industriales ricos en Fe, junto con  $\text{CaCO}_3$ , fueron utilizados para aumentar la cantidad de óxidos del suelo, que, a su vez, inmoviliza al arsénico (67).

### **c) Textura y estructura**

La estructura como la textura son importantes en la infiltración, adsorción y/o pérdida de los metales pesados en el suelo (68). Las arcillas pueden retener los metales pesados en las posiciones de cambio, impidiendo su paso a los niveles freáticos (69). Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Estas dos características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales y la reducción de su pérdida por lixiviación. Ese hecho es de vital importancia puesto que, gracias a este proceso de adsorción, los cationes están disponibles para la vegetación (70).

El comportamiento del As en la textura del suelo dependerá de la disponibilidad de arsénico, es mayor en arena que en los suelos de arcilla, aunque la retención de As en arcillas es menos eficaz que con óxidos, existen muchos factores implicados en la adsorción en el suelo y los procesos de desorción que afectan a la movilidad de arsénico como la estructura de los minerales primarios y secundarios, y la duración de la interacción que existe entre las arcillas de un suelo y el arsénico (67).

### **d) Materia orgánica**

La materia orgánica tiene una gran importancia en todos los procesos de adsorción del suelo. Actúa como ligandos en los complejos de intercambio, mediante la cesión de electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos, que aceptan estos electrones, formando los quelatos que pueden migrar con facilidad a lo largo del perfil (70). Por lo tanto, la complejación por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia, en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión (71).

El comportamiento de la materia orgánica en el As del suelo presenta más cargas negativas que positivas. Las funciones ácido permiten que las moléculas orgánicas puedan ser adsorbidas por interacciones iónicas o por iones ión-dipolo, el carácter ácido del humus origina combinaciones cálcicas que ejercen una influencia en la fijación del arseniato, cuando el humus se fija en la arcilla puede desplazar a los compuestos que están adsorbidos sobre ella provocando una solubilización del As (55).

### **e) Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se define como la cantidad de cationes reversiblemente adsorbidos expresados como moles de carga positiva por unidad de peso del mineral (72) y está muy condicionada por la cantidad, tipo de arcilla y la materia orgánica. Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales.

El comportamiento del As en la capacidad de intercambio catiónico va a estar en función al contenido y naturaleza de la arcilla, y la materia orgánica del suelo; ya que controlará la disponibilidad del As, un incremento en la capacidad de intercambio catiónico produce un aumento en el tiempo en el que el As se encuentra disponible para las plantas dado que aumenta la capacidad del suelo de fijar o retener el As.

El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos (73).

#### **2.2.1.4. Enmienda orgánica**

##### **A) Enmienda orgánica**

Son sustancias orgánicas que se aplican a los suelos mejorando sus características químicas, físicas y biológicas (74).

##### **a) Caracterización de las enmiendas orgánicas**

Existen distintos tipos de enmiendas orgánicas, las cuales son subproductos o residuos de distintas actividades productivas.

Se clasifican en:

- Subproductos orgánicos de origen animal: guanos, estiércol y purines.
- Lodos del tratamiento de residuos industriales líquidos: lodos de aguas servidas, lodos industriales, lodos de procesos productivos como pisciculturas.

- Subproductos de la industria o actividades productivas: cal de la industria de azúcar, conchas de envasadoras de mariscos, mataderos (75) .

La composición nutricional de un mismo tipo de enmienda orgánica es variable debido principalmente a los siguientes factores:

- Tipo, categoría y raza animal
- Dieta suministrada
- Suplemento usado en la dieta
- Manejo y condiciones de almacenamiento de los residuos
- Tratamiento

Parámetro determinado	Guano de broiler (n= 30)	Guano de pavo (n= 10)	Guano de pavo madurado (n= 10)	Bioestabilizado de cerdo (n= 20)	Purín de bovino (n= 102)	Estiércol de bovino (n= 10)	Lodo de piscicultura	
							en tierra (n= 4)	en mar (n= 7)
Humedad (%)	19 - 43	15 - 50	24 - 50	10 - 45	97,0	75,8	51,3	84,8
pH	6,9 - 9,1	5,3 - 7,4	5,6 - 8,2	6,8 - 8,6	7,3	8,0	6,0	7,2
CE (dS m <sup>-1</sup> )	6,0 - 12,0	7,7 - 18,2	10,0 - 29,8	3,2 - 13,4	35,7	3,0	0,2	27,028
MO (%)	65 - 70	64 - 85	66 - 83	41 - 60	66,1	62,0	15,1	11,1
Relación C/N	6,6 - 16,7	9,0 - 12,8	8,1 - 16	8,8 - 20,6	0,9	16,6	15,3	17,9
C total (%)	43 - 44	36 - 47	31 - 41	26 - 41	4,3	34,4	8,4	6,2
N total (%)	2,1 - 3,7	3,3 - 4,4	2,3 - 4,5	1,5 - 3,4	8,23	2,16	0,57	0,41
N amoniacal (%)	0,31 - 0,65	0,6 - 1,3	0,4 - 1,5	0,7 - 1,3	2,96	0,42	0,28	S/inf.
N nítrico (%)	0,3 - 0,65	0,05 - 0,15	0,06 - 0,5	0,01 - 0,05	0,08	S/inf.	S/inf.	S/inf.
P total (%)	0,81 - 2,25	1,7 - 3,1	2,05 - 3,88	2,27 - 3,78	0,88	0,63	0,78	0,81
K total (%)	1,2 - 3,7	2,5 - 3,4	3,1 - 3,6	1,0 - 2,0	5,00	2,13	0,12	0,63
Ca total (%)	1,3 - 3,1	4,4 - 7,5	4,8 - 7,9	3,2 - 6,4	1,84	1,38	1,55	2,62
Mg total (%)	0,33 - 0,65	0,65 - 1,25	1,0 - 1,47	0,96 - 1,88	0,82	0,49	0,38	1,65
Na total (%)	0,23 - 0,78	0,18 - 0,28	0,18 - 0,78	0,13 - 0,65	1,21	0,28	0,09	11,8
S total (%)	0,2 - 0,4	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6	0,18 - 0,98	0,56	0,38	S/inf.	

**Figura 5. Composición nutricional de principales enmiendas orgánicas**  
Fuente (5)

En general puede observarse que existe una gran variabilidad en las distintas enmiendas orgánicas, tanto en parámetros físicos como químicos. En los lodos de

piscicultura se puede visualizar la diferencia en la concentración de MO (%) en tierra (15,19) es mayor que en agua (11,1), esto se debe a que se retienen mejor las partículas en tierra mientras que en agua están disueltas (75).

## **b) Caracterización física, química y biológica de los abonos orgánicos**

Los abonos orgánicos, por las propias características en su composición, enriquecen al suelo modificando algunas propiedades y características de este.

- **Efectos de los abonos orgánicos sobre las características físicas del suelo**

Los abonos orgánicos influyen favorablemente sobre las características físicas del suelo (fertilidad física); estas características son: estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados (76).

- **Efectos de los abonos orgánicos sobre las características químicas del suelo**

Los abonos orgánicos por su origen pueden llegar a ser distintos en su composición química teniendo como efecto características como: materia orgánica, derivado de esto aumenta el porcentaje de nitrógeno total, la capacidad de intercambio de cationes, el pH y la concentración de sales (76).

- **Efectos de los abonos orgánicos sobre las características biológicas del suelo**

Los abonos orgánicos están compuestos por el estiércol que contiene grandes cantidades de compuestos de fácil descomposición incrementando la actividad biológica. Los microorganismos influyen en distintas propiedades del suelo como: la estructura del suelo y la relación con la disponibilidad de nutrientes, también ejercen efectos directos en el crecimiento de plantas (76).

A continuación, se presenta la tabla en la que especifican los parámetros a caracterizar de un abono orgánico mediante los criterios del ECA ABONO, Colombia.



**Tabla 2. Requisitos específicos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo**

Clasificación del producto	Indicadores relacionados con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)
<p><b>Abono orgánico</b></p>	<p>Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas por volatilización % *</li> <li>• Contenido de cenizas máximo 60% *</li> <li>• Contenido de humedad *:  <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Para materiales de origen animal, máximo 20 %</li> <li>✓ Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %</li> <li>✓ Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.</li> </ul> </li> <li>• Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 %.</li> <li>• N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%)</li> <li>• Relación C/N</li> <li>• Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg<sup>-1</sup> (meq/100 g)</li> <li>• Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso</li> <li>• pH mayor de 4 y menor de 9</li> <li>• Densidad máximo 0,6 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación:  Arsénico (As) 41  Cadmio (Cd) 39  Cromo (Cr) 1 200  Mercurio (Hg) 17  Níquel (Ni) 420  Plomo (Pb) 300  Se indicará la materia prima de la cual procede el producto.  La suma de estos parámetros debe ser 100.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C)</li> <li>• Humedad máxima (%)</li> <li>• Contenido de cenizas (%)</li> <li>• Capacidad de intercambio catiónico (cmol (+) kg<sup>-1</sup> (meq/100 g)</li> <li>• Capacidad de Retención de Humedad (%)</li> <li>• pH</li> <li>• Contenido de Nitrógeno Total (% N)</li> <li>• Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</li> </ul>

Clasificación del producto	Indicadores relacionados con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)
<b>Enmienda húmica sólida</b>	Producto orgánico sólido de origen pedogenético o geológico con o sin tratamiento químico que aplicado al suelo aporta o genera humus mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y que cumplen las especificaciones que se indican.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el producto no tiene tratamiento químico debe ser insoluble en agua y su disolución en medio alcalino debe ser mínimo el 50 % en peso.</li> <li>• Si el producto tiene tratamiento químico debe ser soluble en agua y la disolución en agua debe desarrollar pH alcalino.</li> <li>• Contenido de carbono orgánico oxidable total, mínimo 30 %</li> <li>• Extracto húmico total expresado como carbono (carbono total soluble en medio alcalino). Mínimo 30 % del carbono orgánico oxidable total.</li> <li>• Carbono de ácidos húmicos. Mínimo el 60 % del carbono del extracto húmico total.</li> <li>• Nitrógeno orgánico, reportar %</li> <li>• Humedad máxima: 20 %</li> <li>• Granulometría: tamaño de partícula, reportar</li> <li>• Indicar el origen del cual procede el producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbono orgánico oxidable total % C</li> <li>• Carbono del Extracto Húmico Total %CEHT</li> <li>• Carbono de ácidos Húmicos % CAH (% CAH/ % CEHT) x 100 &gt; % 60</li> <li>• Humedad máxima %</li> <li>• Solubilidad en medio alcalino %</li> </ul>

**Fuente: (6)**

## **B) Sedimentos de piscigranja**

Los sedimentos de piscigranja se generan por la actividad de las piscícolas compuestas principalmente por alimento no consumido, partículas fecales, escamas y restos de productos de desinfección. Estos componentes poseen una densidad mayor a la del agua, por lo que tienen a irse al fondo de la poza, mientras tanto, los que no depositan se quedan en forma de sólidos en suspensión.

En la actividad piscícola, la descarga de desechos aporta notablemente una carga de materia orgánica y nutrientes al cuerpo de agua, dentro de los cuales los nutrientes de mayor incidencia son el fósforo (P) y nitrógeno (N). Se determinó para la trucha arcoíris, que del 100% del fósforo contenido en el alimento, el 15% es utilizado en la producción de peces, mientras que del 85% restante, el 25% es liberado como desecho soluble y el 60% es descargado como desecho sólido (77).

Respecto a un estudio sobre el estiércol de los peces frescos tiene niveles similares de N, P, Ca y Mg, y niveles más bajos de K en comparación con el estiércol de la carne de vaca, el ganado lechero, las aves de corral y el cerdo. El estiércol de peces tendía a tener un mayor contenido de Mn, Cd, Cr, Pb, Fe y Zn que la mayoría de los otros estiércoles de ganado, pero tenía niveles más bajos de As, Se, Co y Ni. Los resultados de este estudio indican que el estiércol de los peces frescos es similar en su composición química a otros estiércoles de ganado, y debe ser adecuado para su uso como fertilizante agrícola (78).

### **2.2.1.5. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados**

#### **A) Plantas hiperacumuladoras**

Todas las plantas poseen un potencial para absorber una amplia variedad de metales del suelo, pero la mayor parte de las plantas tienden solamente a absorber los que son esenciales para su supervivencia y desarrollo. Existe una notable excepción de esta regla de un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles de ciertos metales, estas plantas reciben el nombre de hiperacumuladoras (79).

Las primeras plantas hiperacumuladoras caracterizadas son miembros de las familias *Brassicaceae* y *Fabaceae*. A continuación, se muestra el número de plantas hiperacumuladoras de metales en el mundo.

**Tabla 3. Número de plantas hiperacumuladoras de metales en el mundo**

<b>Metal</b>	<b>Número de taxones</b>	<b>Número de familias</b>
Arsénico	2	1
Cadmio	2	1
Cobalto	26	11
Cobre	35	15
Plomo	14	7
Manganeso	9	5
Nikel	317	37
Selenio	20	7
Zinc	13	5

*Fuente (7)*

**Tabla 4. Criterios para plantas hiperacumuladoras**

<b>Metal</b>	<b>Concentración de metal (% , materia seca)</b>
Arsénico	> 0.1
Cadmio	> 0.01
Cobalto	> 0.1
Cobre	> 0.1
Plomo	> 0.1
Manganeso	> 1.0
Nikel	> 0.1
Selenio	> 0.1
Zinc	> 1.0

*Fuente (7)*

**Tabla 5. Plantas acumuladoras de metales**

Planta	Elemento	Absorción
<i>Alyssun bertolonii</i>	Ni	20%
<i>Arabis stricta</i>	Sr	1-3%
<i>Asteraceae</i>	Zn, As	76%
<i>Astragalus racemosus</i>	Se	1-3%
<i>Becium homblei</i>	Cu, As	1-3%
<i>Betula papyrifera</i>	Hg	1-3%
<i>Brassica Juncea</i>	Cd, Pb	70%
<i>Brassicaceae</i>	Cd, Pb	85%
<i>Crotolaria cobatica</i>	Co	1-3%
<i>Elsholtzia splendens</i>	Cd, Pb	85%
<i>Equisetum arvense</i>	Zn, As	1-3%
<i>Fabaceae</i>	Cu	9-12%
<i>Pimelea suter</i>	Cr	1-3%
<i>Pteridaceae</i>	Cd, Ni	2-4%
<i>Pinus sibericus</i>	w	1-3%
<i>Plantaginaceae</i>	Pb, Zn	69%
<i>Lamiaceae</i>	Zn, Cd	2-6%
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Zn, Pb	Pb 53%
<i>Thlaspi calaminare</i>	Zn, Pb, As	64%
<i>Uncinta leptostachy,</i>	U	1-3%
<i>Helianthus annuus</i>		

Fuente (8)

## B) Plantas hiperacumuladoras de arsénico

La hiperacumulación de metales y metaloides es un raro fenómeno en las plantas superiores terrestres (angiospermas y gimnospermas). Los hiperacumuladores son plantas que pueden tomar y concentrarse en su biomasa aérea al menos 1,0 g kg<sup>-1</sup> de As en comparación con las plantas no acumuladoras, y presentan altas tasas de acumulación, crecimiento y biomasa de producción. Deben tener la capacidad de absorber As incluso en bajos niveles disponibles y, al mismo tiempo, con muchos elementos, y presentan altos niveles de resistencia y tolerancia a las plagas y enfermedades) (80).

Para caracterizar la hiperacumulación de metales y metaloides por las plantas existen factores como: el factor de translocación (TF) y el factor de bioacumulación (BF) (81) (82). El TF demuestra la eficiencia de una planta en el transporte de un elemento desde las

raíces a la parte aérea, mientras que el BF evalúa la eficiencia de una planta para acumular el elemento, teniendo en cuenta su concentración en el ambiente. Cuanto mayor es el BF, mayor la transferencia del elemento desde el suelo o el agua a la planta y, en consecuencia, mayor será la capacidad de la planta para eliminar del medio ambiente ambos factores, cuando es mayor que 1, confirmar el rasgo de hiperacumulación de la planta (80). La mayoría de las plantas tolera las concentraciones de As en el suelo en rango entre 1 y 50 mg kg<sup>-1</sup> (4), mientras que los hiperacumuladores crecen en el suelo con hasta 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de As (80).

La capacidad de las plantas para absorber un elemento varía en función de la concentración, disponibilidad y especiación conjuntamente con otros elementos como el fosfato. En la solución del suelo, ocurre la absorción As a través de las raíces de las plantas por flujo de masa, donde tiende a concentrarse, con poca translocación a la parte aérea (4). En los brotes, la concentración de As disminuye de hojas más viejas a más jóvenes incluyendo tallos, semillas y, finalmente, a frutas, donde los contenidos son aún más bajos en comparación con la parte aérea; es una característica de las especies con potencial de fitorremediación. Como la acumulación en las raíces es una estrategia para mitigar los efectos tóxicos del elemento en los órganos donde prevalecen los procesos fisiológicos, como las hojas (83).

La absorción y translocación de arseniato ocurre de manera similar al del fosfato, que es móvil en la planta y fácilmente se extiende de un órgano de almacenamiento a otro. El fosfato puede brindar en cuanto a ser absorbido por plantas hiperacumuladoras o competir por sitios de adsorción y absorción. Plantas hiperacumuladoras acumulan más fósforo (P) en las raíces y más As en los brotes, dada la absorción competitiva. Este mecanismo se adoptó para reducir los efectos tóxicos del As y mitigar su interferencia metabólica en la planta (83).

#### **2.2.1.6. Ryegrass (*Lolium perenne*)**

El *Lolium perenne* es una gramínea amacollada, perenne, de clima templado, nativo de Europa, Asia y Norte de África; sin embargo, está ampliamente distribuido en el mundo; *Lolium perenne*, también llamado *ryegrass inglés*, puede comportarse como anual de vida corta dependiendo de las condiciones ambientales, tiene como características las siguientes:

- Alto potencial de producción
- Rápido establecimiento
- Adaptación de renovación con labranza mínima
- Adaptación en suelos pesados con poco drenaje

#### A) Ubicación taxonómica

**Tabla 6. Clasificación científica (*Lolium perenne*)**

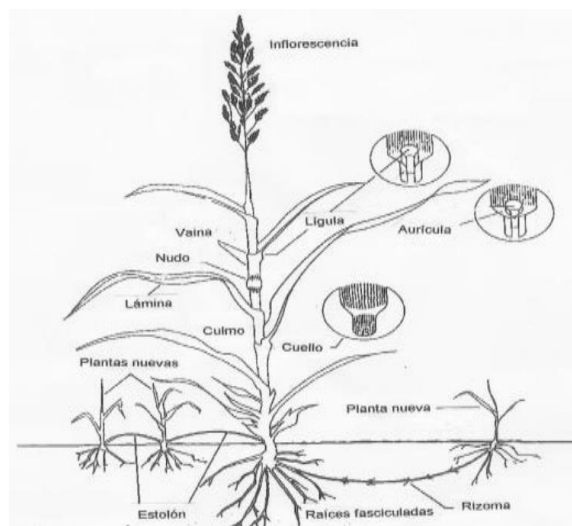
<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>División</b>	<i>Spermatofita</i>
<b>Subdivisión</b>	Angiosperma
<b>Clase</b>	Monocotiledoneae
<b>Orden</b>	Glumiflorae
<b>Familia</b>	Gramineae
<b>Subfamilia</b>	Poacoideae
<b>Tribu</b>	Hordeae
<b>Género</b>	<i>Lolium</i>
<b>Especie</b>	<i>Perenne</i>
<b>Nombre científico</b>	<i>Lolium perenne</i>

**Fuente (22)**

#### B) Descripción botánica

El ryegrass posee raíz fibrosa ramificada, el tallo presenta entrenudos claros con hojas angostas y enrolladas en la yema. La inflorescencia se presenta en forma de espiguillas alternadas, a lo largo del tallo, que toma forma ondulada (84).

El ryegrass perenne es considerada una planta que forma matorros de compacto a medio sueltos, los tallos vegetativos (falsos tallos oseudotallos, formados por la unión estrecha de las vainas) son erectos, con abundantes hojas (85).



**Figura 6. Morfología de una gramínea**  
Fuente (9)

### C) Requerimientos agroecológicos

El pasto ryegrass perenne se adapta en zonas entre los 1800 y 3600 m s.n.m., arriba de los 3000 m s.n.m. su crecimiento se reduce y los períodos de recuperación se deben prolongar entre 2 y 4 semanas. Los suelos donde crece deben ser de media a alta fertilidad, con un drenaje adecuado y pH superior a 5,5; es exigente a la nutrición de nitrógeno, fósforo y potasio (86).

### D) Crecimiento

El crecimiento máximo del *Lolium perenne* ocurre a temperaturas entre 20° y 25° C y su óptimo desarrollo se da cuando el pH del suelo es de 5.5 a 7 (87).

### E) Ciclo vegetativo

El ryegrass por ser una gramínea cumple con tres fases de crecimiento:

1. **Fase de crecimiento:** el crecimiento se inicia con la germinación de la semilla, lo que viene a ocurrir entre los 8 y 15 días tras la siembra. Una vez germinada la plántula, en la fase de crecimiento se presentan distintas características agrícolas tales como la aparición de macollos que son la unidad estructural de esta gramínea, estas se crean a partir de las yemas axilares o secundarias del meristemo basal del eje principal. Cada uno de estos macollos inicia su aparición cuando las plantas presentan entre dos y tres



hojas. Así mismo cada uno de estos luego de originar sus primeras hojas, genera su propio sistema radicular (88).

2. **Fase de floración:** la inflorescencia de ryegrass presenta espigas sésiles alternadas a izquierda y derecha de un eje central. Las espiguillas están situadas juntas, con 3-10 flores de 20 a 40 centímetros de largo y cuya pálea es tan larga como el lema (89). Como sucede en la mayoría de las gramíneas, la reproducción de este tipo de pasto puede darse por semillas o por macollos. Puede medir hasta 20 cm (88).
3. **Fase de postfloración:** esta fase empieza con la fecundación, finalizando con la maduración de la semilla. Se puede observar la vaina la cual abraza el tallo y tiene dos aurículas largas y una lígula claramente visible. Las hojas aparecen enrolladas en el interior de la vaina (88).

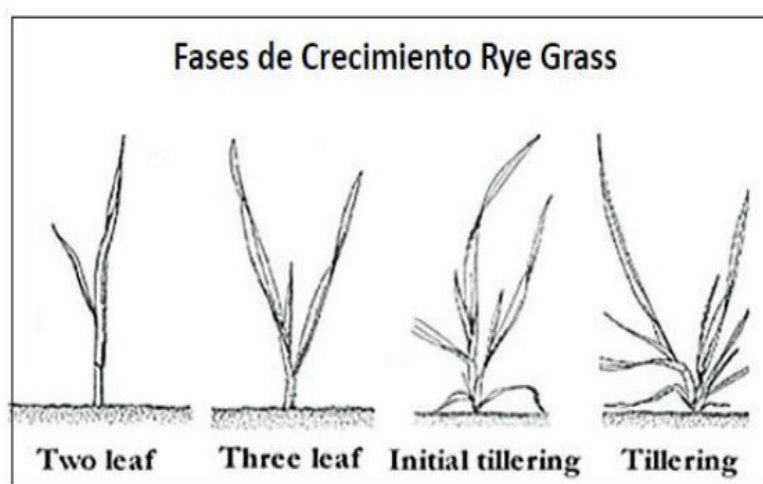
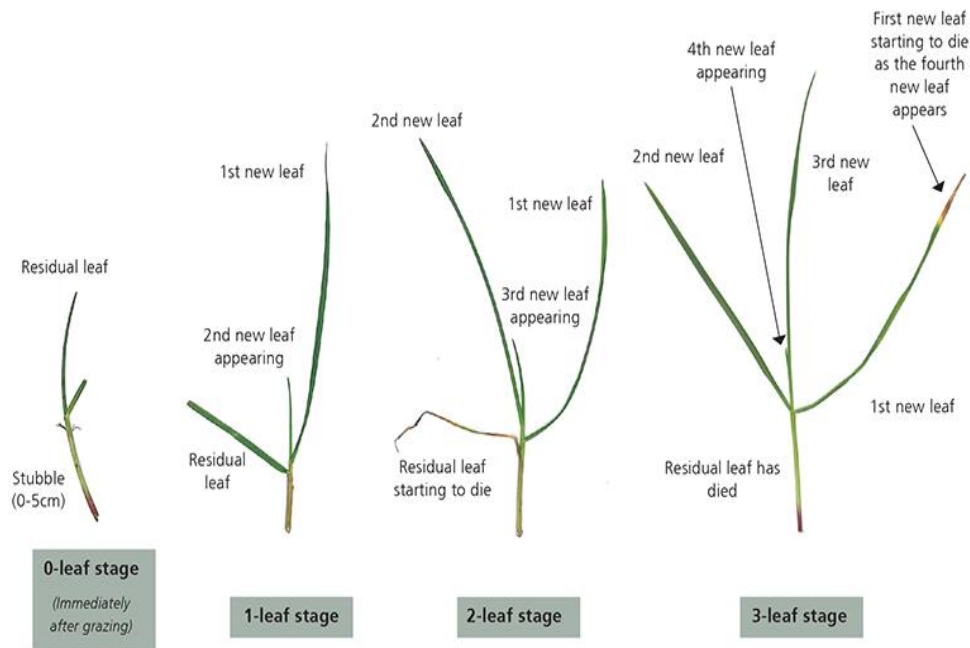


Figura 7. Fases de crecimiento del Ryegrass  
Fuente (10)



**Figura 8. Las etapas foliares del Ryegrass a medida que crece**  
**Fuente (11)**

## F) Cosecha

El factor más importante que afecta a la calidad del forraje es el estado vegetativo. Uno de los factores que influye en la composición del pasto es su edad, lo cual es el reflejo de la rapidez de crecimiento. A mayor rapidez de crecimiento, mayor es la cantidad de proteína y menor el contenido de fibra. El ryegrass se considera una planta de tres hojas, ya que la primera hoja en emerger se vuelve senescente conforme la cuarta hoja emerge, dicho ciclo se mantiene después de 3 hojas verdes, por lo que la hoja más vieja morirá de no aprovecharse el forraje (90).

## G) Usos

Se usa principalmente para pastoreo con una duración de producción de 5 a 6 años. Apta para dar densidad a otras gramíneas de desarrollo lento, como festuca alta; sirve como amortiguador en el desarrollo de las malezas (84).

## H) Composición química

La materia seca del ryegrass (*Lolium perenne*) tiene contenidos de nutrientes como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla 7. Contenido de nutriente de la materia seca del ryegrass (*Lolium perenne*)**

Nutriente	Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> )
Energía metabolizable (MJ kg Ms <sup>-1</sup> ) 1)	11.4
Nitrógeno, %	3.9
Nitrato, %	1.1
Proteína cruda, %	24.3
Fibra detergente ácido, %	23.0
Fibra detergente neutro, %	49.0
Carbohidratos solubles en agua, %	7.8
Calcio, %	0.5
Fósforo, %	0.3
Potasio, %	2.2
Magnesio, %	0.3
Sodio, %	0.1
Azufre, %	0.4

**Fuente (12)**

## I) Efecto del As en rendimiento del ryegrass (*Lolium perenne*)

El ryegrass está expuesto directamente al As presente en el suelo afectándolo en el rendimiento del crecimiento, sus formas inorgánicas son absorbidas a través de diferentes transportadores y son transformadas y movilizadas a otros tejidos de la planta. Varios estudios han reportado que el As afecta el crecimiento y la germinación de las plantas, causa estrés oxidativo, disminuye la absorción de fósforo, produce inhibición en la elongación radicular y una disminución tanto en la proliferación celular como en la producción de biomasa. También se observó disminución en el número de hojas, la altura de la planta y el porcentaje de germinación, diversos cambios morfológicos y alteración de la fotosíntesis (91) (92) (93) (94) (95) (96).

En un estudio sobre la determinación del efecto del As presente en el agua de riego sobre los parámetros de germinación y sobre la biomasa aérea en dos de las especies forrajeras ryegrass perenne (*Lolium perenne*) y alfalfa (*Medicago sativa* L.). Las dos especies *M. sativa* como *R. perenne* pueden germinar bien bajo el riego con agua con un amplio rango de concentraciones de As, la alfalfa mostró mayor sensibilidad que el ryegrass ante la exposición al As (97).

#### **2.2.1.7. Distrito de El Mantaro**

##### **A. Ubicación geográfica**

El distrito de El Mantaro se encuentra ubicado en la parte sur central de la provincia de Jauja, en la zona central del país, en plena región andina. La superficie territorial del distrito es de 17.76 km<sup>2</sup>, fue creado como distrito con la Ley N° 4404 el 23 de noviembre de 1821, tiene por capital a la localidad de Pucucho cuya altura capital es de 3,320 m s.n.m., con Latitud 11°49'05" y Longitud 75°23'27", cuenta con 5 barrios y un anexo, los mismos que son: barrio Chaupimarca, barrio Centro, barrio Huacho, barrio La Florida, barrio Acopampa y el anexo Pampas.

##### **B. Actividades económicas**

El distrito de El Mantaro por su ubicación geográfica es eminentemente rural, se dedica principalmente a la actividad agrícola y ganadera.

- **Actividad agrícola:** una de las actividades que más se desarrolla en el distrito es la agricultura teniendo como cultivos a la alfalfa, arveja grano seco, arveja grano verde, cebada de grano, guindo, haba grano seco, haba grano verde, maíz amiláceo, maíz choclo, papa, quinua, ryegrass, trébol, trigo y zanahoria.

A continuación, se muestra una tabla de información agrícola del ryegrass, variable de esta investigación.

**Tabla 8. Información agrícola sobre los cultivos principales del distrito El Mantaro, Jauja**  
**EJECUCIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA INFORMACIÓN AGRÍCOLA, CAMPAÑA**  
**AGRÍCOLA 2016-2017**

RYEGRASS ( <i>Lolium perenne</i> )	
Superficie Verde (ha.)	90.00
Cosechas (ha.)	91.00
Producción (t.)	3,010.80

**Fuente (13)**

### C. Uso del agua para el riego

Por su ubicación geográfica el distrito de El Mantaro se abastece de las aguas del río Mantaro como riego para la agricultura. La Dirección de Administración de Recursos Hídricos tiene la responsabilidad de normar el otorgamiento y la formalización de derechos de usos de agua, en lo que respecta al otorgamiento de derechos de usos de agua, el proceso de formalización adquiere mayores dimensiones en los usos agrario y poblacional.

Según la información proporcionada por la Autoridad administrativa del Agua X MANTARO, una de las funciones es otorgar derechos de uso de agua con distintos fines; por lo tanto, se verifica en el Registro Administrativo de Derechos de Uso de Agua – RADA que se han otorgado licencia con fines agrarios para un total de 285 Ha. en el distrito de El Mantaro, Jauja.

**Tabla 9. Registro administrativo de derechos de uso de agua del distrito de El Mantaro**  
**ANA-ALA MANTARO**

UBICACIÓN			ORGANIZACIÓN DE USUARIOS					
Departamento	Provincia	Distrito	Junta de usuarios	Comisión de regantes	Comité de regantes			
Junín	Jauja	El Mantaro	Junta de usuarios del distrito de riego Mantaro	CIMIRM N° 01-Jauja	El Mantaro			
DATOS DEL DERECHO								
Clase de Uso	Tipo de Uso	Clase de Derecho	Tipo de Derecho	Tipologías Especiales	Área otorgada	FUENTE DE AGUA		
Productivo	Agrario	Licencia de uso de agua	Consuntivo	Licencia	285	Clase de fuente	Tipo	Nombre
						Superficial	Rio	Mantaro

**Fuente (14)**

## **2.2.2. Fundamentos metodológicos y técnicos**

### **2.2.2.1 Técnica para determinar la disponibilidad del As**

Para la determinación de la disponibilidad de As en el suelo, existen varias metodologías como de un Método de digestiones con ácido nítrico-ácido perclórico que se digiere con ácido perclórico mediante un digestor de tubos o con ácido nítrico asistido con un sistema de digestión de microondas. Se determina la concentración de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica electrotérmica (con horno de grafito), previa adición de una solución de nitrato de níquel para minimizar las pérdidas por volatilización de As. Este método es aplicable en la determinación de arsénico en lodos generados de plantas de tratamiento de aguas servidas y en suelos. Este método tiene un límite de detección instrumental de 1 µg/L o menor y un rango óptimo de concentración de 5 µg/L a 100 µg/L (98).

### **2.2.2.2. Tipo de muestreo**

El tipo de muestreo que se realizó en el estudio de investigación fue el Muestreo de Identificación (MI), 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 con los Estándares de Calidad Ambiental (99).

Para la elaboración del MI es necesario utilizar la información de la investigación histórica, es por ello que se utilizaron los reportes del Proyecto El Mantaro Revive respecto al As y la inspección del sitio potencialmente contaminado para identificar las fuentes potenciales o sospechosas de contaminación.

Para la formulación del MI se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Se determina el Área de Potencial Interés sobre la base de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.
- Cuando en base a la investigación histórica y la inspección del sitio se considere que hay información concluyente sobre el origen, fuente y tipo de la posible contaminación del suelo, el número de puntos de muestreo se determinará respetando el número mínimo de puntos de muestreo indicados en la Tabla N° 16, aportando información que

valide los resultados obtenidos y enfocado en el área y los compuestos de potencial interés (99).

**Tabla 10. Recomendaciones acerca de la aplicabilidad de los patrones de muestreo**

<b>Patrón de muestreo</b>	<b>En identificación y caracterización</b>	<b>En remediación</b>
<b>Con distribución uniforme</b>		
Rejillas regulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas triangulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas circulares	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas o derrames puntuales	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in situ en contaminaciones puntuales
Sobre una línea	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas a lo largo de ductos	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in situ a lo largo de ductos
Diagonales múltiples	Recomendado solo si se asegura equidistancia entre los puntos	Recomendado solo si se asegura homogeneidad en el suelo y equidistancia entre los puntos
<b>Con distribución homogénea</b>		
Diagonal cruzadas rotantes	No recomendado	Recomendado solo en aquellos sitios donde la contaminación es uniforme y se va a dar seguimiento a una atenuación natural

**Fuente (23)**

### 2.2.2.3. Técnica de muestreo de suelos contaminados in situ

La técnica del muestreo a aplicar depende, entre otros, del objetivo del estudio, de las condiciones edáficas, meteorológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos cerca de la cantidad y calidad de las muestras.

Según la Guía para el Muestreo de Suelos Contaminados (99), existen diversos sistemas comúnmente utilizados para la toma de muestras sólidas, se muestra en la Tabla siguiente.

**Tabla 11. Lista de Sistemas para la toma de muestras sólidas**

<b>SISTEMA</b>	<b>APLICACIÓN AL DISEÑO DE MUESTREO</b>	<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS</b>
<b>CALICATAS</b>	Suelo de superficie suave, con profundidad de 0-100 cm	Barato, fácil para usar, capacidad de profundidad limitada.
<b>SONDEOS MANUALES</b>	Suelo duro, con profundidad de 0-100 cm	Relativamente fácil de usar, capacidad de profundidad limitada, costos bajos.
<b>ZANJAS</b>	Todo tipo de suelo, hasta 4m	Fácil de usar, capacidad de profundidad limitada, requiere del uso de retroexcavadora.
<b>SONDEOS LINER</b>	Suelo arenoso, hasta 20m	Buen rango de profundidad, calificado para el muestreo de suelos con contaminantes volátiles, costos más elevados.
<b>SONDEOS SEMIMECÁNICOS</b>	Suelo rocoso o arenoso, hasta 10m	Buen rango de profundidad, puede requerir de dos a más operadores, costos medios.
<b>MECÁNICOS</b>	Todo tipo de suelo, grandes profundidades	Buen rango de profundidad, generalmente empleado para ganar acceso a horizontes de suelo más profundos; requiere de mano de obra experimentada, costo más elevado.

*Fuente (15)*

Existen patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos establecidos por el Minam en la Guía para muestreo de suelos contaminados (99), dependiendo de la forma del área de interés (ver Anexo 3).

#### **2.2.2.4. Método de análisis físico-químico del suelo**

##### **A) Textura del suelo**

El método para el análisis de textura en el suelo, se basa en la Ley de Stokes, donde una partícula esférica sólida cae en el seno de un medio líquido de densidad menor con velocidad uniforme ya que las fuerzas que intervienen como la (gravedad y resistencia) se igualan y esta velocidad es función del tamaño de la partícula (100).

El método de Bouyoucos utiliza un hidrómetro para determinar las diferentes fracciones de tamaño en el suelo es dispersado en medio acuoso por medio de un agente dispersante como el hexametáfosfato de sodio durante 12 horas, agitado periódicamente



de manera enérgica para separar las diferentes partículas. La suspensión es transferida a un cilindro de 2 litros y se completa el volumen a un litro con agua destilada. Se agita nuevamente y se coloca cuidadosamente el hidrómetro cuyas lecturas darán los gramos por litro de las fracciones de limo y arcilla y de arcilla sola en dos lecturas. La arena se sedimenta a los 40 segundos y la lectura del hidrómetro LH, tomada a ese tiempo determina la cantidad en gramos de limo y arcilla que permanecen en la suspensión. La resta de esta lectura del peso de la muestra da los gramos de arena.

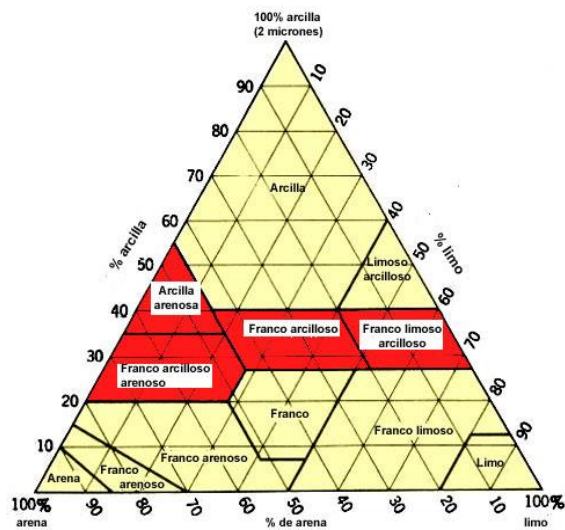
$$\%arena = \frac{g_{muestra} - LH_{40s}}{g_{muestra}} \times 100$$

Después de 8 horas la mayoría del limo se ha sedimentado y la lectura del hidrómetro determina la cantidad en gramos por el litro de arcilla. El limo es calculado por diferencia del 100 % (101).

$$\%arcilla = \frac{g_{muestra} - LH_{8h}}{g_{muestra}} \times 100$$

#### **TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS**

Arcilla	< 0.002 mm
Limo	0.002-0.05 mm
Arena	0.05-2 mm



**Figura 9. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA  
Fuente (16)**

### B) Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se usa comúnmente para indicar la concentración total de componentes ionizados en las distintas soluciones y es proporcional al contenido de sales disueltas. Está íntimamente relacionada con la suma de cationes o aniones que se determinan químicamente y en general tiene correlación estrecha con los sólidos totales disueltos (100). Es una medida de la capacidad de las soluciones para conducir la corriente eléctrica; esta corriente es transportada por iones cargados que provienen de la disociación de las sales en el suelo, mientras mayor es el contenido de sales mayor será su conductividad (101).

La unidad clásica de medida es el *mhos/cm*. Esta unidad es demasiado grande por lo que el Sistema Internacional de Unidades ha propuesto el empleo de Siemens (S).

$$1dSm = 1mS/cm = 1mmhos/cm$$

El principio de esta determinación consiste en medir mayor o menor facilidad que presenta una solución para conducir la corriente eléctrica, facilidad que está en relación directa con mayor o menor cantidad de sales disueltas que contenga (100).

**Tabla 12. Interpretaciones de los datos de conductividad.**

<b>Conductividad Eléctrica (mmhos/cm) a 25°C</b>	<b>Respuesta de los cultivos</b>
0-2	Efectos despreciables de la salinidad
2-4	Los rendimientos de los cultivos muy sensibles pueden ser restringidos
4-8	Rendimientos de muchos cultivos son restringidos
8-16	Solo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
> 16	Poquísimos cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente

**Fuente (17)**

### **C) pH**

La determinación de pH está basada en la medida de la actividad de hidrógeno ionizado (H<sup>+</sup>) en la solución del suelo. El pH es definido como el logaritmo negativo, en base 10, de la actividad del H<sup>+</sup> o el logaritmo del recíproco de la actividad del H<sup>+</sup>:

$$pH = -\log_{10}[H^+] = \log_{10} \frac{1}{[H^+]}$$

Puesto que el pH es logarítmico, es importante tener en mente que la concentración del H<sup>+</sup> aumenta diez veces cuando el pH disminuye en una unidad (102).

Se puede medir el pH del suelo colorimétricamente utilizando soluciones Indicadores, como, el azul de bromothymol o utilizando Indicadores de papel como el papel de Litmus. La manera más eficaz para medirlo es por potenciómetro, El potenciómetro o pH metro utiliza un electrodo de vidrio que es sensible a H<sup>+</sup>, con un electrodo de referencia que es normalmente Calomel. Debido a que el pH es sensible a la temperatura; muchas veces el potenciómetro viene con compensación interna a la temperatura. Con soluciones amortiguadas de pH conocido, el pH metro puede ser estandarizado. Se presenta el suelo al pH metro en forma de suspensión. la más común es de 1: 1 (suelo: solución) (103).

## D) Materia orgánica

La superficie da un reflejo bastante fiel y confiable de la actividad biológica y de los equilibrios de los elementos sometidos a los procesos antagónicos de mineralización e inmovilización. En suelos cultivados, los residuos de cosecha reciclados in situ presentan relaciones C: N aproximadamente de 15 a 60 que corresponden a la presencia de compuestos vegetales de degradación lenta.

Para la determinación del porcentaje de materia orgánica total del suelo, se utiliza el método de Walkley y Black. El "carbono total" del suelo incluye tres fases principales:

- El carbono orgánico (residuos orgánicos poco alterados de origen vegetal y animal, materias orgánicas fósiles, microorganismos)
- El carbono inorgánico presente en forma de carbonatos y bicarbonatos.
- El carbón inorgánico que proviene de la combustión incompleta de material vegetal, suelos de sabana sometidos a incendios periódicos.

$$C_{total} = C_{tmineral} + C_{organico} + C_s$$

El método de dosificación del carbono orgánico total por el dicromato de potasio en medio abierto muy ácido (Walkley y Black) el método que está basado en una oxidación húmeda, para determinar el contenido de Carbono Orgánico en el suelo. Se oxida la muestra en una solución de dicromato de potasio, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado (101).

## E) Fósforo disponible

Existen muchos métodos para medir el fósforo (P) en el suelo. Cada uno puede variar en el principio y en el procedimiento, para su selección dependerá en cuanto a los objetivos del estudio, la muestra y sus propiedades, la precisión necesaria y las facilidades del laboratorio. El fósforo se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica. Se asocia con la materia orgánica, las arcillas y los compuestos de Al, Fe y Ca, para que pueda ser aprovechable en la vegetación el fosforo tiene que estar en la solución del suelo (100).

El método de determinación de potasio desarrollado por Olsen usa una solución de bicarbonato de sodio a un pH de 8.50. En los suelos calcáreos o alcalinos los iones de bicarbonato causan la precipitación del calcio como  $\text{CaCO}_3$  y, por lo tanto, la actividad de calcio en la solución disminuye. Esto facilita la extracción de los fosfatos de calcio más solubles. En los suelos más ácidos los iones de bicarbonato, reemplazan a los fosfatos de aluminio y hierro, El incremento del pH de la solución facilita la extracción de fosfato de las superficies que tienen una carga dependiente del pH (103).

Por lo tanto, este fósforo “disponible” podría tener un componente “no disponible”, mientras que el extracto de agua a pH aproximadamente neutro se podría asemejar más a la solución del suelo. Los otros extractos con soluciones ácidas, pueden incluir fosfatos minerales insolubles que en condiciones normales no están disponibles para las plantas (101).

#### **F) Potasio disponible**

Las entradas de potasio al suelo son a través de la fertilización o del reciclaje de los restos de cultivos. Estos últimos se mineralizan y se incorporan al suelo bajo alguna de las formas en que el potasio se presenta en el mismo (solución intercambiable y no intercambiable). El potasio intercambiable es una fracción de reserva de respuesta rápida, es adsorbido en las arcillas ya que él compensa las cargas negativas que resultan de las sustituciones en la estructura de éstas o de las fracturas del cristal, y se encuentra en equilibrio con el K en solución (104).

El método más usado para determinar el potasio disponible en el suelo, es la extracción con acetato de amonio 1N pH =7. Si bien se considera que el potasio intercambiable con solución de acetato de amonio 1N pH= 7 por percolación es el método más adecuado (90). Para esto se toma 1 g de suelo seco y tamizado y se le adicionan 10 mL de acetato de amonio, se agita por 5 minutos a 180 rpm y se filtra, al final se cuantifica en un fotómetro de flama (105).

#### **G) Capacidad de intercambio catiónico**

La Capacidad de Intercambio Catiónico es una propiedad que llega a variar con las condiciones en que se mida. La capacidad de intercambio catiónico, es una medida

cuantitativa y característica de cada tipo de suelo, esta representa la medición de los cationes adsorbidos sobre las superficies de las arcillas (101).

En suelos alcalinos esto refleja en forma adecuada la capacidad de intercambio catiónico. En suelos ácidos ( $pH < 5.5$ ) con carga variable, un incremento del pH aumenta la capacidad de intercambio catiónico. En suelos calcáreos o salinos, la disolución de carbonato de calcio presente en el suelo, puede causar una subestimación de la capacidad de intercambio catiónico (103).

La capacidad de intercambio catiónico con acetato de amonio, se obtiene sumando los cationes de cambio,  $Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+} = S$  y el  $H^{+}$  de cambio (106). El grado de saturación (SB) se calculó mediante la siguiente expresión:

$$SB = 100 \times S / CIC$$

$S = Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+} + H^{+}$

SB = grado de saturación

C.I.C. = Capacidad de Intercambio Catiónico

### 2.2.3. Normativa ambiental

La Constitución Política del Perú define la Política Nacional Ambiental en los siguientes artículos:

- “Artículo 2°. Toda persona tiene derecho: 22) A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.”
- “Artículo 66°. Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal.”

- “Artículo 67°. El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.”
- “Artículo 68°. El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.” (107)

➤ **Para suelos contaminados**

El artículo 31 de la Ley general del Ambiente, Ley N°28611 define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Mediante Resolución Ministerial N° 225-2012- MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el Período 2012-2013, estando programada la elaboración del ECA para Suelo; que, asimismo, la Agenda Nacional de Acción Ambiental – Agenda Ambiente 2013-2014, aprobada por Resolución Ministerial N° 026-2013-MINAM, establece en su Objetivo 9 – Prevenir y Disminuir la Contaminación de los Suelos, la aprobación e implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, por el Ministerio del Ambiente; que, en el marco de lo dispuesto en el Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales aprobada por Decreto Supremo N° 002-2009- MINAM, la propuesta normativa fue sometida a Consulta Pública, habiéndose recibido aportes y comentarios para su formulación; que, en ese sentido, corresponde aprobar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013; de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú.

- Con decreto Supremo N° 011-2017-MINAM aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

**Tabla 13. Estándares de calidad ambiental para suelo**

Parámetros en mg/kg PS <sup>2</sup>	Usos del Suelo			Métodos de ensayo
	Suelo agrícola	Suelo residencial/Parques	Suelo comercial/ industrial extractivo	
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051

**Fuente (18)**

- En el Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio, los ECA para Suelo, constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.
- Artículo 3.- 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 cargo 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. Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación (108).

➤ **Para sedimentos**

Actualmente en el Perú no se cuenta con ninguna ley que regule los niveles de contaminantes presentes en los sedimentos; sin embargo, Canadá cuenta con ello que son los estándares de *Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life* (Líneas guía sobre la calidad de los sedimentos por la protección de la vida acuática) en dicha guía, por cada elemento, son reportados dos límites: el ISQG (*International Standard for Quality Guidelines*) que representa un límite guía para la salud humana y la vida acuática; y el PEL (*Probable Effect Level*). El ISQG es el valor más conservativo, mientras el PEL es definido como el límite mínimo en el cual hay algunos efectos sobre la vida acuática.



**Tabla 14. Estándares de calidad de sedimentos**

Elemento	ISQG	PEL
Arsénico	5.9 mg/kg <sup>-1</sup>	17 mg/kg <sup>-1</sup>

**Fuente (19)**

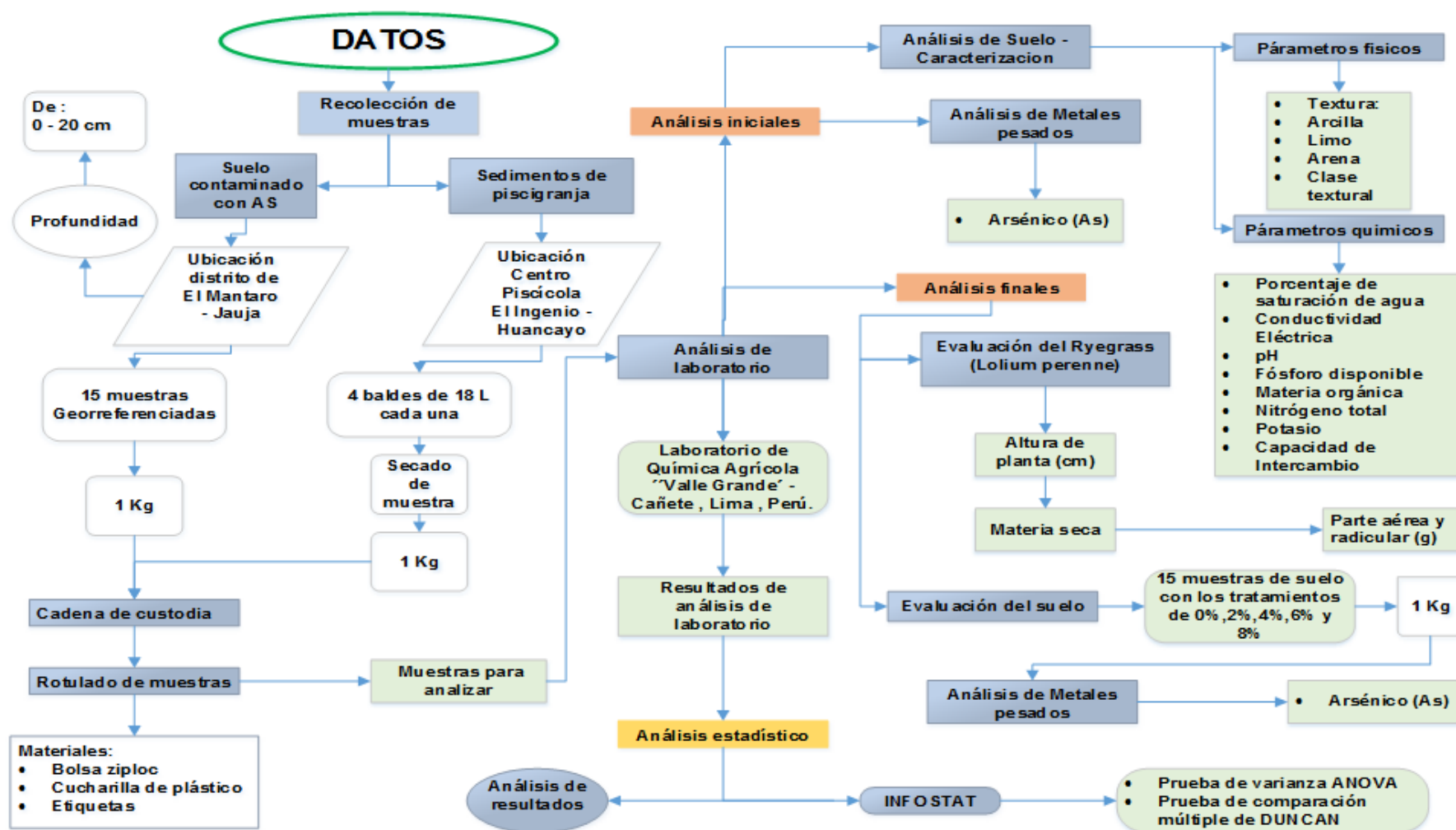
Donde:

Concentración en los sedimentos < ISQG = efectos biológicos raros

Concentración en los sedimentos > ISQG, < PEL = efectos biológicos ocasionales

Concentración en los sedimentos > PEL = efectos biológicos frecuentes

## 2.2.4. Modelo teórico de la investigación



### 2.2.5. Definición de términos básicos

**Absorber:** la toma de agua, otros líquidos o sustancias químicas disueltas por una célula o un organismo (109).

**Ácidos fúlvicos:** es la fracción de las sustancias húmicas solubles, tanto en medio alcalino como en medio ácido (110).

**Ácidos húmicos:** es la fracción de las sustancias húmicas soluble en medio alcalino e insoluble en medio ácido. (110).

**Adsorción:** proceso mediante el cual la superficie de un sólido especial es capaz de retener gases o vapores. Durante la adsorción, las moléculas del gas o líquido que se adsorbe se contraen y adhieren a la superficie del sólido, formando una capa muy delgada (109).

**Arsénico.** el arsénico (As) pertenece al grupo V-A y tiene un peso atómico de 74.992. Los estados más comunes de oxidación son: 0, III y V, con enlaces covalentes con la mayoría de metales y compuestos orgánicos estables. Como fuentes se reportan el material parental del suelo, emisiones aéreas, residuos de vertederos, entre otros (111).

**Biosólidos:** producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos con características físicas, químicas y microbiológicas (112).

**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 (99).

**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 subproductos o residuos de la producción de algo útil. También son introducidos al ambiente como compuestos usados para proteger plantas y animales (99).

**Disponibilidad:** la concentración “disponible” de un elemento en el suelo es un estimado de la fracción del elemento que está presente como iones libres, complejos solubles o formas fácilmente desorbibles (lábilés). La disponibilidad es afectada por muchos factores incluyendo pH, estado redox, niveles de macronutrientes, contenido de agua disponible y temperatura. Las plantas también ejercen efectos significativos sobre la disponibilidad de metales y metaloides a través de la liberación de exudados de las raíces (7).

**EDTA:** es un ácido orgánico tetracarboxílico derivado del etano por aminación de sus dos grupos metilo y posterior diacetilación de cada uno de los grupos amino (113).

**Enmienda orgánica:** una enmienda orgánica contiene nutrientes de las plantas y grandes cantidades de materia orgánica. Las enmiendas orgánicas son usadas como fertilizantes y mejoradores del suelo (75).

**Estándares de calidad ambiental (ECA):** el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. El ECA establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente (108).

**Hipocótilo:** es el espacio entre la radícula y la plúmula, se divide a su vez en el eje hipotíleo situado a continuación de la radícula y el eje epicotíleo situado por encima de los cotiledones.

**Ligandos:** son iones o moléculas que rodean a un metal, formando un compuesto de coordinación (114).

**Nivel de fondo:** concentración en el suelo de los químicos que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la actividad bajo análisis (108).

**Quelante:** es una sustancia que forma complejos fuertes con iones de metales pesados evitando que los metales pesados puedan reaccionar (115).

Remoción de un contaminante del aire o agua mediante la recolección del contaminante en la superficie por un material sólido.

**Suelo agrícola:** aquel suelo que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, para la actividad agrícola o agricultura (108).

**Suelo:** es un cuerpo natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporte a las plantas con raíces en un medio natural (108).

**Traslocar:** es el sistema de transporte de sustancias mediante mecanismos de transporte a órganos productores y consumidores (116).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1 Método y alcance de la investigación**

#### **3.1.1 Método de la investigación**

##### **3.1.1.1 Método general de la investigación**

El método general es hipotético – deductivo, porque trata de establecer la verdad o falsedad de las hipótesis, de acuerdo a las variables que componen el problema general, mediante el análisis de los datos obtenidos en el experimento y el procesamiento estadístico de los resultados de la investigación (117).

##### **3.1.1.2 Método específico de la investigación**

###### **A) Selección del área de estudio**

Teniendo como referencia los reportes del proyecto Mantaro Revive 2007, se seleccionó el distrito de El Mantaro por sobrepasar el contenido de arsénico en cuanto al ECA canadiense.

**Tabla 15. Descripción de la zona de estudio**

Distrito	Área de estudio	Coordenadas UTM		Altitud
		Este	Sur	
EL Mantaro	9496.745 m <sup>2</sup> (0.950 Ha)	458166	8692777	3320 m.s.n.m

**Fuente: elaboración propia**

**a) Método de muestreo de suelos**

Teniendo en cuenta la Guía de muestreo para suelos contaminados del Minam (99).

**b) Delimitación del área**

Para realizar el muestreo de suelos se seleccionó un área homogénea y sin presencia de cultivo el cual tiene una superficie de 9496.745 m<sup>2</sup>.

**c) Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados**

Según la guía de muestreo de suelos contaminados (99) nos indica que según nuestro objetivo a lograr podemos seleccionar el método para definir la localización de puntos de muestreo. Para esta investigación se utilizó el muestreo dirigido, muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados y cuando se cuenta con la información previa del sitio.

**d) Número mínimo de puntos de muestreo**

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 la Tabla N° 16, que abarca el número total de los puntos de muestreo, tanto superficial (área de toma de muestras compuestas) como de profundidad (99). Para la investigación se utilizó 15 puntos de muestreo.

**Tabla 16. Número mínimo de puntos de muestreo 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 (15)**

A continuación, se muestran los 15 puntos de muestreo, los puntos fueron georreferenciados.

**Tabla 17. Datos de georreferenciación de muestras simples de suelo**

N° Punto	Zona	Este	Norte	m s.n.m.
1	18 L	458166	8692777	3340
2	18 L	458164	8692768	3335
3	18 L	458169	8692767	3338
4	18 L	458173	8692764	3342
5	18 L	458170	8692760	3335
6	18 L	458174	8692762	3332
7	18 L	458173	8692758	3334
8	18 L	458176	8692760	3333
9	18 L	458178	8692757	3336
10	18 L	458173	8692754	3336
11	18 L	458178	8692753	3337
12	18 L	458181	8692756	3333
13	18 L	458182	8692750	3330
14	18 L	458179	8692749	3330
15	18 L	458177	8692752	3330



*Fuente: elaboración propia*

#### **e) Para muestras superficiales**

Para la toma de muestras superficiales se debe de tener en cuenta qué tipo de uso del suelo se está realizando para tomar en cuenta la profundidad del muestreo, (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pueden aplicar sondeos manuales (99). Para el trabajo se extrajeron las muestras entre 0 – 30 cm por ser suelo agrícola.

**Tabla 18. Profundidad del muestreo según el uso del suelo**

<b>USOS DEL SUELO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL MUESTREO (CAPAS)</b>
<b>Suelo agrícola</b>	0 – 30 cm 30 – 60 cm
<b>Suelo residencial/parques</b>	0 – 10 cm 10 – 30 cm
<b>Suelo comercial/industrial/extractivo</b>	0 – 10 cm

*Fuente (15)*

#### **B) Procedimiento para la toma de muestras de suelo para el experimento**

##### **➤ Suelo representativo del distrito de El Mantaro - Jauja**

Se ingresó al Área representativa del distrito de El Mantaro seleccionando aleatoriamente para la obtención de los 15 puntos conjuntamente con el GPS. En cada punto se realizó la toma de coordenadas como latitud, longitud y altitud, seguidamente de la extracción de muestra aproximadamente 4 Kg de suelo por punto. Obteniéndose como peso final de los 15 puntos una cantidad de 60 Kg de suelo representativo del distrito de El Mantaro.



**Figura 10. Área de ubicación representativa del distrito de El Mantaro - Jauja – Junín**  
**Fuente (20)**

### **C) Procedimiento para la toma de muestra de sedimentos de la piscícola El Ingenio - Huancayo**

Se ingresó al centro piscícola “El Ingenio” para poder extraer los sedimentos de la poza de descarga final con previa autorización de la Dirección Regional de Producción Junín, institución encargada del funcionamiento del centro piscícola.

Se tuvo en cuenta la utilización de los Equipos de protección personal (EPP) como gorra, guantes, respirador, guardapolvo, lentes y zapatos de seguridad para la extracción de los sedimentos con la finalidad de tener un manejo adecuado.

La extracción de sedimentos se hizo mediante una red plana para luego ser depositado en baldes, la cantidad extraída fue de 4 baldes de 18 L cada uno.

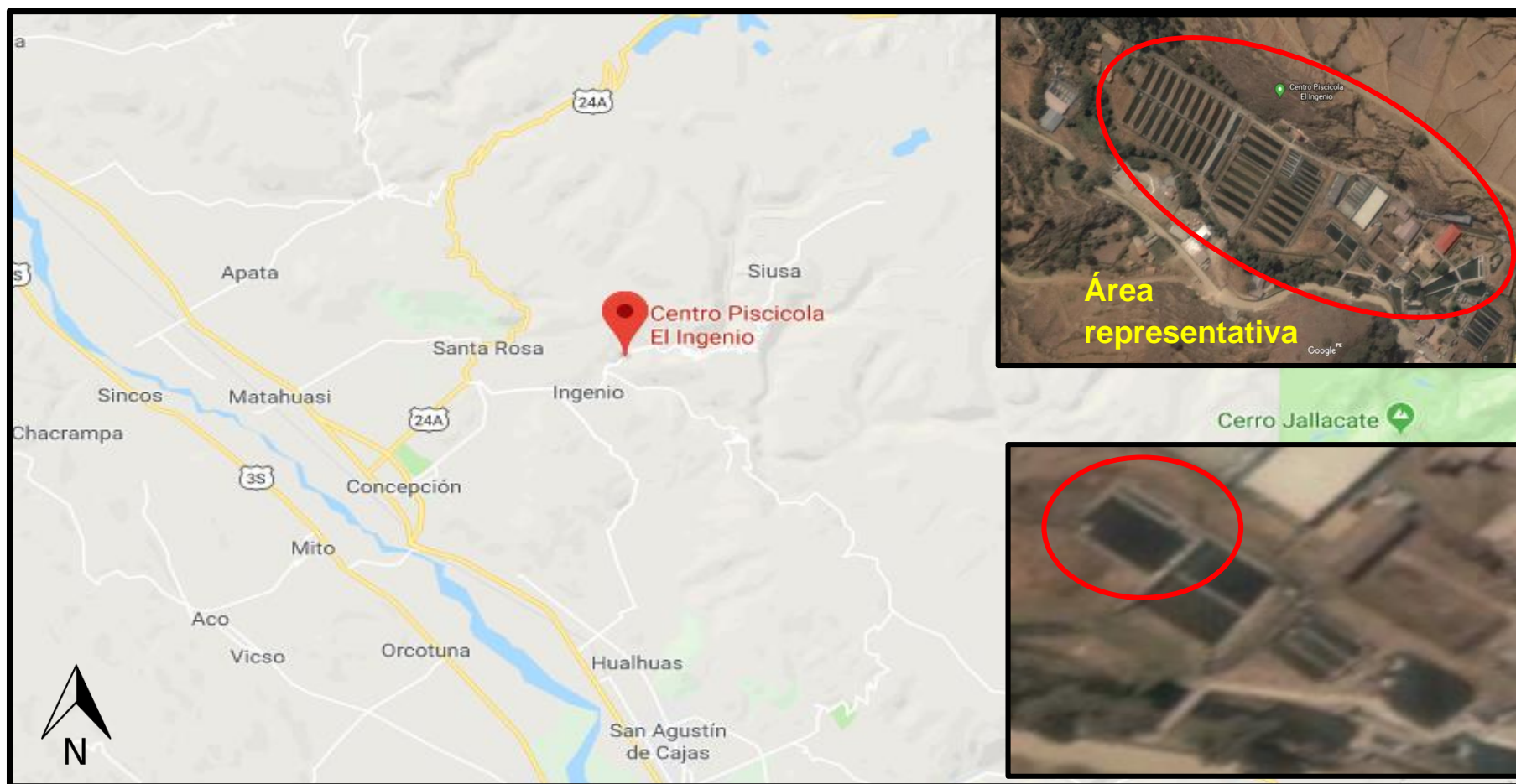
Se realizó la separación de sedimentos del agua mediante mallas de 2,1 y 0.5 mm para su posterior secado.

Se dejó 3 días para el secado de la muestra de sedimentos para así obtener una muestra sólida y seca que se pueda adherir con la muestra del suelo.

- La cantidad obtenida fue 30 Kg.

#### **Centro piscícola “El Ingenio”**

- Distrito: Ingenio
- Provincia: Huancayo
- Región: Junín
- Latitud: 11°53' 25" S
- Longitud: 75°16' 07" W
- Altitud: 3451 m s.n.m.



**Figura 11. Área de ubicación del Centro Piscícola "El Ingenio" - Huancayo – Junín  
Fuente (20)**

## D) Análisis de laboratorio

### ➤ Análisis iniciales

Después de haber obtenido las muestras se seleccionan, uno para los sedimentos y la otra del suelo, para ser enviados al laboratorio para sus posteriores análisis.

#### 1. Sedimentos, caracterización física, composición nutricional y As

Fecha de entrega de muestra: 12 de agosto 2016

Se entregó la muestra de 1 kg de sedimento al Laboratorio de Química Agrícola Valle Grande, Cañete- Lima.

#### 2. Muestra de suelo, caracterización fisicoquímica y As

Fecha de entrega de muestra: 12 de agosto 2016

Se entregó la muestra de 1 kg de suelo al Laboratorio de Química Agrícola Valle Grande, Cañete - Lima.

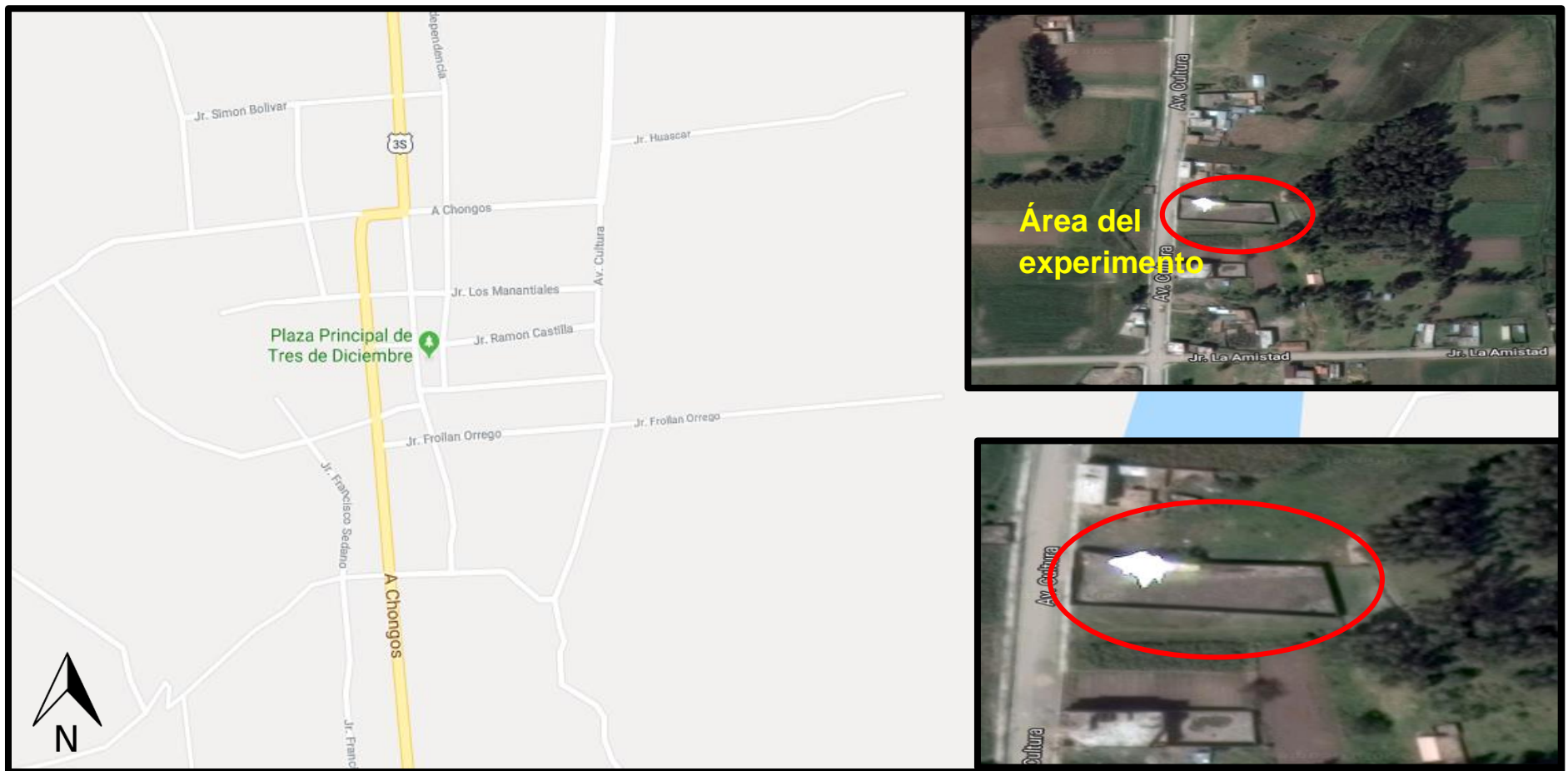
## E) Lugar de experimentación

El lugar de experimentación fue elegido en base de los factores ambientales existentes en el distrito de El Mantaro, por lo cual se escogió el distrito de Tres de Diciembre teniendo como área de experimentación de 1500 m<sup>2</sup>.

**Tabla 19. Datos del lugar de experimentación del proyecto**

<b>Distrito</b>	Tres de Diciembre
<b>Provincia</b>	Chupaca
<b>Región</b>	Junín
<b>Latitud</b>	12°06'01" S
<b>Longitud</b>	75°14'32" O
<b>Altitud</b>	3180 m s.n.m.

**Fuente: elaboración propia**



**Figura 12. Ubicación del lugar de experimentación del proyecto Fuente (20)**

## **F) Instalación del experimento**

Fecha de instalación: 10 de agosto 2016

### **A) Preparación de la muestra**

Se realizó el tamizado de las muestras de suelo obtenida en el área seleccionada del distrito de El Mantaro, la cual fue secada al aire libre, durante 3 días. Utilizando un tamiz de 2 mm de diámetro promedio de malla.

Se pesó 2 kg de suelo y se colocó en macetas de PVC, según los tratamientos (0%, 2%, 4%, 6% y 8%) en estudio, haciendo un total de 15 macetas.

Se realizó el tamizado de las muestras de sedimento sólido seca, que fue secado al aire libre, durante 3 días. Utilizando un tamiz de 2 mm de diámetro promedio de malla.

Se pesó 2 kg de sedimento y se mantuvo separado de la muestra de suelo hasta poder ser uniformizado según los tratamientos de experimentación.

#### **a. Procedimiento de armado de tratamientos**

##### **➤ Tratamiento 1 – Macetero T1-I, T1-II y T1-III**

#### **Preparación del suelo + sedimentos de piscigranja**

1. Se rotularon los 15 maceteros según el número de tratamiento y el número de repeticiones para no generar ninguna confusión en los procedimientos posteriores.
2. Se pesó 2000 g de muestra de suelo y se mezcla hasta estar uniforme seguidamente con 10 golpes en la base para que no se genere montículos en la parte de arriba del macetero.
3. Se determinó la capacidad de campo del suelo del experimento obteniéndose 24%. Se utilizó el método gravimétrico.

## **Riego**

4. Se le agregó 480 ml de agua al suelo de El Mantaro para lograr el 24% de humedad a capacidad de campo.
5. Se dejó infiltrar el agua y se procedió a dejar al aire libre hasta el día siguiente.

## **Sembrado del ryegrass**

6. Al día siguiente, se procedió a sembrar las semillas de ryegrass (*Lolium perenne*) en sus respectivos maceteros, dejando 20 semillas en cada macetero, según el tratamiento (0%) en estudio.
7. Se mantuvo la humedad de cada unidad experimental al 80% de su capacidad de campo.

### **➤ Tratamiento 2 – Macetero T2-I, T2-II y T2-III**

## **Preparación del suelo + sedimentos de piscigranja**

1. Se rotularon los 15 maceteros según el número de tratamiento y el número de repeticiones para no generar ninguna confusión en los procedimientos posteriores.
2. Se pesaron 40 g de muestra de sedimento y agregamos 2000 g de muestra de suelo y se mezcla hasta estar uniforme seguidamente con 10 golpes en la base para que no se generen montículos en la parte de arriba del macetero.
3. Se determinó la capacidad de campo del suelo del experimento obteniéndose 24%. Se utilizó el método gravimétrico.

## **Riego**

4. Se le agregó 480 ml de agua al suelo de El Mantaro para lograr el 24% de humedad a capacidad de campo.
5. Se dejó infiltrar el agua y se procedió a dejar al aire libre hasta el día siguiente.



### **Sembrado del ryegrass**

6. Al día siguiente, se procedió a sembrar las semillas de ryegrass (*Lolium perenne*) en sus respectivos maceteros, dejando 20 semillas en cada macetero, según el tratamiento (2%) en estudio.
7. Se mantuvo la humedad de cada unidad experimental al 80% de su capacidad de campo.

### ➤ **Tratamiento 3 – Macetero T3-I, T3-II y T3-III**

### **Preparación del suelo + sedimentos de piscigranja**

1. Se rotularon los 15 maceteros según el número de tratamiento y el número de repeticiones para no generar ninguna confusión en los procedimientos posteriores.
2. Se pesaron 80 g de muestra de sedimento y agregamos 2000 g de muestra de suelo y se mezcla hasta estar uniforme seguidamente con 10 golpes en la base para que no se genere montículos en la parte de arriba del macetero.

### **Riego**

3. Se le agregó 480 ml de agua al suelo de El Mantaro para lograr el 24% de humedad a capacidad de campo.
4. Se dejó infiltrar el agua y se procedió a dejar al aire libre hasta el día siguiente.

### **Sembrado del ryegrass**

1. Al día siguiente, se procedió a sembrar las semillas de ryegrass (*Lolium perenne*) en sus respectivos maceteros, dejando 20 semillas en cada macetero, según el tratamiento (4%) en estudio.
2. Se mantuvo la humedad de cada unidad experimental al 80% de su capacidad de campo.

#### ➤ **Tratamiento 4 – Macetero T4-I, T4-II y T4-III**

##### **Preparación del suelo + sedimentos de piscigranja**

1. Se rotularon los 15 maceteros según el número de tratamiento y el número de repeticiones para no generar ninguna confusión en los procedimientos posteriores.
2. Se pesaron 120 g de muestra de sedimento y agregamos 2000 g de muestra de suelo y se mezcla hasta estar uniforme seguidamente con 10 golpes en la base para que no se generen montículos en la parte de arriba del macetero.
3. Se determinó la capacidad de campo del suelo del experimento obteniéndose 24%. Se utilizó el método gravimétrico.

##### **Riego**

4. Se le agregó 480 ml de agua al suelo de El Mantaro para lograr el 24% de humedad a capacidad de campo.
5. Se dejó infiltrar el agua y se procedió a dejar al aire libre hasta el día siguiente.

##### **Sembrado del ryegrass**

6. Al día siguiente, se procedió a sembrar las semillas de ryegrass (*Lolium perenne*) en sus respectivos maceteros, dejando 20 semillas en cada macetero, según el tratamiento (6%) en estudio.
7. Se mantuvo la humedad de cada unidad experimental al 80% de su capacidad de campo.

#### ➤ **Tratamiento 5 – Macetero T5-I, T5-II y T5-III**

##### **Preparación del suelo + sedimentos de piscigranja**

1. Se rotularon los 15 maceteros según el número de tratamiento y el número de repeticiones para no generar ninguna confusión en los procedimientos posteriores.
2. Se pesaron 160 g de muestra de sedimento y agregamos 2000 g de muestra de suelo y se mezcla hasta estar uniforme seguidamente con 10 golpes en la base para que no se generen montículos en la parte de arriba del macetero.

- Se determinó la capacidad de campo del suelo del experimento obteniéndose 24%. Se utilizó el método gravimétrico.

### Riego

- Se le agregó 480 ml de agua al suelo de El Mantaro para lograr el 24% de humedad a capacidad de campo.
- Se dejó infiltrar el agua y se procedió a dejar al aire libre hasta el día siguiente.

### Sembrado del ryegrass

- Al día siguiente, se procedió a sembrar las semillas de ryegrass (*Lolium perenne*) en sus respectivos maceteros, dejando 20 semillas en cada macetero, según el tratamiento (8%) en estudio.
- Se mantuvo la humedad de cada unidad experimental al 80% de su capacidad de campo.

**Tabla 20. Características de las unidades experimentales**

<b>Número de unidades experimentales</b>	15 unidades
<b>Área de cada unidad experimental (macetero)</b>	0.15 m <sup>2</sup>
<b>Unidad experimental</b>	Radio 0.095 m (15.9 cm) Altura 0.159 (19 cm)
<b>Forma de la unidad experimental</b>	Circular

*Fuente: elaboración propia*

**Tabla 21. Preparación de Unidad Experimental**

<b>0% Sp</b>	2 kg de suelo
Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> )	
<b>2% Sp</b>	2000 g x (2/100) = 2040 g
Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> )	2000 g (suelo) + 40 g SP
<b>4% Sp</b>	2000 g x (4/100) = 2080 g
Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> )	2000 g (suelo) + 80 g SP
<b>6% Sp</b>	2000 g x (6/100) = 2120 g
Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> )	2000 g (suelo) + 120 g SP
<b>8% Sp</b>	2000 g x (8/100) = 2160 g
Ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> )	2000 g (suelo) + 160 g SP

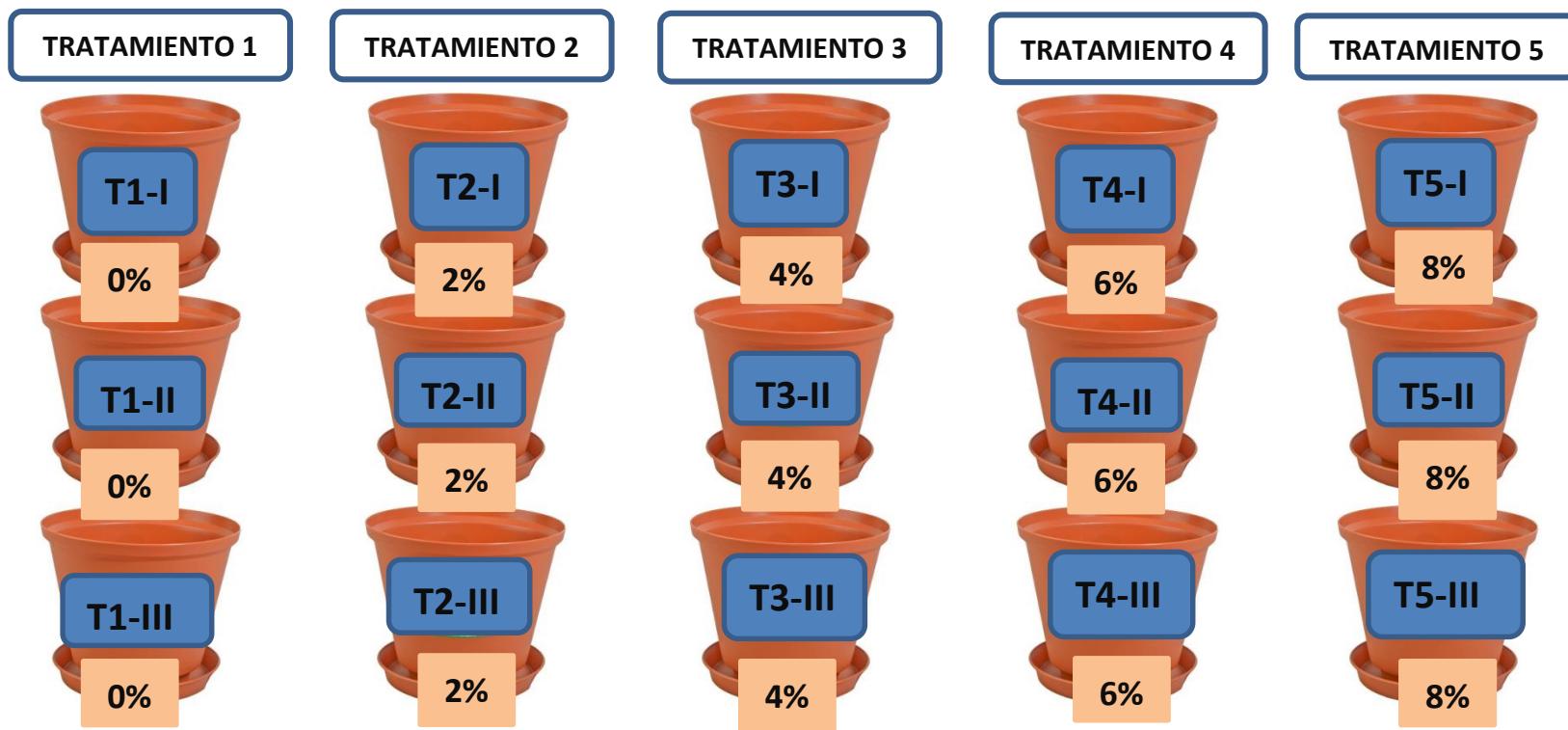
*Fuente: elaboración propia*

## **B) Croquis del experimento**

La selección del área del experimento donde se tendrán los 15 maceteros se realizó tomando en cuenta las condiciones adecuadas que permitan que el crecimiento de la planta sea óptimo por factores ambientales como:

- Temperatura
- Iluminación
- Agua
- Viento
- Humedad
- Condiciones atmosféricas
- Radiación solar

A continuación, se muestra el croquis experimental por tratamientos (0%, 2%, 4%, 6% y 8%) de los sedimentos de piscigranja (ver Figura 13).



**Figura 13. Croquis experimental por tratamientos 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de SP**  
**Fuente: elaboración propia**

### **C) Procedimiento de homogenización del ryegrass (*Lolium perenne*)**

A los 15 días después de la siembra del ryegrass (*Lolium perenne*) se homogenizó el número de plantas por tratamiento (0%, 2%, 4%, 6% y 8%), mediante una pinza se comenzó a arrancar plantas dejándose solo 15 plantas por cada unidad experimental. Esto se realizó para que pueda tener un desarrollo óptimo en el crecimiento de la planta.

### **D) Procedimiento de cosecha del ryegrass (*Lolium perenne*)**

Durante el tiempo que se condujo el experimento en un periodo promedio de 62 días, se realizó una cuidadosa observación del crecimiento de la planta.

Finalizado el periodo experimental se procedió a medir la altura de planta de cada unidad experimental, se cortó la parte aérea de cada tratamiento y se colocó en una bolsa de papel *kraft* debidamente rotulado, asimismo, se procedió a sacar la raíz de las plantas de cada unidad experimental, seguidamente se lavó con agua destilada para eliminar los restos de tierra, orearlas y ser colocadas en bolsas de papel *kraft* debidamente rotuladas para poder ser llevadas a la estufa conjuntamente con los tallos cosechados para su posterior pesado.

### **E) Procedimiento de pesado del ryegrass (*Lolium perenne*)**

Los tallos y las raíces de la planta fueron colocadas en bolsas de papel *kraft*, estas fueron colocadas en una estufa a 60°C durante 24 horas para obtener el peso seco de la parte aérea y la raíz, esta medición se realizó en el Laboratorio de Química y Biología - Universidad Continental.

Después de las 24 horas se retiraron las bolsas de papel *kraft* para su respectivo pesado de la parte aérea y la raíz de cada unidad experimental, en una balanza analítica debidamente calibrada proporcionada por el Laboratorio de Química y Biología - Universidad Continental.

## **F) Procedimiento de Análisis de muestra de suelo final del experimento por cada unidad experimental**

Se realizó el vaciado de la muestra por cada unidad experimental y se dividió en cuadrantes iguales y se eligió una de ellas por cada unidad experimental para obtener una muestra homogénea y así ser enviada para ser analizada.

Finalmente se tomó 1 kg de muestra de suelo de cada unidad experimental para ser colocadas en bolsas de tipo ziploc debidamente rotuladas para ser enviadas al Laboratorio de Química Agrícola Valle Grande, Cañete - Lima para el análisis de arsénico.

- Contenido de arsénico total (mg/kg)

## **G) Evaluaciones realizadas en el ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

La medición de la planta se realizó cortando el tallo del ryegrass por cada unidad experimental y se midió con una regla de 30 cm.

- Altura de planta (cm)

El pesado de la materia seca de la parte aérea y radicular del ryegrass por cada unidad experimental se pesó con una balanza analítica.

- Materia seca de la parte aérea (g)
- Materia seca de la parte radicular (g)

### **3.1.1.3 Fase de gabinete**

Respecto a los resultados de análisis iniciales de enmienda orgánica (sedimentos de piscigranja) y del suelo representativo, así como los análisis finales de contenido de As en los suelos con tratamientos. Se sistematizaron los resultados mediante los tratamientos estadísticos como el análisis de Variancia, prueba de Duncan ( $p=0,05$ ) para comparar los tratamientos entre medias y el Análisis de Correlación y Regresión.

### 3.1.2 Alcances de la investigación

#### A) Tipo de investigación

La presente investigación es un estudio de tipo cuantitativo, se centra en aspectos observables y susceptibles de cuantificación, como es la disponibilidad de arsénico en el suelo y el crecimiento del ryegrass (*Lolium perenne*), es aplicada, pues es de naturaleza eminentemente práctica para aplicar las bases teóricas del comportamiento de la enmienda orgánica en un suelo contaminado con arsénico, mediante la aplicación de diferentes dosis de sedimentos de piscigranja y evaluar la disponibilidad de arsénico en el suelo y el crecimiento del ryegrass (*Lolium perenne*) (118).

#### B) Nivel de investigación

La investigación es explicativa, porque el interés está en explicar las causas y la relación de las variables de estudio como la variable independiente (sedimentos de piscigranja) influye en las variables dependientes [arsénico disponible en el suelo y crecimiento del ryegrass (*Lolium perenne*)] (118).

### 3.2 Diseño de la investigación

Se planteó un diseño cuasi – experimental en la presente investigación, porque se tiene una variable independiente (sedimentos de piscigranja) para observar el efecto y relación con las dos variables dependientes (arsénico disponible en el suelo y crecimiento del ryegrass (*Lolium perenne*)), proponiendo 5 tratamientos cada una con tres repeticiones, haciendo un total de 15 unidades experimentales (118).

**Tabla 22. Tratamientos en estudio**

N°	TRATAMIENTO
1	Suelo + 0% sedimentos de piscigranja
2	Suelo + 2% sedimentos de piscigranja
3	Suelo + 4% sedimentos de piscigranja
4	Suelo + 6% sedimentos de piscigranja
5	Suelo + 8% sedimentos de piscigranja

**Fuente: elaboración propia**



Los tratamientos fueron dispuestos en un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\gamma_{ik}$  = Cualquier observación del experimento

$\mu$  = media poblacional

$\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población está constituida por los suelos contaminados con arsénico ubicados en el distrito de El Mantaro, provincia de Jauja. Con un total de 285 hectáreas con riego (119).

#### **3.3.2 Muestra**

La muestra estuvo constituida por la masa de un suelo representativo en un área de 9496.745 m<sup>2</sup> del distrito de El Mantaro, contaminado con arsénico, del horizonte superficial Ap, seleccionado a juicio de experto (120), que consiste básicamente en solicitar a una serie de personas con una opinión respecto a un aspecto concreto.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

El trabajo de investigación empleó la técnica de muestreo al azar “zig-zag” del área de estudio, con el fin de comparar resultados iniciales y finales de la concentración de As en el suelo y el comportamiento del crecimiento del ryegrass (*Lolium perenne*) con los distintos tratamientos. (Ver Anexo N° 3)

### 3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

La muestra de suelo se extrajo del horizonte superficial, hasta una profundidad de 20 cm en promedio, en una cantidad aproximada de 60 kg, obtenida a partir de 15 muestras simples para constituir una muestra compuesta, en un área aproximada de 9496.745 m<sup>2</sup>. El número de muestras se basó en la norma peruana de muestreo de suelos contaminados (99).

La toma de muestra de sedimento de piscigranja se basó en una técnica de extracción manual, se extrajo de la poza de captación final en una cantidad de 18 litros en recipientes plásticos y se dejó secar por 3 días al aire libre, finalmente se obtuvo una muestra sólida de 30 kg.

### 3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

La muestra de suelo fue analizada en el Laboratorio de Química Agrícola del Instituto Rural Valle Grande, Cañete - Lima.

Asimismo, se analizó en el Laboratorio una muestra del sedimento de piscigranja, que va a ser agregado al suelo, en diferentes dosis.

**Tabla 23. Métodos de análisis de suelo**

Parámetro	Método	Unidad de expresión
pH	Potenciómetro	Unidad pH
Carbono orgánico	Walkley-Black	g.kg <sup>-1</sup>
P disponible	Olsen modificado	mg/kg
K disponible	Espectrofometría	mg/kg
Conductividad eléctrica	Conductómetro	dS/m

**Fuente (21)**

**Tabla 24. Método de análisis de arsénico en suelo**

Parámetro	Método	Unidad de expresión
Arsénico total	EPA* 3050-B/EPA3051	mg.kg <sup>-1</sup> MS**

**Fuente: (18)**

Donde:

- \*EPA = *Environmental Protection Agency* (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)
- \*\*MS = Materia seca a 105°C

### 3.5 Técnicas de tratamiento de datos

Para el tratamiento de datos se aplicó el software INFOSTAT.

Al finalizar el experimento se sistematizaron los datos obtenidos y se procesaron a través del análisis de variancia, aplicando posteriormente la prueba de Duncan ( $p=0,05$ ) para comparar los tratamientos entre medias.

#### **Hipótesis estadísticas para el análisis de variancia:**

**Nivel de significación = 0,05**

$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

$H_a =$  no todas las medias son iguales

#### **Hipótesis estadística para la prueba de Duncan:**

**Nivel de significación = 0,05**

$H_0: \mu_i = \mu_j$

$H_0: \mu_i \neq \mu_j$

Donde:  $i, j = 1, 2, 3, 4, 5$

Asimismo, se han procesado los análisis de regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y los parámetros evaluados.

#### **Prueba de hipótesis para la correlación:**

**Nivel de significación = 0,05**

$H_0: \rho = 0$

$H_a: \rho \neq 0$

**Prueba de hipótesis para la regresión:**

**Nivel de significación = 0,05**

Ho:  $\beta = 0$

Ha:  $\beta \neq 0$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

##### 4.1.1 Propiedades físico-químicas del suelo del experimento

**Tabla 25. Caracterización físico-química del suelo del distrito El Mantaro**

Parámetro	Resultado
<b>Textura</b>	
- Arena	36,56 %
- Limo	40,00 %
- Arcilla	23,44 %
Clase textural	Franco
Carbonato de calcio total	<0,01 %
Conductividad eléctrica	0,81 dS/m
pH	5,84
Fósforo disponible	71,42 ppm
Materia orgánica	2,72 %
Nitrógeno total	0,16 %
Potasio disponible	126,20 ppm
<b>Cationes cambiables</b>	
- Calcio	9,45 meq/100 g
- Magnesio	1,69 meq/100 g
- Sodio	0,06 meq/100 g
- Potasio	0,31 meq/100 g
- Aluminio + Hidrógeno	<0,01
Porcentaje de aluminio intercambiable	<0,09
Capacidad de intercambio catiónico efectivo	11,51

*Fuente (21)*

Para la experimentación en el suelo del distrito El Mantaro se realizó una caracterización físico-química inicial donde presenta una textura media (franca), predominando el limo y la arena, antes que la arcilla en su composición, lo que facilita el drenaje del agua de riego, seguido de un proceso de percolación. Tiene un contenido bajo de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3 < 0,01\%$ ) que lo predispone a tener pH inferior a 7.

Es un suelo sin problema de exceso de sales ( $\text{CE} = 0,81 \text{ dS/m}$ ), debido a la suficiente precipitación pluvial para lixiviar el posible exceso de sales en el suelo. El pH es moderadamente ácido ( $\text{pH} = 5,84$ ), que puede limitar la disponibilidad de algunos nutrientes de las plantas y la actividad microbial del suelo.

El contenido de fósforo disponible es alto ( $\text{P} = 71,42 \text{ ppm}$ ), debido posiblemente a la aplicación de fertilizantes fosfatados al suelo, para el cultivo de maíz.

El nitrógeno total tiene valores medios ( $\text{N} = 0,16\%$ ), lo que significa la necesidad de agregar fuentes nitrogenadas al suelo para suplir las necesidades de este nutriente para la planta.

El contenido de potasio es medio ( $\text{K} = 126,20 \text{ ppm}$ ), que indica la necesidad de agregar potasio al suelo para suplir la necesidad de las plantas.

El contenido de materia orgánica es medio ( $\text{MO} = 2,72\%$ ), que se interpreta como una necesidad de incorporar materia orgánica al suelo para lograr niveles altos de materia orgánica.

La capacidad de intercambio catiónico es baja ( $\text{CIC} = 11,51 \text{ meq/100 g}$ ); todos los datos reportados se presentan en la Tabla N° 25. Los datos han sido calificados en base a la escala de interpretación de análisis de suelo (Ver Anexo 2).

#### 4.1.2 Contenido de arsénico en el suelo al inicio del experimento

**Tabla 26. Resultado inicial del análisis de arsénico del suelo agrícola del distrito El Mantaro**

Parámetro	Resultado	ECA-Suelos Perú D.S. N°002-2013-MINAM.	ECA-Suelos Canadá <i>Protection of Environmental and Human Health - 2007.</i>
Arsénico total (mg/kg)	12,50	50	12

**Fuente (21)**

El suelo para el experimento, proveniente del distrito El Mantaro, ubicado en la margen izquierda del río Mantaro, fue analizado el contenido de arsénico total y reportó un valor de 12,50 mg/kg, que comparado a los Estándares de Calidad de Ambiental de suelos del Perú (As total = 50 mg/kg), es un valor ubicado debajo del estándar de calidad con enfoque a uso de suelos para cultivos, pero comparado con el ECA de suelos de Canadá (As total = 12 mg/kg), es un valor superior al estándar de calidad. Se comparó con los dos ECAS de suelos, pues los datos referenciales de contaminación de suelos del valle del Mantaro (1), utilizaron el ECA de suelos de Canadá, y considero que es más exigente en términos de toxicidad. Esto conlleva a concluir que el suelo del distrito El Mantaro está contaminado con arsénico según el ECA de suelos de Canadá, según los datos reportados por el Laboratorio de Química Agrícola del Instituto Rural Valle Grande, Cañete, Lima (Tabla 26).

#### 4.1.3 Propiedades químicas de los sedimentos de piscigranja

**Tabla 27. Resultados del análisis de caracterización del sedimento de piscigranja**

Parámetro	Resultado
pH	6,94
Conductividad eléctrica	1,47 dS/m
Carbono orgánico	6,72%
Nitrógeno total	0,60%
Fósforo total	0,46%
Potasio total	0,13%

**Fuente (21)**

Los sedimentos de piscigranja utilizados para la experimentación reportados en la caracterización inicial en datos, en los parámetros establecidos (Tabla N° 27), tuvieron un

pH cercano al neutro (pH = 6.94), sin problema de exceso de sales (CE = 1,47 dS/m), con un contenido bajo de carbono orgánico, si lo comparamos a otros materiales orgánicos (CO = 6,72%), y en general con bajo contenido de nutrientes, comparado con materiales compuestos de nutrientes que se agregan al suelo con fines de incrementar la fertilidad y suplir con nutrientes a las plantas cultivadas.

#### 4.1.4 Metales pesados en los sedimentos de la piscigranja

**Tabla 28. Resultados del análisis de metales pesados de los sedimentos de piscigranja**

Parámetro	Resultado	Excelentes (México) (40)	Buenos (México) (40)
Plomo total	45,83 (mg/kg)	300 (mg/kg)	840 (mg/kg)
Cadmio total	0,48 (mg/kg)	39 (mg/kg)	85 (mg/kg)
Cromo total	7,13 (mg/kg)	1 200 (mg/kg)	3 000 (mg/kg)
Arsénico total	<0,03(mg/kg)	41 (mg/kg)	75 (mg/kg)
Mercurio total	7,57 (mg/kg)	17 (mg/kg)	57 (mg/kg)

**Fuente (21)**

Los análisis de metales pesados en los sedimentos de piscigranja reportan valores de arsénico debajo de los estándares de calidad ambiental para suelos ( $As = <0,03$  mg/kg), enfocado al metal pesado concentrado en la enmienda orgánica con la función de ser agregado como sustrato al suelo por los contenidos de materia orgánica, carbono orgánico, relación C/N y NPK, por lo que está indicando que la aplicación de este material orgánico no incrementará significativamente el contenido de este elemento químico contaminante del suelo; esto con el propósito de que los sedimentos de piscigranja cumplan la función de una enmienda orgánica, estos datos están reportados (Tabla N° 28), teniendo como fuente el Laboratorio de Química Agrícola del Instituto Rural Valle Grande, Cañete, Lima.

#### 4.1.5 Disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$



Ha: No todas las medias son iguales

**Tabla 29. Análisis de varianza de la disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	p-valor
Tratamientos	4	8,848	2,212	1,950	0,1786
Error experimental	10	11,344	1,134		
Total	14	20,192			

*Fuente: elaboración propia*

CV = 12,377%

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\mu_i = \mu_j$

Ho:  $\mu_i \neq \mu_j$

Donde i, j = 1,2,3,4,5

El arsénico determinado en el suelo muestra que no hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 12,377%, calificado como bueno, indicando homogeneidad dentro de cada unidad experimental respecto a los tratamientos.

Dado que: se acepta la hipótesis nula, donde los tratamientos son iguales estadísticamente, con un nivel de significación del 5% (Tabla N° 29).

**Tabla 30. Prueba de significación de Duncan para la disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento**

Orden de Mérito	Tratamiento	Promedio (mg/kg)	Significación
1	5 (8% sedimentos piscigranja)	7,120	a
2	2 (2% sedimentos piscigranja)	8,733	a b
3	4 (6% sedimentos piscigranja)	8,800	a b
4	3 (4% sedimentos piscigranja)	9,107	a b
5	1 (0% sedimentos piscigranja)	9.267	b

*Fuente: elaboración propia*

Donde:

ALS(D)<sub>0.05</sub> = 0.0407, 0.0426, 0.0435, 0.0443

La prueba de significación de Duncan presenta a los 4 primeros tratamientos en orden de mérito con diferencias estadísticas entre sí, con valores que varían de 7,120 mg /kg a 9,017 mg/kg. Todos los tratamientos sin diferencias estadísticas recibieron aplicaciones de sedimentos de piscigranja en diversas proporciones de 2% al 8%.

Sobresale el tratamiento con 8% de sedimentos de piscigranja, con un promedio de 7,120 mg/kg, y en último lugar el tratamiento testigo (sin sedimentos de piscigranja), con 9.267 mg/kg, donde hubo reducción de la concentración de arsénico, respecto al nivel de fondo con el valor más alto hallado en el suelo en el análisis inicial. Estos resultados, rechazan la Ho (hipótesis nula) y aceptan la Ha (hipótesis alterna); es decir, los niveles de cada tratamiento son diferentes estadísticamente, con una probabilidad de error del 5% (Tabla N° 30).

**Tabla 31. Variación porcentual de la disponibilidad de arsénico en el suelo al final del experimento**

Orden de Mérito	Tratamiento	Promedio (mg/kg)	Variación (%)
1	5 (8% sedimentos piscigranja)	7,120	-23.168
2	2 (2% sedimentos piscigranja)	8,733	-5.762
3	4 (6% sedimentos piscigranja)	8,800	-5.039
4	3 (4% sedimentos piscigranja)	9,107	-1.726
5	1 (0% sedimentos piscigranja)	9.267	-

**Fuente: elaboración propia**

Se presenta la variación porcentual del Arsénico en el suelo, se observa una disminución del arsénico medido en el suelo, entre 23,168% y 1,726%, respecto al tratamiento donde no se aplicó sedimentos de piscigranja, lo cual se atribuye inicialmente a la retención en el suelo, debido principalmente a los materiales orgánicos.

El valor inicial de la concentración de arsénico fue de 12.5 mg/kg en el suelo, y de los sedimentos de piscigranja fue 0.03 mg/kg, con un total de 12.53 mg/kg de arsénico por unidad experimental, considerando este valor como el nivel de fondo de las tierras agrícolas del valle del Mantaro; el análisis de resultados de postaplicación de sedimentos de

piscigranja se debe realizar con el nivel de fondo, donde se observó el rendimiento de los tratamientos por dosis en el grado de efectividad por tratamiento.

#### 4.1.6 Crecimiento de la planta de ryegrass (*Lolium perenne*)

##### 4.1.6.1 Altura de la planta

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

Ha: No todas las medias son iguales

**Tabla 32. Análisis de varianza de la altura de planta de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	p-valor
Tratamientos	4	385,274	96,318	15,403	0,0003
Error experimental	10	62,531	6,253		
Total	14	447,805			

*Fuente: elaboración propia*

CV = 10,254 %

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\mu_i = \mu_j$

Ho:  $\mu_i \neq \mu_j$

Donde  $i, j = 1,2,3,4,5$

En altura de la planta, el análisis de variancia de los datos evaluados se observa alta significación estadística (p-valor = 0,0003), indicando que los niveles de sedimentos de piscigranja hicieron variar la altura de planta de ryegrass, debido a su efecto en la mejora de las propiedades del suelo, con un nivel de probabilidad de error de 5%. El coeficiente de variación de 10,254% es relativamente bajo, indicando homogeneidad dentro de cada unidad experimental (Tabla N° 32). En este caso se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, que plantea que las medias de tratamientos no son iguales estadísticamente.

**Tabla 33. Prueba de significación de Duncan para la altura de planta de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Orden de Mérito	Tratamiento	Promedio (g)	Significación	Variación (%)
1	5 (8% sedimentos piscigranja)	27,460	a	+91,666
2	3 (4% sedimentos piscigranja)	27,260	a	+90,270
3	2 (2% sedimentos piscigranja)	27,167	a	+89,621
4	4 (6% sedimentos piscigranja)	25,725	a	+79,556
5	1 (0% sedimentos piscigranja)	14,327	b	-

**Fuente: elaboración propia**

La prueba de significación de Duncan para los promedios de tratamientos (Tabla N° 33), muestra a los tratamientos 5, 3, 2 y 4 en los cuatro primeros lugares en orden de mérito, sin diferencias estadísticas entre sí, superando estadísticamente en altura de planta al tratamiento 1 (testigo, sin sedimentos de piscigranja), que solo alcanzó una altura de planta promedio de 14,327 cm. Estos resultados sustentan el rechazo de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

El incremento de altura de planta del ryegrass, debido a la aplicación de sedimentos de piscigranja, varía desde 91,666% para el tratamiento 5 (8% de sedimentos de piscigranja) hasta 79,556% para el tratamiento 4 (6% de sedimentos de piscigranja).

#### 4.1.6.2 Materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*)

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

Ha: No todas las medias son iguales

**Tabla 34. Análisis de varianza de la materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	p-valor
Tratamientos	4	0,644	0,161	3,781	0,0401
Error Experimental	10	0,426	0,043		
Total	14	1,070			

**Fuente: elaboración propia**

CV = 32,363 %

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\mu_i = \mu_j$

Ho:  $\mu_i \neq \mu_j$

Donde i, j = 1,2,3,4,5

Los resultados del análisis de variancia de la materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*), observándose significación estadística entre tratamientos ( $p$ -valor < 0,05), debido al efecto de los sedimentos de piscigranja aplicados al suelo, con un coeficiente de variación de 32,363% (Tabla N° 34), considerado alto, indicando heterogeneidad dentro de cada tratamiento. Estos resultados respaldan el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa, que menciona que las medias de tratamientos no son iguales estadísticamente.

**Tabla 35. Prueba de significación de Duncan para la materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento.**

Orden de Mérito	Tratamiento	Promedio (g)	Significación	Variación (%)
1	5 (8% sedimentos piscigranja)	0,970	a	+198,462
2	2 (2% sedimentos piscigranja)	0,693	a b	+113,231
3	4 (6% sedimentos piscigranja)	0,611	a b	+88,000
4	3 (4% sedimentos piscigranja)	0,589	a b	+81,231
5	1 (0% sedimentos piscigranja)	0,325	b	-

**Fuente: elaboración propia**

La prueba de comparación múltiple de Duncan para los promedios de materia seca de la parte aérea de los tratamientos de sedimentos de piscigranja, muestran que los cuatro tratamientos donde se aplicó la enmienda orgánica (5, 2, 4 y 3) ocupan los primeros lugares en orden de mérito, sin diferencias estadísticas entre sí y superan estadísticamente al tratamiento testigo (sin enmienda orgánica), que solo alcanzó un valor de 0,325 g. Los incrementos de materia seca calculados tomando como base el tratamiento testigo, alcanzan un rango de valores entre 198,462% (tratamiento 5 = 8% de sedimentos de piscigranja) y 81,231% (tratamiento 3 = 4% de sedimentos de piscigranja). Estos datos sustentan el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa que indica que los niveles de cada tratamiento tienen diferente materia seca de la parte aérea (Tabla N° 35).

#### 4.1.6.3 Materia seca de la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*)

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

Ha: No todas las medias son iguales

**Tabla 36. Análisis de varianza de la materia seca de la parte radicular de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	p-valor
Tratamientos	4	0,073	0,018	2,536	0,106
Error experimental	10	0,072	0,007		
Total	14	0,144			

Fuente: elaboración propia

CV = 46,753 %

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\mu_i = \mu_j$

Ho:  $\mu_i \neq \mu_j$

Donde i, j = 1,2,3,4,5

El análisis de variancia de la materia seca de raíz, (Tabla N° 36) no muestra diferencias estadísticas entre tratamientos (p-valor > 0,05), lo cual indica que los tratamientos de sedimentos de piscigranja no habrían afectado la materia seca de la raíz del ryegrass (*Lolium perenne*). Esto sustentaría el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa, con una probabilidad de error del 5% ( $\alpha = 0,05$ ). El coeficiente de variación, de 46,753% es alto, lo cual indica heterogeneidad dentro de cada tratamiento.

**Tabla 37. Prueba de significación de Duncan para la materia seca de la parte radicular de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Orden de Mérito	Tratamiento	Promedio (g)	Significación	Variación (%)
1	2 (2% sedimentos piscigranja)	0,268	a	+346,667
2	5 (8% sedimentos piscigranja)	0,224	a b	+273,333
3	3 (4% sedimentos piscigranja)	0,182	a b	+203,333
4	4 (6% sedimentos piscigranja)	0,172	a b	+186,667
5	1 (0% sedimentos piscigranja)	0,060	b	-

**Fuente: elaboración propia**

La prueba de comparación múltiple de Duncan muestra a los tratamientos con sedimentos de piscigranja (2, 5, 3 y 4) en los cuatro primeros lugares en orden de mérito, sin diferencias estadísticas entre sí, superando al tratamiento 1 (0% de sedimentos de piscigranja), que solo alcanzó un valor promedio de 0,060 g/unidad experimental (Tabla N° 37), indicando un incremento en materia seca de la raíz de ryegrass en un rango de 346,667% (tratamiento 2 = 2% de sedimentos de piscigranja) a 186,667% (tratamiento 4 = 6% de sedimentos de piscigranja), atribuible a la mejora de las condiciones físicas del suelo que favoreció el desarrollo radicular. Estos datos sustentan el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa.

#### 4.1.7 Correlación y Regresión

##### 4.1.7.1 Correlación

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\rho = 0$

Ha:  $\rho \neq 0$

**Tabla 38. Análisis de correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y los parámetros evaluados.**

Variables	r calculado	r tablas		r <sup>2</sup>	Significación
		0,05	0,01		
X = Dosis SP Y = As en el suelo	-0,515	0,514	0,641	0,265	*
X = Dosis SP Y = Altura de planta	0,642	0,514	0,641	0,412	**
X = Dosis SP Y = MS aérea	0,640	0,514	0,641	0,410	*
X = Dosis SP Y = MS raíz	0,566	0,514	0,641	0,320	*

**Fuente: elaboración propia**

El análisis de correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja (x) y los parámetros evaluados en el suelo contaminado con arsénico y la planta de ryegrass (y), presentan significación estadística (Tabla N° 38).

La correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y el contenido de arsénico disponible en el suelo es negativa ( $r = -0,515^*$ ), mostrando que ambas variables están inversamente relacionadas; asimismo, se observa correlación directa significativa entre las dosis de sedimentos de piscigranja (SP) y altura de planta, materia seca aérea y materia seca de raíz de *Lolium perenne*; estos datos sustentan el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis planteada, es decir sí existe correlación entre las variables evaluadas.

#### 4.1.7.2 Regresión

##### Dosis de sedimentos de piscigranja y disponibilidad de arsénico en el suelo

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\beta = 0$

Ha:  $\beta \neq 0$

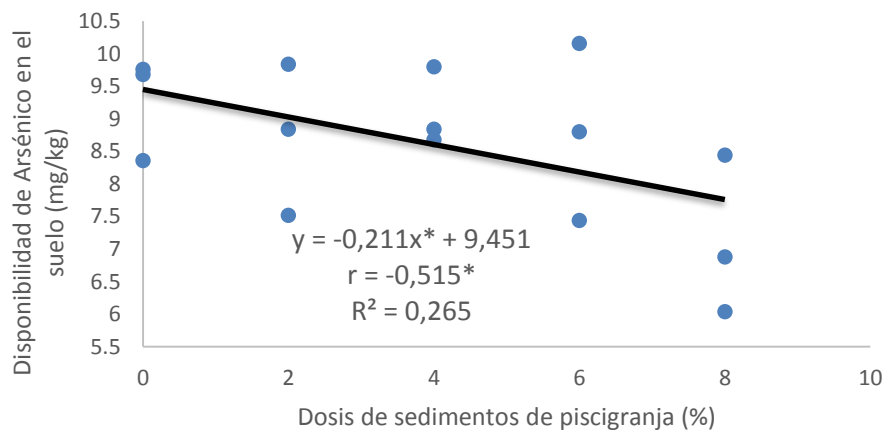
**Tabla 39. Análisis de varianza de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y disponibilidad de arsénico en el suelo**

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	Valor-p
Regresión	5,359	1	5,359	4,70	0,0494
Error	14,832	13	1,141		
Total	20,192	14			

*Fuente: elaboración propia*

Ecuación lineal estimada:  $As(\text{suelo}) = 9,451 - 0,211(\text{Dosis})$





**Figura 14. Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y disponibilidad de arsénico en el suelo de El Mantaro, al final del experimento**  
**Fuente: elaboración propia**

### Dosis de sedimentos de piscigranja y altura de planta

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\beta = 0$

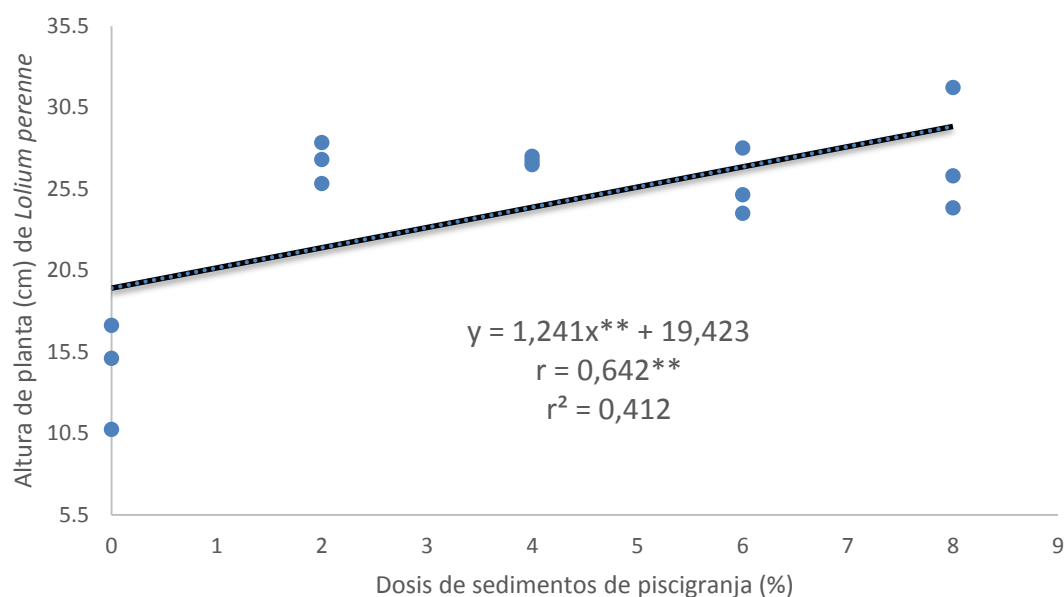
Ha:  $\beta \neq 0$

**Tabla 40. Análisis de variancia de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y altura de planta de ryegrass (*Lolium perenne*)**

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	Valor-p
Regresión	184,884	1	184,884	9,14	0,0098
Error	262,920	13	20,225		
Total	447,805	14			

**Fuente: elaboración propia**

Ecuación lineal estimada: altura de planta = 19,423 + 1,241(Dosis)\*\*



**Figura 15. Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y altura de planta de ryegrass (*Lolium perenne*) en el suelo de El Mantaro, al final del experimento**  
**Fuente: elaboración propia**

**Dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*)**

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\beta = 0$

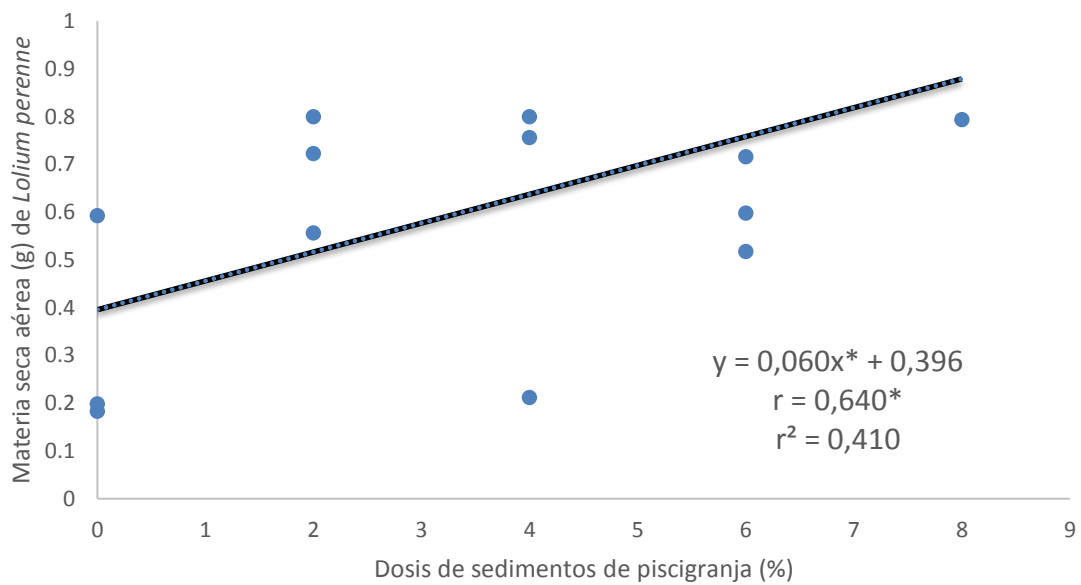
Ha:  $\beta \neq 0$

**Tabla 41. Análisis de variancia de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la parte aérea de ryegrass (*Lolium perenne*).**

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	Valor-p
Regresión	0,438	1	0,438	9,02	0,0102
Error	0,632	13	0,048		
Total	1,070	14			

**Fuente: elaboración propia**

Ecuación lineal estimada: Materia seca aérea = 0,396 + 0,060 (Dosis)\*



**Figura 16. Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca aérea de ryegrass (*Lolium perenne*) en el suelo de El Mantaro, al final del experimento**  
Fuente: elaboración propia

**Dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de raíz de ryegrass (*Lolium perenne*)**

Prueba de hipótesis:

Nivel de significación = 0,05

Ho:  $\beta = 0$

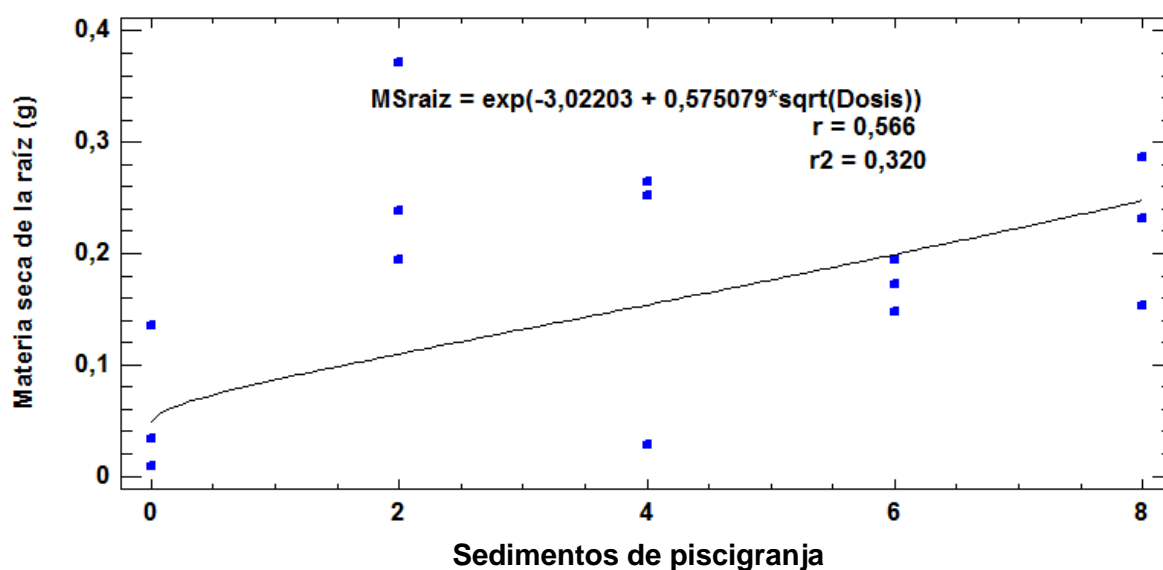
Ha:  $\beta \neq 0$

**Tabla 42. Análisis de varianza de la regresión entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*)**

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	Valor-p
Regresión	4,851	1	4,851	6,12	0,028
Error	10,311	13	0,793		
Total	15,162	14			

Fuente: elaboración propia

Ecuación lineal estimada: materia seca radicular =  $\exp(-3,022 + 0,575(\sqrt{dosis})$



**Figura 17. Regresión y correlación entre las dosis de sedimentos de piscigranja y materia seca de la raíz de ryegrass (*Lolium perenne*) en el suelo de El Mantaro, al final del experimento**

**Fuente: elaboración propia**

Los análisis de regresión, que miden la relación de dependencia entre las dosis de SP y los parámetros evaluados, también presentan significación estadística (valor  $p < 0,05$ ), como se observa en las tablas 38 al 42. La regresión entre las dosis de SP y la disponibilidad de arsénico en el suelo es negativa, atribuyéndose un 26,5% de la variación de la disponibilidad de arsénico a las dosis de SP, y conforme se incrementa en 1% la dosis de SP al suelo, la disponibilidad de arsénico en el suelo disminuye en 0,211 mg/kg. La correlación entre los SP (x) y la altura de planta (cm), materia seca de la parte aérea (g), y materia seca de la raíz (g), de ryegrass (*Lolium perenne*) es directamente proporcional, es decir conforme se incrementa la dosis de SP, también aumentan estos parámetros evaluados, estos datos sustentan el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa o planteada; es decir, existe regresión entre los SP y los parámetros evaluados en el suelo contaminado con arsénico y el crecimiento de la planta de ryegrass (*Lolium perenne*), en el suelo del distrito El Mantaro.

#### 4.2. Discusión de resultados

El trabajo de investigación determinó que la disponibilidad de arsénico en el suelo con la adición de sedimentos de piscigranja (enmienda orgánica) tiene la capacidad de aumentar la inmovilización del As mejorando la calidad en el suelo con el aumento de nutrientes (10), mejorando el crecimiento de la planta como lo corrobora en el rendimiento

de trigo (17), donde se mejoraron las propiedades físicas, químicas y biológicas por lo tanto influyó en el rendimiento de trigo; se puede atribuir al poder de adsorción que ejerce la materia orgánica aplicada que según los fundamentos teóricos se explica a través de la formación de complejos de esfera interna de arsénico con grupos aminoácidos a pH7 cargados positivamente (49), y también complejos ternarios con puentes de cationes metálicos (para ácidos fúlvicos), primariamente con calcio y magnesio, predominantes en los suelos del distrito El Mantaro (50). Hay que agregar que esta retención del arsénico en materiales orgánicos, también se sustenta en la sugerencia que participan grupos fenólicos y carboxílicos en la complejación de esfera interna por ácidos húmicos y fúlvicos (51).

El incremento de altura de la planta del ryegrass (*Lolium perenne*) se debió a la aplicación de sedimentos de piscigranja, esta variación se atribuye a la mejora de las propiedades del suelo permitiendo que la planta tenga mayor porcentaje (%) de crecimiento; es decir, a mayor dosis (8% de SP), mayor es el crecimiento de altura de la planta que a menor dosis (0% de SP), como se especifica en Argentina (16) que los suelos con tratamientos con SP mostraron valores altos en comparación a tratamientos con fertilizantes sintéticos, mostraron los valores más bajos en la altura de la planta; esto nos indica que la aplicación de SP incrementa la altura del ryegrass (*Lolium perenne*).

La materia seca aérea y materia seca de raíz de ryegrass (*Lolium perenne*); atribuye a la retención del arsénico en el suelo por la adición de sedimentos de piscigranja, han reportado que el As afecta disminuyendo la absorción de fósforo, produciendo inhibición en la elongación radicular y una disminución tanto en la proliferación celular como en la producción de biomasa. Estos resultados concuerdan como se refiere en el trabajo de investigación (97), el ryegrass (*Lolium perenne*) aparenta ser menos sensible al ser expuesta al As que la alfalfa (*Medicago sativa*), evidencia que el efecto del As sobre el desarrollo del forraje es diferente según la especie, en ambas especies se observó un efecto más agudo en la porción radicular y una reducción de la biomasa.

En la presente investigación se realizó el análisis de metales pesados en el suelo del Distrito de El Mantaro, donde se determinó la concentración de arsénico al inicio y al final del experimento con los tratamientos (2%,4%,6% y 8%) de sedimentos de piscigranja, así como la muestra testigo.

## CONCLUSIONES

1. Las dosis de sedimentos de piscigranja agregadas al suelo contaminado con arsénico del nivel de fondo (12,5 mg/kg) del distrito El Mantaro, disminuyen la disponibilidad de este metaloide a valores inferiores del estándar, en el rango de 9,07 mg/kg a 7,120 mg/kg, debido a la adsorción en la fase sólida del suelo, representando porcentajes de disminución de disponibilidad entre 1.726 % a 23.169 %.
2. Los sedimentos de piscigranja (SP) agregados al suelo contaminado con arsénico del distrito de El Mantaro, en dosis crecientes de 2% a 8%, incrementaron significativamente el crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*), en altura de planta entre 79,556% y 91,66% con la dosis de 8% de SP, en materia seca de la parte aérea entre 81,231% y 198,462%, y en materia seca de raíz entre 186,667% y 346,667%; atribuible a la mejora de las propiedades del suelo, y por ende la influencia en el crecimiento de ryegrass (*Lolium perenne*).
3. Se encontró correlación y regresión estadísticamente significativa entre las dosis crecientes de sedimentos de piscigranja (2, 4, 6 y 8%) con: disponibilidad de arsénico en el suelo (inversa), altura de planta (directa), materia seca de la parte aérea (directa), y materia seca de raíz (directa), indicando el efecto favorable de los sedimentos de piscigranja en la disminución de la disponibilidad de arsénico y crecimiento de la planta de ryegrass (*Lolium perenne*).

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar la concentración de arsénico en las diferentes partes de la planta como en hojas, tallos y raíces del ryegrass (*Lolium perenne*) y así conocer el porcentaje (%) de la disponibilidad del arsénico en la planta.
2. Realizar un nuevo análisis del suelo final con los tratamientos aplicados (sedimentos de piscigranja), para conocer los nuevos valores de la caracterización físico-química y así poder relacionar su variación de los resultados iniciales con los finales de las propiedades físicas y químicas del suelo.
3. Evaluar con otras técnicas respecto a la especiación del arsénico e indicar qué técnica es la adecuada para la aplicación de sedimentos de piscigranja en un suelo contaminado con arsénico.
4. Se recomienda que en investigaciones posteriores, se determine la terminología adecuada entre disponibilidad y concentración de arsénico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARITAS. Avances de Resultados de la Evaluación del Calidad Ambiental de los Recursos Agua y Suelo. “El Mantaro Revive”. Proyecto: “Fortalecimiento de las capacidades para la descontaminación y recuperación de la cuenca del Mantaro, mediante la implementación de gestión ambiental para contribuir al desarrollo sostenible de la Región Junín”. 2007.
2. ADRIANO, D.C. *Trace elements in terrestrial environments; biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2<sup>nd</sup> edition*. Springer, New York. 2001.
3. MORENO, JIMÉNEZ E, PEÑALOZA JM, MANZANO R, CARPENA-RUÍZ RO, GAMARRA R, ESTEBAN E. *Heavy metals distribution in soils surrounding an abandoned mine in NW Madrid (Spain) and their transference to wild flora*. J. Hazard Mater. (pp.854-859). [En línea]. Marzo 2009, Vol. 162. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2017].  
Disponible en  
[https://www.researchgate.net/publication/5248454\\_Heavy\\_Metals\\_Distribution\\_in\\_Soils\\_Surrounding\\_an\\_Abandoned\\_Mine\\_in\\_NW\\_Madrid\\_Spain\\_and\\_Their\\_Transference\\_to\\_Wild\\_Flora](https://www.researchgate.net/publication/5248454_Heavy_Metals_Distribution_in_Soils_Surrounding_an_Abandoned_Mine_in_NW_Madrid_Spain_and_Their_Transference_to_Wild_Flora)  
ISSN 0304-3894
4. KABATA-PENDIAS and PENDIAS H. *Trace elements in soils and plants* (3ra. Edición). Boca Ratón (FI, USA): CRC Press. [En línea]. 2001.[Fecha de consulta: 20 de octubre de 2016].  
Disponible en  
<http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>



ISBN 0-8493-1575-1

5. NRIAGU JO, BHATTACHAYRA P, MUKHERJEE AB, BUNDSCHUH J, ZEVENHOVEN R, LOEPPERT RH. *Arsenic in soil and groundwater environment biogeochemical. Interactions, health effects and remediation. Trace Metals and other Contaminants in the Environment. Vol.9. Amsterdam: Elsevier.* (pp. 1-58). [En línea]. 2007. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2017].

ISSN 0927-5215

6. JIANG QQ, SINGH BR. *Effect of different forms and sources of arsenic on crop yield and arsenic concentration. Water Air Soil Pollut.* (pp.321-343). [En línea]. Abril de 1994, Vol. 74. [Fecha de consulta: 12 de setiembre de 2016].

Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00479798>

ISSN 1573-2932

7. ALLOWAY, B.J. *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability. Environmental Pollution 22. Third Edition. Springer.* 2013.

8. PEÑA, J., COVARRUBIAS, S. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. Especial Biotecnología e ingeniería ambiental (pp.7-21). [En línea] octubre de 2016 [Citado 10 de junio de 2017.]

9. SÁNCHEZ.C. “Evolución de la calidad del suelo, disponibilidad de metales pesados y vegetación en un depósito minero de la sierra minera de Cartagena-La Unión tras su rehabilitación mediante fitoestabilización asistida”, Tesis de Grado Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Cartagena, Colombia, 2015. [Citado el: 23 de marzo de 2018.]

Disponible en:

<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4862/pfc5812.pdf?sequence=1>

10. OBAJI, A., ROMERO, K., COMBATT., FERNÁNDEZ, L., BURGOS, S., URANGO, I. y MARRUGO, J. Evaluación de materiales como potenciales retenedores de metales pesados para su aplicación como enmiendas en suelos contaminados (pp. 109-111), [En línea] Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, 2017 [Citado el: 23 de marzo de 2018.]

11. STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Wiley. 1994
12. FAGERIA, N., BALIGAR, V., and CLARK, R. *Physiology of crop production. USA: Food Products Press*, 2006.  
ISBN 1-56022-288-3
13. CLEMENTE, R., C. PAREDES, AND M.P. BERNAL. *A field experiment investigating the effects of olive husk and cow manure on heavy metal availability in a contaminated calcareous soil from Murcia (Spain). Agriculture, Ecosystem & Environment* (pp.319-326). [En línea]. Enero de 2007, [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016].  
Disponible en <http://digital.csic.es/handle/10261/16309>  
ISSN 0167-8809
14. PEINADO, M., ROMERO A., ARCO, E., SIERRA, M., ORTIZ, I., and ABBASLOU, H. *Assessment of arsenic toxicity in spiked soils and water solutions by the use of bioassays. SJSS. Spanish Journal of Soil Science*. [En línea]. Octubre de 2012, Vol. 2, n.º3 [Fecha de consulta: 6 de abril de 2017].  
Disponible en <https://sjss.universia.net/article/viewFile/170/47>
15. PÉREZ M., I. *Ecotoxicología del arsénico en suelos de la comunidad de Madrid. Trabajo de fin de Grado. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de Edafología. Madrid, 2015.*  
Disponible en  
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ISMAEL%20PEREZ%20MINGUEZ.pdf>
16. MAZZARINO, M., WALTER, I., COSTA, G., LAOS, F., ROSELLI, L. and SATTI, P. *Plant Response to Fish Farming Wastes in Volcanic Soils. Journal Environmental Quality* (pp.522-528). [En línea]. Febrero de 1997, Vol. 26. n.º2 [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2016].  
Disponible en  
<https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/26/2/JEQ0260020522>  
ISSN 0047-2425

17. TEJADA M., and GONZÁLEZ, J. *Application of Different Organic Wastes on Soil Properties and Wheat Yield. Agronomy Journal. Waste Management.* (pp.1597-1606). [En línea]. 2007, Vol. 99. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2017].
18. RODRÍGUEZ, M., ALVAREZ, C., FERNÁNDEZ, A Y PÉREZ, A. Efecto del arsénico sobre plantas forrajeras de importancia pecuaria en la Argentina. [En línea] 2016. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1668-34982016000100001](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-34982016000100001)  
ISSN: 1668-3498
19. MARTÍNEZ, M., PÉREZ, C., TUDELA, M., MOLINA, J., LINARES, P., NAVARRO, C., VIDAL, J., BARBERÁN, R., MANTILLA, W., TOVAR, J., SOLANO, M., MARIMÓN, J., AGUDO, I., HERNÁNDEZ, C. Desertificación: monitorización mediante indicadores de degradación química. Programa de iniciativa comunitaria INTERREG IIIB ESPACIO MEDOCC. Proyecto Desernet. Acción piloto Región de Murcia. Ed. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. 2005.
20. KOLJONEN, T. *The geochemical atlas of Finlandia, part 2: Till Espoo: Geological Survey Finland*, 1992.
21. JENKINS, D. *Biological monitoring of toxic trace metals. Toxic trace metals in plants and animals of the world. Part I. Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency.* [En línea]. Setiembre de 1980, Vol. 2. [Fecha de consulta: 12 de setiembre de 2016].  
Disponible en [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_Report.cfm?dirEntryID=48369](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?dirEntryID=48369)  
NTIS PB81103483
22. HAYGARTH, P., JONES, K. *Atmospheric deposition of metals to agricultural surfaces. In D. Adriano (Ed.), Biogeochemistry of trace metals (Advances in trace Substances Research, Boca Ratón: Lewis Publishers. 1992. pp. 249-276.*
23. WILLIAMS, M., FORDYCE, F., PAIJITPRAPAPON, A., & CHAROENCHASRI, P. *Arsenic contamination in surface drainage and groundwater in part of the southeast Asian tin belt, Nakhon si Thammarat Province, southern Thailand. Environmental*

*Geology*, (pp.16-33). [En línea]. 1996, Vol. 27. n°1. [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2017].

ISSN 1432-0495

24. DAS, D., SAMANTA, G., MANDAL, B., CHOWDHURY, T., CHANDA, C., CHOWDHURY, P., BASU, G., and CHAKRABORTI, D. *Arsenic in groundwater in six districts of West Bengal, India. Environmental Geochemistry and Health*, (pp.5-15). [En línea]. Marzo de 1996, Vol. 18 [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016].  
Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01757214>  
ISSN 1573-2983
25. NICKSON, R., MCARTHUR, J., BURGESS, W., AHMED, M., RAVENSCROFT, P. and RAHMAN, M. *Arsenic poisoning of Bangladesh groundwater. Nature*, pag.338. [En línea]. Setiembre de 1998, Vol. 395. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2017].
26. AHMED, M., BRANDSTETTER, A., WENZEL, W., & BLUM, W. *The Arsenic calamity in Bangladesh. In 4<sup>th</sup> International conference on the biogeochemistry of trace elements Berkeley: University of California, 1997.* (pp. 263-264).
27. BRANDSTETTER, A., LOMBI, E., & WENZEL, W. *Arsenic-contaminated soils: I. Risk assessment. In D. Wise, H. Trantolo, H. Inyang, & e. Cichon (Eds.). Remediation of hazardous waste contaminated soils* (pp. 715-737). [En línea]. Julio de 2000, Vol.1, [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016].  
ISSN 0-8247-0332-4
28. MEHARG, A., & RAHMAN, M. *Arsenic contamination of Bangladesh paddy field soils: Implications for rice contribution to arsenic consumption. Environmental Science and Technology*, (pp.229-234). [En línea]. 2003, Vol. 37, n.º2 [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2017].  
Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0259842>
29. AZCUE, J., & NRIAGU, J. *Arsenic: historical perspectives. In J. Nriagu (Ed.), Arsenic in the environment, part 1: Cycling and characterization New York: Wiley.* 1994. (pp. 1-15).

30. O'NEILL, P. ARSENIC. IN B. ALLOWAY. *Heavy metals in soils New York: Wiley* (pp.83-99). [En línea].1990. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2017].  
ISBN 0470215984
31. FRANK, R., BRAUN, H., ISHIDA, K., & SUDA, P. *Persistent organic and inorganic pesticide residues in orchard soils and vineyards of Southern Ontario. Canadian Journal of Soil Science*, (pp.463-484). [En línea]. Julio de 1976, Vol. 56 [Fecha de consulta: 7 de setiembre de 2016].  
Disponible en <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/cjss76-055>  
ISSN 1918-1841
32. MERRY, R., TILLER, K., & ALSTON, A. *Accumulation of copper, lead and arsenic in some Australian orchard soils. Australian Journal of Soil Research*, (pp.549-561). [En línea]. Enero de 1983, Vol. 21, n.º4 [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2017].  
Disponible en  
[https://www.researchgate.net/publication/248884131\\_Accumulation\\_of\\_copper\\_lead\\_and\\_arsenic\\_in\\_some\\_Australian\\_orchard\\_soils](https://www.researchgate.net/publication/248884131_Accumulation_of_copper_lead_and_arsenic_in_some_Australian_orchard_soils)
33. PERYEA, F., & CREGER, T. *Vertical distribution of lead and arsenic in soils contaminated with lead arsenate pesticide residues. Water, Air, and Soil Pollution*, (pp.297-306). [En línea]. Diciembre de 1994, Vol. 78, n.º3-4 [Fecha de consulta: 6 de abril de 2017].  
ISSN 1573-2932  
Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00483038>
34. VENEMAN, P., MURRAY, J., & BAKER, J. *Spatial distribution of pesticide residues in a former apple orchard. Journal of Environmental Quality*, (pp.101-104). [En línea]. 1983, Vol. 12. nº1. [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2017].  
ISSN 0047-2425
35. WOOLSON, E., AXLEY, J., & KEARNEY, P. *The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: I. Contaminated field soils. Soil Science Society of American Journal*, (pp.938-943). [En línea]. Enero de 1971, Vol. 35. nº6. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2017].  
Disponible en

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/35/6/SS0350060938?access=0&view=article>

36. SIMS, J., & WOLF, D. *Poultry waste management: Agricultural and environmental issues. Advances in Agronomy*, (pp.1-83). [En línea]. 1994, Vol.52. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2017].
37. ARAI, Y., LANZIROTTI, A., DAVIS, J., & SPARKS, D. *Arsenic speciation and reactivity in poultry litter. Environmental Science and Technology*, (pp 4083-4090). [En línea]. Agosto de 2003, Vol.37, n.º18 [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016]. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0340580>
38. JACKSON, B., BERTSCH, P., CABRERA, M., CAMBERATO, J., SEAMAN, J., & WOOD, C. *Trace. Element speciation in poultry litter. Journal of Environmental Quality*, (pp.535-540). [En línea]. Marzo de 2003, Vol. 32. n.º2. [Fecha de consulta: 12 de setiembre de 2016].
39. BOTHE, J., & BROWN, P. *Arsenic immobilization by calcium arsenate formation. Environmental Science and Technology*, (pp.3806-3811). [En línea]. Setiembre de 1999, [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016]. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es980998m>
40. FERNÁNDEZ, A., ROMÁN, G., CUELLO, G., TURILLAS, X., CHARLET, L., JOHNSON, M., & BARDELLI, F. *Arsenic uptake by gypsum and calcite: Modelling and probing by neutrón and X-ray scattering. Physica B: Condensed Matter*, (pp.935-937). [En línea]. Noviembre de 2006, Vol. 385-386 [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921452606011720> ISSN 0921-4526
41. MOON, D., DERMATAS, D., & MENOUNOU, N. *Arsenic immobilization by calcium-arsenic precipitates in lime treated soils. Science of the total Environment*. (pp.171-185). [En línea]. Setiembre 2004, Vol. 330. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2017]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704001949>

42. WENZEL, W., KIRCHBAUMER, N., PROHASKA, T., STINGEDER, G., LOMBI, E., & ADRIANO, D. *Arsenic fractionation in soils using an improved sequential extraction procedure. Analytica Chimica Acta*, (pp.309-3239). [En línea]. Junio 2001, Vol. 436. n°2. [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2017].
43. DOBRAN, S., & ZAGURY, G. *Arsenic speciation and mobilization in CCA-contaminated soils: Influence of organic matter content. Science of the Total Environment*, (pp.239-250). [En línea]. Julio de 2006, Vol. 364 [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016].  
Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969705004183>  
ISSN 0048-9697
44. GRAFE, M., EICK, M., & GROSSL, P. *Adsorption of arsenate (V) and arsenite (III) on goethite in the presence and absence of dissolved organic carbon. Soil Science Society of American Journal*, (pp.1680-1687). [En línea]. Enero de 2001, Vol. 65. n.°6. [Fecha de consulta: 12 de setiembre de 2016].  
Disponible en  
[https://www.researchgate.net/publication/236907301\\_Adsorption\\_of\\_Arsenate\\_V\\_and\\_Arsenite\\_III\\_on\\_Goethite\\_in\\_the\\_Presence\\_and\\_Absence\\_of\\_Dissolved\\_Organic\\_Carbon](https://www.researchgate.net/publication/236907301_Adsorption_of_Arsenate_V_and_Arsenite_III_on_Goethite_in_the_Presence_and_Absence_of_Dissolved_Organic_Carbon)
45. REDMAN, A., MACALADY, D., & AHMANN, D. *Natural organic matter affects arsenic speciation and sorption onto hematite. Environmental Science and Technology*, (pp.2889-2896). [En línea]. Mayo de 2002, Vol. 36, n.°13 [Fecha de consulta: 6 de abril de 2017].  
Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0112801>
46. JIANG, W., ZHANG, S., SHAN, X., FENG, M., ZHU, Y., & MCLAREN, R. *Adsorption of arsenate on soils. Part 2: Modeling the relationship between adsorption capacity and soil physicochemical properties using 16 Chinese soils. Environmental Pollution*, (pp.278-284). [En línea]. Noviembre de 2005, Vol. 138. n.°2. [Fecha de consulta: 12 de setiembre de 2016].  
Disponible en  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749105002174?via%3Dihub>

47. LIU, F., DE CRISTOFARO, A., & VIOLANTE, A. *Effect of pH, phosphate and oxalate on the adsorption/desorption of arsenate on/from goethite. Soil Science*, (pp.197-208). [En línea]. 2001, Vol. 166. n.º3 [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2016].  
Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/232186489\\_Effect\\_of\\_pH\\_phosphate\\_and\\_oxalate\\_on\\_the\\_adsorptiondesorption\\_of\\_arsenate\\_onfrom\\_goethite](https://www.researchgate.net/publication/232186489_Effect_of_pH_phosphate_and_oxalate_on_the_adsorptiondesorption_of_arsenate_onfrom_goethite)  
ISSN 0038-075X
48. VIOLANTE, A., & PIGNA, M. *Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils. Soil Science Society of American Journal*, (pp.1788-1796). [En línea]. Noviembre 2002, Vol. 66. n.º 6. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2017].
49. SAADA, A., BREEZE, D., CROUZET, C., CORNU, S., & BARANGER, P. *Adsorption of arsenic (V) on kaolinite and on kaolinite-humic acid complexes role of humic acid nitrogen groups. Chemosphere*, (pp.757-763). [En línea]. Junio de 2003, Vol. 51, n.º8. [Fecha de consulta: 6 de abril de 2017].  
Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653503002194>
50. LIN, H., WANG, M., & LI, G. *Complexation of arsenate with humic substance in water extract of compost. Chemosphere*, (pp.1105-1112). [En línea]. Setiembre de 2004, Vol. 56. n.º11 [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2016].  
Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653504004059>
51. MUKHOPADHYAY, D., & SANYAL, S. *Complexation and release isotherm of arsenic in arsenic-humic/fulvic equilibrium study. Australian Journal of Soil Research*, [En línea]. 2004, Vol.42, n.º7, pp.815-824. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2017].
52. GOLDBERG, S., & GLAUBIG, R. *Anion sorption on a calcareous, montmorillonitic Soil-Arsenic. Soil Science Society of American Journal*, (pp.1297-1300). [En línea]. 1988, Vol. 52. n.º5. [Fecha de consulta: 7 de setiembre de 2016].  
Disponible en [https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf\\_pubs/P1024.pdf](https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P1024.pdf)
53. SMITH, E., NAIDU, R., & ALSTON, A. *Chemistry of arsenic in soils: I. Sorption of arsenate and arsenite by four Australian soils. Journal of Environmental Quality*,



- (pp.1719-1726). [En línea]. Noviembre de 1999, Vol. 28, n.º6. [Fecha de consulta: 22 de abril de 2017].
54. SMITH, E., NAIDU, R., & ALSTON, A. *Chemistry of inorganic arsenic in soils: II. Effect of phosphorus, sodium, and calcium on arsenic sorption. Journal of Environmental Quality*, (pp.557-563). [En línea]. 2002, Vol. 31, n.º2. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2017].
  55. CARBONELL, A., BURLÓ, F., MATAIX B. *Arsénico en el Sistema suelo-planta. Significado ambiental*. [En línea]. España: Universidad de Alicante 1995, [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016].  
Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=61709>  
ISBN 84-7908-192-9
  56. SACHS, R.M. Y MICHAELS, J.L. *Comparative phytotoxicity among four arsenical herbicides. Weed Science*. (pp.558-564). [En línea]. 1971, Vol. 19. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2017].
  57. WOOLSON, A., AXLEY, H., and KEARNEY, C. *Correlation between available soil arsenic, estimated by six methods and response to corn (Zea mays L.)*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* (pp.101-105). [En línea]. 1971, Vol. 35. n.º1. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2017].  
ISSN 0038-0776
  58. SANDBERG, G.R. Y ALLEN, I.K. *A proposed arsenic cycle in an agronomic ecosystem. In: Arsenical pesticides. (Woolson, E.A. (ed.)), American Chemical Society Symposium Vol. 7, American Chemical Society, Washington 1975* (pp. 124-147).
  59. LEPP, N.W. (ed.). *Effect of heavy metals pollution on plants. Vol. 1. Effects of trace metal on plant function. Applied Science Publishers. London and New Jersey*. 1981  
ISBN 978-94-011-7339-1
  60. MEHARG, A.A. Y MACNAIR, M.R. *An altered phosphate uptake system in arsenate tolerant Holcus lanatus L. New Phytol.* [En línea]. Setiembre de 1990, Vol.116, n.º1, pp.29-35. [Fecha de consulta: 9 de marzo de 2017].

61. WAUCHOPE, R.D. *Uptake, translocation and phytotoxicity of Arsenic in plants. In Lederer, W. & Fensterheim, R. (Eds.) Arsenic: Industrial, biomedical, environmental perspectives, arsenic symposium. New York. 1983. (pp 348-374).*
62. ASHER, J. and REAY, F. *Arsenic uptake by barley seedlings. Aust. J. Functional Plant Biology*, pp 459-466. [En línea]. Enero 1979, Vol.6, n.º4 [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2016].  
Disponible en <https://doi.org/10.1071/PP9790459>  
ISSN 1445-4408
63. WELLS, M. and RICHARDSON, H. *Anion accumulation by the moss Hylocomium splendens: uptake and competition studies involving Arsenate, Selenite, phosphate, Sulphate and Sulphite. New Phytol.* (pp.571-583). [En línea]. Diciembre de 1985, Vol. 101. n.º4. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2017].  
Disponible en  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1985.tb02863.x/full>
64. GARCIA, I y DORRONSORO, C. *Contaminación por metales pesados. Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. 2005.*  
Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>
65. WONG, M. H. *Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Chemosphere. Vol.50: 775-780.2003*
66. AVELINO, C.C. *Eficacia de la Fitoextracción para la remediación de suelos contaminados en Villa de Pasco. [En línea] Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Callao, 2013. [Consultado 23 de marzo de 2018.]*  
Disponible en <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/459>
67. MORENO, E., ESTEBAN, E., & PEÑALOSA, J. *The fate of arsenic in soil-plant systems. Reviews of environmental*, 215. 2012
68. ALLOWAY B.J. *Heavy Metals in Soils. Chapman & Hall, London.1995*  
ISBN 978-94-010-4586-5

69. LÓPEZ, M. y GRAU, M. Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular. Ministerio de Medio ambiente y Medio Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria. 2009.  
ISBN 978-84-491-0980-5
70. PILON, S. E. *Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology. Vol. 56:15-39. Colorado, USA. 2005*
71. ADRIANO, D.C. *Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag. New York. 1986.*
72. McBRIDE, M.B. *Environmental Chemistry of soils. Oxford Univ. Phvsiol. Plant Mol. Biol. Vol.49: 643-668. New York. 1994.*
73. BRADY, C. y WEIL, R. *The nature and properties of soils. Editorial Prentice Hall, Upper Saddle River. 14th Edition. New York. 2008.*
74. WALLACE, A. & TERRY, E. *Introduction: Soil Conditioners, soil quality and soil sustainability. En A. Wallace and R.E. Terry. Handbook of Soil Conditioners, Marcel Dekker, Inc. Nueva York.1998*
75. HIRZEL, J. y SALAZAR, F. *Uso de Enmiendas Orgánicas como fuente de Fertilización en cultivos. INIA Quilamapu, Chile. 2011.*
76. SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACIÓN  
Disponible en:  
<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>
77. RODRÍGUEZ, R. *Determinación cuantitativa de la carga de desechos ingresados al lago Ranco por efecto del cultivo de especies salmonideas. Tesis de Licenciado en Biología Marina. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Valdivia, Chile. 1993.*

78. STEPHEN, J. NAYLOR, R. MOCCIA, D.Y GORDON, M. *The Chemical Composition of Settleable Solid Fish Waste (Manure) from Commercial Rainbow Trout Farms in Ontario, Canada.* (pp. 21-26) [En línea] *Aquaculture Centre, Department of Animal and Poultry Science, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada*, 1999. [Citado el 23 de marzo de 2018.]
79. CHEN, D., CHRISTIE, P., & LI, L. *A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza.* *Chemosphere*, 42, 185-192. China. 2001.
80. MA, Q., KOMAR, M., CONG, T., ZHANG, W. and YONG, C. *A fern that hyperaccumulates arsenic.* *Nature*. [En línea]. Mayo de 2001, Vol. 409. n°579. [Fecha de consulta: 23 de marzo de 2018]  
 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/35054664>  
 ISSN 1476-4687
81. RAHIMI, M., FARHADI, R. and POOR, Y. *Phytoremediation of Arsenic.* *International Journal of Agronomy and Plant Production*, Vol. 3, n°. 7, p. 230-233, 2012. ISSN 2051-1914
82. DE OLIVEIRA, L., MA, L., SANTOS, J., GUILHERME, L. and LESSL, J. *Effects of arsenate, chromate, and sulfate on arsenic and chromium uptake and translocation by arsenic hyperaccumulator Pteris vittata L.* [En línea] *Environmental Pollution*, Vol. 184, p. 187-192, 2014. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
 Disponible en:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/a54d/05ee6c44afec53980c6668bd7e2112576849.pdf>
83. LESSL, J. and MA, L. *Sparingly-soluble phosphate rock induced significant plant growth and arsenic uptake by Pteris vittata from three contaminated soils.* *Environmental Science & Technology*, Vol. 47, n°. 10, p. 5311-5318, 2013.
84. LEÓN, R. *Pastos y Forrajes Producción y Manejo.* 1° ed. Ediciones Científicas Agustín Álvarez, 251p. Quito, Ecuador. 2003.

85. VILLALOBOS, L. y SÁNCHEZ, J. Evaluación Agronómica y Nutricional del pasto *Ryegrass perenne tetraploide (Lolium perenne)* producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I Producción de biomasa y fenología. [En línea] Agron. Costarricense Vol.34, n° 1 ,2010. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0377-94242010000100003](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242010000100003)  
ISSN 0377-9424
86. OREGON STATE UNIVERSITY. *Brochure: Perennial Ryegrass*. [En línea] Oregon Ryegrass Growers Seed Commission.1999. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en: <http://www.ryegrass.com/publications/forage-brochure.pdf>
87. BARNES, F.R., MILLAR, A. D. Y JERRY, N.C. *Forages an Introduction to Grassland Agriculture*. 15ª Ed. Vol. I. IOWA State University Press, Ames, Iowa, USA.1995.
88. COBOS, F. y NARAVAEZ, D. Fenología y producción de Ryegrass (*Lolium multiflorum*) bajo sistema de labranza convencional y alternativa en la Granja de Irquis. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2018 [Citado el 23 de marzo de 2018.]
89. DUGARTE, MARY & OVALLES, L. La producción de pastos de altura. Kikuyo y *ryegrass perenne* en el estado de Mérida [En línea] FONAIAP Divulga n° 36, Venezuela,1991[Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
[http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd36/texto/produccionpastos.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd36/texto/produccionpastos.htm)
90. FULKERSON, W & DONAGHY, D. *Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence - Key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: A review*. *Animal Production Science*. [En línea] CSIRO Publishing, Vol.41, n°.2, pp. 261-275. Australian,2001 [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/262957250\\_Plant-soluble\\_carbohydrate\\_reserves\\_and\\_senescence\\_Key\\_criteria\\_for\\_developing\\_an\\_effective\\_grazing\\_management\\_system\\_for\\_ryegrass-based\\_pastures\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/262957250_Plant-soluble_carbohydrate_reserves_and_senescence_Key_criteria_for_developing_an_effective_grazing_management_system_for_ryegrass-based_pastures_A_review)

91. CARBONELL, A., BURLO, F. and MATAIX, J. *Response of bean micronutrient nutrition to arsenic and salinity*. [En línea] *Journal of Plant Nutrition*, Vol.21, n° 6, pp.287-1299,1998.
92. MITEVA, E. *Accumulation and effect of arsenic on tomatoes*. [En línea] *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol.33, n° 11-12, pp .1917-1926, 2002.
93. SHAIBUR, M., KITAJIMA, N., SUGEWARA, R., KONDO, T., ALAM, S., IMAMUL HUQ, S. and KAWAI, S. *Critical toxicity of arsenic and elemental composition of arsenic induced chlorosis in hydroponic Sorghum*. [En línea] *Water Air Soil Poll*, Vol. 191, pp.279-292, 2008 [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
<http://repository.library.du.ac.bd:8080/bitstream/123456789/366/1/Imamul%20HUq.pdf>
94. SRIVASTAVA, M., MA, L.; SINGH, N. and SINGH, S. *Antioxidant responses of hyper-accumulator and sensitive fern species to arsenic*. [En línea] *Journal of Experimental Botany* Vol.56, n° 415 pp.1335-1342 ,2005. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en: <https://academic.oup.com/jxb/article/56/415/1335/493769>
95. FINNEGAN, P. & CHEN, W. *Arsenic toxicity: the effects on plant metabolism*. [En línea] *Fron Physiol*, Vol.3, n° 182 ,2012 [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3368394/>
96. FARNESE, F., OLIVERIRA, J., GUSMAN, G., LEÃO, G., SILVEIRA, N., SILVA, P., RIBEIRO, C. and CAMBRAIA, J. *Effects of adding nitroprusside on arsenic stressed response of Pistia stratiotes L. under hydroponic conditions*. [En línea] *International Journal Phytoremediation*, Vol.16, n°2, pp. 123-137, 2014.
97. RODRÍGUEZ, M, ALVAREZ, CV, FERNÁNDEZ, A y PÉREZ, A. *Efecto del arsénico sobre plantas forrajeras de importancia pecuaria en la Argentina*. [En línea] *Universidad de Buenos Aires*.Vol.18, n°1, Buenos Aires, Argentina, 2016 [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1668-34982016000100001](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-34982016000100001)

98. ZAGAL, E. y SADZAWKA, A. Protocolo de Métodos de Análisis para suelos y lodos. [En línea] Servicio Agrícola y Ganadero, Gobierno de Chile, 2007 [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
[http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/4\\_jornada/Protocolos\\_suelos%20y\\_lodos\\_Sadzawka.pdf](http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/4_jornada/Protocolos_suelos%20y_lodos_Sadzawka.pdf)
99. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Guía para el Muestreo de Suelos. D.S N° 002-2013-MINAM, Mavet Impresiones E.I.R.L, Lima, 2014.
100. RODRÍGUEZ, M. Y ARAMENDÍA, A. Métodos didácticos para análisis de suelos. [En línea] Universidad de Rioja, 2015. [Citado el: 20 de febrero de 2018.]  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/580696.pdf>.  
ISBN 978-84-608-5117-2
101. MILLÁN, F. y MARIE, J. Métodos de análisis de suelo. Descripciones y reflexiones. Mérida: Universidad de Los Andes, Venezuela, 2015. ISBN 978-980-11-1781-0
102. SADZAWKA, R., M.A., GREZ, R., MORA, M., FLORES, H., Y NEAMAN, A. Métodos de Análisis Recomendados para Suelos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N°34, Santiago de Chile, 2006.  
ISSN: 0717-4810.
103. MCKEAN, S. Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. [En línea] Centro Internacional de Agricultura Tropical, agosto de 1993.
104. FAGGIONATO, R. Equivalente fertilizante de potasio para algunos suelos agrícolas de Uruguay. Tesis de Grado, Universidad de la República Facultad de Agronomía, Uruguay, 2011.

105. MARTÍNEZ, J. Dinámica del potasio en el suelo y su requerimiento por los cultivos. Trabajo de investigación nivel Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México, 2003.
106. DE LA HORA, A., CONTI, M. y DEFRIERI, R. Potasio disponible, utilización de los extractantes de acetato de amonio y Bray-Kurtz. [En línea] Ciencia del Suelo, Vol.10-11, Buenos Aires, 1993. [Citado el: 20 de febrero de 2018.]  
Disponible en  
[https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_10y11n1y2/De%20la%20Horra.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_10y11n1y2/De%20la%20Horra.pdf).
107. CPP. Constitución Política del Perú. Lima: Estado Peruano, 1993.
108. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo [En línea]. Lima, Perú, 2013 [Citado el: 20 de febrero de 2018.]  
Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/38001>
109. EPA. Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU, [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos>
110. CASTAÑEDA, R. Metodología actualizada para determinación de ácidos húmicos y fúlvicos [En línea] El salvador, 2010. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
[https://www.ipipotash.org/udocs/Castaneda\\_metodologia\\_actualizada\\_para\\_determinacion\\_de\\_acidos\\_humicos\\_y\\_fulvicos.pdf](https://www.ipipotash.org/udocs/Castaneda_metodologia_actualizada_para_determinacion_de_acidos_humicos_y_fulvicos.pdf)
111. YARON, B., CALVET, R. and PROST, R. *Soil Pollution Processes and Dynamics*. Springer. Berlin (1996).  
ISBN 978-3-642-61147-6
112. DECRETO SUPREMO N° 1287, Criterios para el uso de los Biosolidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. [En línea] Colombia, 2014. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
<http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>



113. SEGUEA, J., JIMÉNEZ, A., LLAMAS, R. y JIMÉNEZ, A. El ácido etilen diamino tetraacético (EDTA) y su uso en endodoncia. [En línea] Endodoncia, Vol. 15, n° 2. 1997[Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en:  
<https://personal.us.es/segurajj/documentos/CV-Art-Sin%20JCR/Endodoncia-Edta-1997.pdf>
114. RD NATURAL SALUSVIR, [En línea] 2013. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en: <http://www.rdnatural.es/blog/ligando/>
115. ECURED, [En línea] 2010. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en: [https://www.ecured.cu/Agente\\_quelante](https://www.ecured.cu/Agente_quelante)
116. UNIVERSIDAD DE GRANADA, Departamento de Edafología y Química Agrícola [En línea] 2014. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/miclogia/translo.htm>
117. BEHAR, D. Metodología de la Investigación. [En línea] Editorial Shalom, 2008. [Citado el 10 de enero de 2017.]  
Disponible en:  
<http://rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>  
ISBN 978-959-212-783-7
118. HERNÁNDEZ, R., FERNANDEZ y BAPTISTA, P. Metodología de la investigación. [En línea] McGraw-Hill, Quinta edición ,2010. [Citado el 10 de enero de 2017.]  
Disponible en:  
[http://www.esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf](http://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf)  
ISBN: 978-607-15-0291-9
119. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, Registro administrativo de derechos de uso de Agua del Distrito de El Mantaro – Jauja, Autoridad Administrativa del Agua X Mantaro.

120. CABERO J. y LLORENTE M. La aplicación del juicio de experto como técnica de evaluación de las tecnologías de la información (TIC). [En línea] Eduweb. Revista de tecnología de información y Comunicación en Educación Vol.7, n° 2, pp.11-22,2013. [Citado el 23 de marzo de 2018.]  
Disponibile en:  
[https://www.researchgate.net/publication/260750592\\_La\\_aplicacion\\_del\\_juicio\\_de\\_experto\\_como\\_tecnica\\_de\\_evaluacion\\_de\\_las\\_tecnologias\\_de\\_la\\_informacion\\_y\\_comunicacion\\_TIC](https://www.researchgate.net/publication/260750592_La_aplicacion_del_juicio_de_experto_como_tecnica_de_evaluacion_de_las_tecnologias_de_la_informacion_y_comunicacion_TIC)

## FUENTES

**Fuente (1).** Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación.

**Fuente (2).** Evolución de la calidad del suelo, disponibilidad de metales pesados y vegetación en un depósito minero de la sierra minera de Cartagena La unión tras su rehabilitación mediante fitoestabilización asistida.

**Fuente (3).** Caritas Huancayo

**Fuente (4).** Juárez Soto H. Contaminación por metales, UNA, 2006

**Fuente (5).** Técnicas de conservación de suelos, agua y vegetación en territorios degradados, Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos, 2011

**Fuente (6).** Norma Técnica Colombiana 5167, Materiales Orgánicos Utilizados como Fertilizantes o Acondicionadores de Suelo

**Fuente (7).** Metalófitas en América Latina: un recurso biológico y genético único poco conocido y estudiado en la región

**Fuente (8).** Brooks R. R. Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, 1998

**Fuente (9).** León R., 2003, Pastos y Forrajes; producción y manejo

**Fuente (10).** *Dairy solutions*

**Fuente (11).** *Cathal Wims, DairyNZ, Making the right decisions with spring, 2016*

**Fuente (12).** Fulkerson, 2007

**Fuente (13).** Dirección Regional de Agricultura Junín

**Fuente (14).** Autoridad Nacional del Agua, Autoridad Administrativa del Agua X Mantaro

**Fuente (15).** Guía para Muestreo de Suelos Contaminados, 2014, MINAM.

**Fuente (16).** FAO, textura del suelo

**Fuente (17).** Millan, y otros, 2015

**Fuente (18).** Estándares de calidad ambiental para Suelos, MINAM

**Fuente (19).** Líneas Guía sobre la Calidad de los sedimentos por la Protección de la vida Acuática, Canadá

**Fuente (20).** *Google Earth*

**Fuente (21).** Laboratorio de Química Agrícola, Instituto Rural Valle Grande, Cañete, Lima.

**Fuente (22).** Ramos & otros, 2000

**Fuente (23).** Semarnat, 2010

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Datos originales

**Tabla 1. Altura de planta promedio. Plantas de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% sedimentos piscigranja)	10,740	15,105	17,135
2 (2% sedimentos piscigranja)	27,310	28,350	25,840
3 (4% sedimentos piscigranja)	27,260	27,515	27,005
4 (6% sedimentos piscigranja)	24,010	25,140	28,025
5 (8% sedimentos piscigranja)	26,310	24,340	31,730

**Tabla 2. Materia seca de la parte aérea. Plantas de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% sedimentos piscigranja)	0,1987	0,1830	0,5928
2 (2% sedimentos piscigranja)	0,7228	0,7998	0,5564
3 (4% sedimentos piscigranja)	0,2117	0,7560	0,7997
4 (6% sedimentos piscigranja)	0,5980	0,5178	0,7161
5 (8% sedimentos piscigranja)	1,0060	0,7935	1,1114

**Tabla 3. Materia seca de la parte radicular. Plantas de ryegrass (*Lolium perenne*) al final del experimento**

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% sedimentos piscigranja)	0,0089	0,0343	0,1360
2 (2% sedimentos piscigranja)	0,2381	0,3715	0,1949
3 (4% sedimentos piscigranja)	0,0278	0,2641	0,2526

4 (6% sedimentos piscigranja)	0,1940	0,1730	0,1483
5 (8% sedimentos piscigranja)	0,1526	0,2321	0,2862

## Anexo 2

### Escala de interpretación de análisis de suelos

#### 1. Textura<sup>1</sup>

Términos Generales		Clase textural	Símbolo
Suelos	Textura		
Arenosos	Gruesa	Arena	A.
		Arena franca	A.Fr.
Francos	Moderadamente gruesa	Franco arenoso	Fr.A.
		Franco	Fr.
	Media	Franco limoso	Fr.L.
		Limoso	L.
		Moderadamente fina	Franco arcilloso
	Franco arcillo limoso		Fr.Ar.L.
	Franco arcillo arenoso	Fr.Ar.A.	
Arcillosos	Fina	Arcillo arenoso	Ar.A.
		Arcillo limoso	Ar.L.
		Arcilloso	Ar.

#### 2. Profundidad efectiva<sup>1</sup>

Término descriptivo	Profundidad (cm)
Muy superficial	< 25
Superficial	25 - 50
Moderadamente profundo	50 - 100

Profundo	100 - 150
Muy profundo	> 150

### 3. Pendiente<sup>2</sup>

Pendientes cortas (laderas cortas) %	Pendientes largas (Laderas largas) %
0-4	0 - 2
4-8	2 - 4
8-15	4 - 8
15-25	8 - 15
25-50	15 - 25
50-75	25 - 50
> 75	50 - 75
	> 75

### 4. pH<sup>1</sup>

Rangos	Clases
< 3,5	Ultra ácido
3,6 – 4,4	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro

7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
> 9,0	Muy fuertemente alcalino

## 5. Conductividad eléctrica<sup>1</sup>

Clase	Calificación	Conductividad Eléctrica dS/m
0	No salino	0 – 2
1	Muy ligeramente salino	2 – 4
2	Ligeramente salino	4 – 8
3	Moderadamente salino	8 – 16
4	Fuertemente salino	≥ 16

## 6. Materia Orgánica<sup>2</sup>

Nivel	%
Bajo	< 2
Medio	2 – 4
Alto	> 4

## 7. Fósforo disponible<sup>2</sup>

Nivel	P (mg/kg)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

## 8. Potasio disponible<sup>2</sup>



Nivel	K (mg/kg)
Bajo	< 100
Medio	100 – 240
Alto	> 240

### 9. Capacidad de Intercambio Catiónico<sup>3</sup>

Nivel	CIC (cmol/kg)
Muy Baja	< 4
Moderadamente Baja	4 – 8
Baja	8 – 12
Moderadamente Alta	12 – 20
Alta	> 20

### 10. Saturación de bases<sup>3</sup>

Nivel	Suma de Cationes (%)	Acetato de Amonio (%)
Bajo	< 35	< 50
Alto	> 35	> 50

### 11. Saturación de Aluminio<sup>3</sup>

Nivel	Para cultivos		
	Susceptibles	Tolerantes	Muy tolerantes
Bajo	< 30	< 40	< 60
Alto	> 30	> 40	> 60

- (1) *Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.*
- (2) *Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.*
- (3) *Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002.*

**Anexo 3**  
**Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados**

Establece los pasos necesarios para el desarrollo de acciones que conduzcan a la determinación de los suelos contaminados en una secuencia que oriente hacia el logro de los objetivos trazados.

#### Muestreo dirigido o a juicio de expertos

Muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación.

#### Muestreo estadístico

Muestreo realizado de acuerdo modelos matemáticos, y se usa para comprobar de manera homogénea la presencia o ausencia y distribución de contaminantes en el suelo. El muestreo se realiza en toda el área posiblemente contaminada pudiendo hacerse de manera aleatoria estratificada y sistemática.

- a) **Sistemático:** también conocido como muestreo regular, en este tipo se reduce la variabilidad de las muestras debido a que su levantamiento sigue un patrón geométrico específico (retícula), tomando las muestras a intervalos regulares y cubren de forma uniforme el sitio a muestrear (Fig. 1 y Fig. 2). Es conveniente para estimar con precisión las zonas críticas, patrones espaciales en dos o tres dimensiones y tendencias, calcular volúmenes de material contaminado y no requiere de conocimiento previo del sitio.
- b) **Aleatorio estratificado:** cuando se dispone de información previa y el sitio presenta características geográficas diferenciadas, es necesario estratificar o subdividir en subgrupos las muestras que tienen homogeneidad en el terreno y en cada estrato se aplica un muestreo aleatorio simple de manera independiente.
- c) **Aleatorio simple:** recomendado para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la extensión del sitio. Se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo. Los puntos de muestreo se enumeran en un plano cartesiano (X, Y). La selección de éstos se realiza por medio de una tabla de números aleatorios lo cual garantiza que cada punto tenga la misma probabilidad de ser seleccionado.

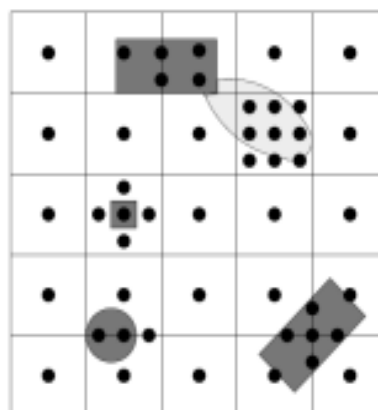
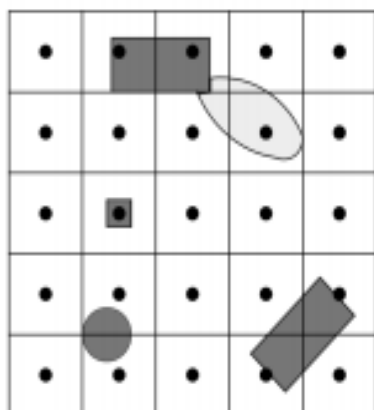


Fig.1. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestro utilizando una malla cuadrada. Las áreas demarcadas son aquellas consideradas sospechosas de ser contaminadas.

Fig.2. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestro y densificación de puntos previamente identificados como áreas sospechosas de contaminación (áreas sombreadas).

Los patrones de muestreo se refieren a las diferentes formas en las que se pueden distribuir los puntos de muestreo en el plano horizontal, para cada sitio en particular, conociendo sus características y el motivo del muestreo. En este anexo se refieren tres tipos de patrones de muestreo: con distribución uniforme, con distribución aleatoria y con distribución heterogénea.

**Patrones de muestreo con distribución uniforme:**

- Rejillas regulares
- Rejillas triangulares
- Rejillas circulares
- Sobre una línea
- Diagonales múltiples

**Patrones de muestreo con distribución aleatoria (éstos son referidos en muestreos estadísticos):**

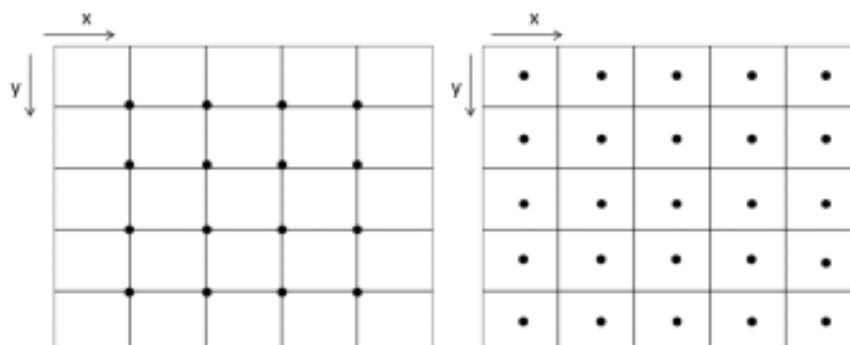
- Aleatorios
- Aleatorios en una rejilla regular
- Aleatorios desalineados en una rejilla regular

**Patrones de muestreo con distribución heterogénea:**

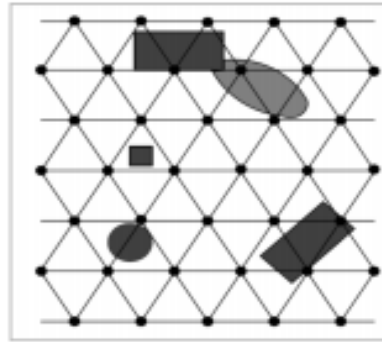
- Diagonal simple
- Diagonales cruzadas rotantes
- Irregular en forma de N, S, E o W
- Zigzag
- Zigzag transverso

A continuación se describen todos los patrones hasta ahora reportados, con la finalidad de que el lector pueda contar con elementos para decidir o rechazar su aplicación, según los objetivos del muestreo.

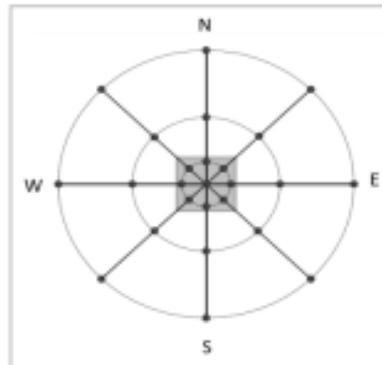
**Rejillas regulares.** En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera las celdas son más pequeñas. Se marca un punto en cada celda, ya sea al centro o en las intersecciones, pero en todas las celdas los puntos deben quedar en el mismo lugar.



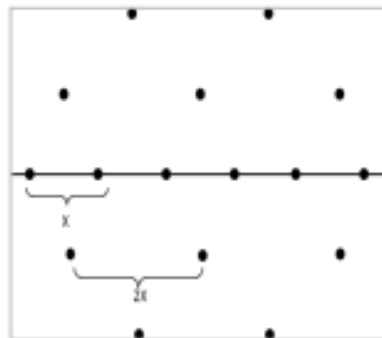
**Rejillas triangulares.** En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros, todos con las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera la rejilla es más cerrada. Cuando en este patrón se marca un punto en el centro de cada celda, éste queda rodeado por 3 puntos que se encuentran a la misma distancia  $dx$ , entonces se puede calcular el radio no muestreado ( $r = (dx/3) (\sqrt{3})$ ), así como el área circular no muestreada ( $A = \pi r^2 = \pi dx^2/3$ ).



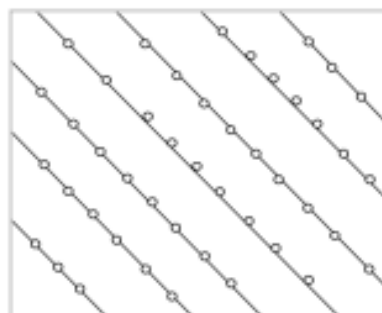
**Rejilla circular.** Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera. Se trazan líneas rectas considerando los 8 puntos cardinales principales y se ubican los puntos de muestreo en las intersecciones. Se espera que con esta rejilla las mayores concentraciones de contaminantes se ubiquen en el centro.



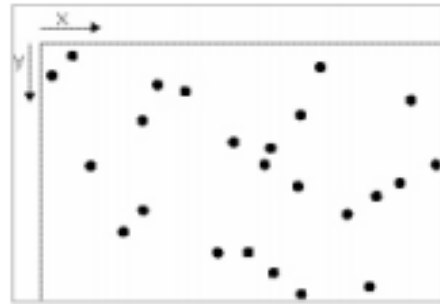
**Sobre una línea.** En el caso de que la contaminación siga una línea recta, como en aquellos referidos a fugas de ductos, los puntos de muestreo pueden ser marcados para cubrir la zona impactada y las zonas aledañas. Para ello se marca una línea recta sobre la tubería y puntos separados una distancia "x" y en líneas auxiliares paralelas se incluyen puntos traslapados, separados a una distancia "x", o "2x". Los puntos de las líneas auxiliares pueden estar salteados. La separación de las líneas auxiliares está en función del detalle que se pretenda para el estudio.



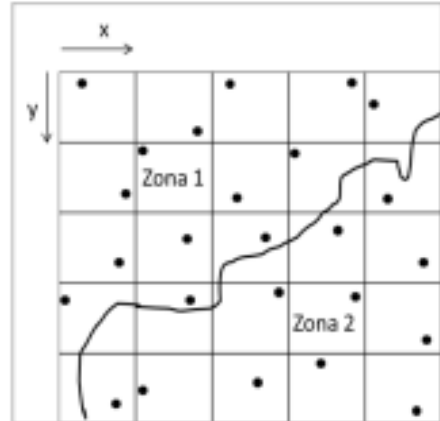
**Diagonales múltiples.** En el plano se traza una diagonal central y líneas paralelas, sobre las cuales se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Es deseable que la separación de las líneas sea similar a la distancia entre los puntos en una misma línea; entre mayor detalle sea requerido, las distancias serán más cortas.



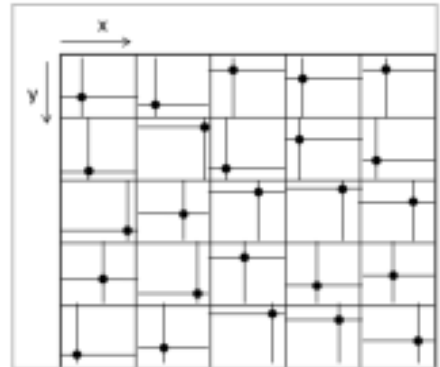
**Aleatorio.** Este es uno de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas, no importa la distribución de instalaciones, ni los antecedentes del sitio. Este patrón es muy irregular, no sigue ninguna lógica. Pueden quedar manchas de contaminación en los espacios vacíos y pasar desapercibidas durante el muestreo.



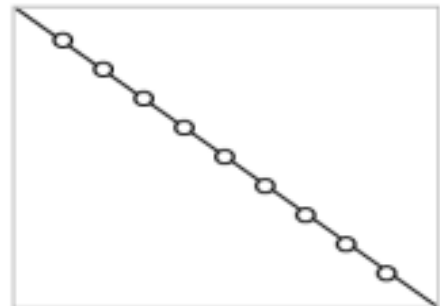
**Aleatorio sobre rejilla regular.** En inglés se conoce como "estratified". Este es otro de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular en el plano, se elige un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda de una tabla de números aleatorios o con programas de cómputo; el plano se divide en zonas. Este patrón tiene la desventaja de que algunos puntos pueden quedar muy cercanos y otros muy alejados, en los espacios vacíos pueden pasar desapercibidas contaminaciones puntuales.



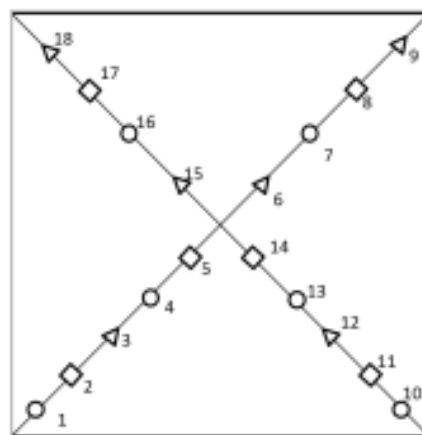
**Aleatorio desalineado sobre rejilla regular.** Este patrón es también empleado en los métodos estadísticos. Este patrón es similar al anterior, la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada "x" se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada "y", o viceversa. El patrón tiene las mismas desventajas que el aleatorio sobre rejilla regular, en el sentido de que algunos puntos pueden quedar muy cercanos y otros muy alejados, en los espacios vacíos pueden pasar desapercibidas contaminaciones puntuales.



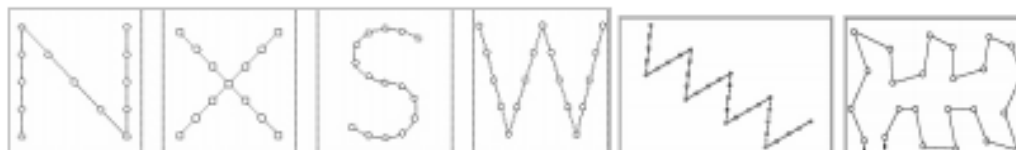
**Diagonal simple.** Sobre el plano se traza una línea diagonal, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Este patrón no permite resultados representativos.



**Diagonales cruzadas rotantes.** Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo aquellos donde se está dando seguimiento a una atenuación natural. Este arreglo se recomienda para superficies en forma cuadrada, sobre el plano se marcan dos líneas diagonales perpendiculares a partir de los vértices. Sobre cada línea se marcan los puntos de muestreo como se muestra en la siguiente figura, en los muestreos subsiguientes se hace una rotación de las diagonales de 45°, en el sentido de las manecillas del reloj, manteniendo fijo el punto central. De esta forma se pueden hacer 8 muestreos consecutivos para cubrir toda el área. Cuando las dimensiones y forma del área de estudio permiten acomodar varios cuadrados, será necesario tomar muestras de las intersecciones de los cuadrados, donde los puntos 9 y 10 del primer cuadrado están cercanos a los puntos 1 y 18 del cuadrado siguiente, respectivamente.



**Muestreo irregular en forma de N, S, X o W.** En superficies en forma cuadrada se dibujan las letras referidas y sobre las líneas se marcan los puntos de muestreo tratando de que sean equidistantes, sin embargo, estos patrones no permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.



**Zig-zag.** Sobre el plano, se dibuja una línea en zig-zag, y sobre ésta se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes. Al igual que en el caso anterior, estos patrones no permite resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.

**Zig-zag transverso.** Sobre el plano se marca una línea en zig-zag irregular tratando de que cubra toda la superficie de estudio, y sobre ésta, se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes. Estos patrones tampoco permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.

Para cualquiera de los patrones de muestreo que se pretenda aplicar, es muy importante contar con un plano acotado del sitio de estudio, con la finalidad de marcar los puntos y obtener sus respectivas coordenadas para posteriormente confirmarlos en el propio sitio con ayuda de un geoposicionador.

Nota: El geoposicionador puede tener errores importantes en áreas pequeñas por lo tanto en sitios que no son de grandes dimensiones es necesario recurrir a los levantamientos topográficos con estaciones totales para tener un buen grado de certidumbre

**Anexo 4**  
**Registro de peso de tallo y raíz del ryegrass (*Lolium perenne*)**

		PESO TOTAL (BOLSA + TALLO) g	PESO DE LA BOLSA g	PESO DEL TALLO g	PESO TOTAL (BOLSA+ RAIZ) g	PESO DE LA BOLSA g	PESO DE RAIZ g
T 1	MACETERO 1	11.0699	10.8712	0.1987	10.9385	10.9296	0.0089
	MACETERO2	11.0940	10.911	0.1830	11.0246	10.9903	0.0343
	MACETERO 3	11.7450	11.1522	0.5928	11.2273	11.0913	0.1360
T2	MACETERO 4	11.7733	11.0505	0.7228	11.3401	11.1020	0.2381
	MACETERO 5	11.8658	11.0660	0.7998	11.4264	11.0549	0.3715
	MACETERO 6	11.5184	10.9620	0.5564	11.2723	11.0774	0.1949
T3	MACETERO 7	11.2540	11.0423	0.2117	11.1306	11.1028	0.0278
	MACETERO 8	11.9310	11.1750	0.7560	11.3740	11.1099	0.2641
	MACETERO 9	12.0052	11.2055	0.7997	11.3917	11.1391	0.2526
T4	MACETERO 10	13.2111	12.6131	0.5980	11.3382	11.1442	0.1940
	MACETERO 11	11.7763	11.2585	0.5178	11.3111	11.1381	0.1730
	MACETERO 12	12.0131	11.2970	0.7161	11.1226	10.9743	0.1483
T5	MACETERO 13	12.0642	11.0582	1.0060	11.0473	10.8947	0.1526
	MACETERO 14	11.7819	10.9884	0.7935	11.1774	10.9453	0.2321
	MACETERO 15	12.2116	11.1002	1.1114	11.1187	10.8325	0.2862



**Anexo 5**  
**Registro de medición de tallo del ryegrass (*Lolium perenne*)**

	T1			T2			T3			T4			T5		
	Macetero N°1	Macetero N°2	Macetero N°3	Macetero N°4	Macetero N°5	Macetero N°6	Macetero N°7	Macetero N°8	Macetero N°9	Macetero N°10	Macetero N°11	Macetero N°12	Macetero N°13	Macetero N°14	Macetero N°15
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	19.2	18.8	23	28.8	34.4	19.9	17.1	26.6	28.5	28.5	21.9	34.2	26.2	25.4	31.3
2	9.4	11.8	32.3	29	34.8	23.7	21.5	27.7	25.2	26.7	29	30.3	24.3	22.6	28.7
3	11.4	14.9	36.4	23.8	26.8	24.9	14.3	30.9	23.3	25.4	25.5	29.5	33.3	25.5	31.6
4	7.6	20.5	30.6	21.3	27.3	26.1	18.5	27.4	26.7	16.8	22.3	30.4	22.4	30.5	31.7
5	9.5	17.4	29	30.6	30.6	30.2	26.2	29.3	30	24.5	27.5	31.3	26.6	29.4	30.9
6	12.2	14.5	24.6	24.4	30.5	28.6	13.3	29.8	17.7	27.1	31.4	27.9	30.5	20.3	39.4
7	9.1	13.1	29.5	24.3	30.1	29.4	17.6	22.7	27.9	25.7	30.2	24	28.8	25.4	35.3
8	10.8	16	30	24	25.4	26.8	17.4	31.6	30.3	23.9	27.4	26.1	30.4	25.5	30.6
9	10.7	14.4	30.5	27	27.7	28.2	25.5	33.2	29.5	28.7	23.4	25.5	27.3	24.4	31.1
10	9.7	14.8	29.1	36.6	25.8	28.6	18.4	22.1	29.6	23.6	31.5	29.9	23.9	23.2	32.8
11	13.1	17.3	26	33.4	30.4	27.7	13.2	26.5	24.7	29	27.9	27	20.1	20	30.2
12	10.6	11.4	27.5	33.9	28.9	26.3	27.1	29.5	23.6	19.3	22.6	27.8	24.3	27.3	33.4
13	8.8	13.9	24.5	29.4	28.8	19.8	20.8	28.7	27.8	20.1	23.4	22.9	25	24.5	30.9
14	7.3	18.6	24.3	27.6	24.1	21.4	16.4	30.4	24.5	25.9	24.8	29.4	25.9	27	31.7
15	12.7	10.9	23.9	28.4	28.3	28.3	12.5	24.8	27	29.7	23.5	25.9	31.7	21.2	28.9
16	11.2	17.4	27.6	28.5	27.5	23.6	15.3	27.7	30.3	26.1	23.3	29.2	23.4	32.7	29.1
17	9.7	17.5	27.1	25.9	27.2	30.1	9.5	30.1	32.4	23.4	24.1	25.7	27.5	18.8	30.6
18	10.4	12.6	28.7	23.7	26.3	28.6	11.4	20.9	26.8	14.3	20.4	31.8	26.8	22.3	31.5
19	11.1	11.5	24.3	22.4	24.3	23.2	16.1	32.9	25.7	20.4	24.1	31.1	23.4	22.4	29.7
20	10.3	14.8	21.8	23.2	27.8	21.4	13.1	17.5	28.6	21.1	18.6	20.6	24.4	18.4	35.2

**Anexo 6**  
**Solicitud de autorización de ingreso al Centro Piscícola "El Ingenio", Huancayo - Junín**

"Año de la consolidación del Mar de Grau"

Huancayo, 18 de Julio del 2016.

**Director**

**ING. VICTOR ANTONIO LAZO MAYORGA**

Dirección Regional de Producción de Junín



**Asunto** : AUTORIZACION DE EXTRACCION DE SEDIMENTOS DEL CENTRO PISCÍCOLA "EL INGENIO"

Es grato dirigirme a Usted para saludarlo afectuosamente, y a la vez manifestarle lo siguiente:

Que, por la realización del Plan de Tesis " Aplicación de residuos de piscigranja en un suelo contaminado y su efecto de la disponibilidad de Arsénico en el distrito de El Mantaro - Jauja ", es indispensable la obtención de estos sedimentos para poder realizar las prácticas experimentales en laboratorio por lo cual es de suma importancia la extracción de los sedimentos del centro Piscícola "El Ingenio".

Por lo expuesto ruego a Ud. Proceder conforme a lo solicitud

Atentamente,

**HUAMANCAJA PALOMINO LIZ CECILIA**

**DNI: 48073441**

**Anexo 7**  
**Solicitud de acceso a la información pública, N° de Ha con riego del Distrito de El Mantaro - ANA**

**FORMULARIO N° 003**

	<b>PERÚ</b>	<b>Ministerio de Agricultura y Riego</b>	<b>Autoridad Nacional del Agua</b>	N° de registro

**SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA**  
 (Texto Único Ordenado de la ley N°: 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N°: 043-2003-PCM)

**I. FUNCIONARIO RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACIÓN**  
 Ing. Julio Humberto Ignacio Cruz Delgado

**II. DATOS DEL SOLICITANTE**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES / RAZON SOCIAL</b>	<b>DOCUMENTO DE IDENTIDAD</b>
Huamancaya Palomino Liz Cecilia	D.N.I / L.M / C.E. OTRO
	48073441

**DOMICILIO**

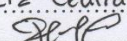

<b>AV. / CALLE - JR. / PSJ</b>	<b>N° / DPTO / INT</b>	<b>DISTRITO</b>	<b>URBANIZACIÓN</b>
Jr. 28 de julio	849	Chilca	
<b>PROVINCIA</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>CORREO ELECTRÓNICO</b>	<b>TELÉFONO</b>
Huancayo	Junín	lizcecilia_hp@hotmail.com	961099961

**III. INFORMACIÓN SOLICITADA**  
 (N° de ha agrícolas con riego y sin riego, que son regadas con las aguas del río Mantaro) del Distrito de El Mantaro - Jauja

**IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL SE REQUIERE LA INFORMACIÓN**  
 Autoridad Administrativa del Agua X Mantaro

**V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (MARCAR CON UNA "X") Ver Nota**

<input type="checkbox"/> COPIA SIMPLE	<input type="checkbox"/> CD	<input type="checkbox"/> CORREO ELECTRONICO	<input type="checkbox"/> OTRO
---------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------------

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b> Huamancaya Palomino Liz Cecilia	<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN</b>
<b>FIRMA</b> 	

**RECEPCION**  
 27 MAR. 2018  
 Hora: 12:34 Folios: 01  
 CUT: 81035-2518  
 Firma:   
 LA RECEPCIÓN NO IMPLICA CONFORMIDAD

**Anexo 8**  
**Boleta de venta de análisis físico-químico, Metales pesados de suelo y sedimentos de piscigranja**



**PROSIP**  
 PROMOTORA DE OBRAS SOCIALES Y  
 DE INSTRUCCION POPULAR

Panamericana Sur Km. 144  
 Apartado 70  
 Teléfono (01) 581-2261 - 581-2469  
 San Vicente - Cañete - Perú  
 E-mail: informes@irvg.org

**R.U.C. N° 20120055128**

**BOLETA DE VENTA**

**N° 006 - 0010357**

CAÑETE 14 DE AGOSTO DEL 2014  
 SEÑOR(ES): Huamancaja Felomina Telle  
 DNI  
 DIRECCION:

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VALOR DE VENTA
1	ANALISIS DE SUELOS: CARACTERIZACION	S/ 100.00	S/ 100.00
1	ANALISIS DE SUELOS: METALES PESADOS (ARSENICO)	S/ 94.40	S/ 94.40
1	ANALISIS DE ENMIENDA ORGANICA SOLIDA: ESPECIAL (N-P-K+Ca+Mg+Carbono Organico)	S/ 133.00	S/ 133.00
1	ANALISIS DE ENMIENDA ORGANICA SOLIDA: METALES PESADOS (ARSENICO)	S/ 94.40	S/ 94.40
SON CUATROCIENTOS SETE CON 10/100 Pesos Soles			
<b>CANCELADO</b>			<b>TOTAL</b>
			S/ 427.10

YCHIFORMAS S.A. RUC 20250402965  
 TELEFAX: 265-7188  
 AUT. N° 0071818223  
 FI. 08-01-04  
 DEL 006-8001 AL 006-13000

CAÑETE DE DEL 200

**ADQUIRENTE ó USUARIO**

**Anexo 9**  
**Boleta de venta de análisis de Arsénico de las 15 muestras finales**

 <b>PROSIP</b> PROMOTORA DE OBRAS SOCIALES Y DE INSTRUCCION POPULAR		Panamericana Sur Km. 144 Apartado 70 Teléfono (01) 581-2261 - 581-2469 San Vicente - Cañete - Perú E-mail: informes@irvg.org		<b>R.U.C. N° 20120055128</b>	
CAÑETE, 11 DE OCTUBRE DEL 2016 SEÑOR(ES): Huamancaja Palomino Liz Cecilia DIRECCION:		D.N.I: 48073441		<b>BOLETA DE VENTA</b>	
				<b>N° 006 - 0010380</b>	
CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VALOR DE VENTA		
15	ANALISIS DE SUELOS: METALES PESADOS (ARSENICO)	S/ 82.60	S/ 1,239.00		
					
SON: MIL DOSCIENTOS TREINTA Y NUEVE CON 00/100 Nuevos Soles					
YCHIFORMAS S.A. R.U.C. 20259402965 TELEFAX: 265-7188 AUT. N° 0071818223 F.I. 08-01-04 DEL 006-8001 AL 006-13000		CANCELADO		<b>TOTAL</b> S/ 1,239.00	
CAÑETE, ..... DE ..... DEL 200.....				<b>ADQUIRENTE ó USUARIO</b>	

**ANEXO 10**  
**Análisis de suelo y sedimento de piscigranja**

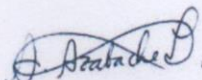
El que suscribe, ANDRES ALBERTO AZABACHE LEYTON, docente de la Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental en mi condición de asesor de la tesis titulada: "APLICACIÓN DE SEDIMENTOS DE PISCIGRANJA EN UN SUELO CONTAMINADO Y SU EFECTO EN LA DISPONIBILIDAD DE ARSÉNICO Y CRECIMIENTO DE RYEGRASS (*Lolium perenne*), DISTRITO EL MANTARO, JAUJA, 2016", a cargo de la Bachiller LIZ CECILIA HUAMANCAJA PALOMINO, deja:

## CONSTANCIA

Que los análisis de suelos, realizados en el Laboratorio de Química Agrícola del Instituto Valle Grande, de la ciudad de Cañete, Lima, fueron desarrollados siguiendo las metodologías pertinentes utilizando la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros, en el elemento Arsénico (As), para un total de 15 muestras.

El mencionado Laboratorio cumple los requisitos para la realización de tales análisis, lo cual ha sido motivo para la visita de los estudiantes de la Carrera profesional de Ingeniería Ambiental, como parte práctica de la asignatura de Contaminación de Suelos.

Para lo cual firmo la presente en señal de conformidad.



**Andrés Alberto Azabache Leytón**  
Docente Asesor



GU160818

18 - 08 - 2016

**DATOS DEL CLIENTE**

Razón Social : **PROSIP**  
 Lugar del servicio : **Laboratorio De Química Agrícola**  
 Tipo de servicio : **Mantenimiento Preventivo**  
 No. Orden : **Por orden servicio**

EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	CÓDIGO
INYECCIÓN DE FLUJO Y FLUJO CONTINUO PARA ESPECTROSCOPIA ATÓMICA (FIAS)	PERKIN ELMER	FIAS 100	100S11031202	EQU-FIA-01

**DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO**

**CONDICIONES INICIALES**

- Operatividad. Referencias del usuario sobre la condición actual del equipo.**  
Operativo pero no había comunicación con la CPU.

**LINEA DE GAS**

- Gas de Arrastre**  
Se utiliza nitrógeno. Presión de ingreso: 53 psi.
- Tubería de alimentación de gas.**  
Se encuentra bien. No presenta fugas.

**SISTEMA ELECTRONICO Y MODULO DE GAS DE ARRASTRE**

	DESCRIPCION	CODIGO
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Voltaje de alimentación AC.</b> 222 VAC estabilizado.	B000251
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Voltajes Internos DC.</b> 5.00 y 40.00 voltios.	B018498
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Tarjetas Electrónicas</b> Se quitó el polvo con nitrógeno.	B018318
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Ventilador</b> Se revisó y limpió.	B018318
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Motores de bomba peristáltica y válvula de inyección.</b> Se encuentran operativos.	B020718
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Sensor de presión y válvula solenoide</b> Se encuentran operativos.	B020720
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Tubería interna de gas y Rotámetro</b> Se encuentran bien.	B018318

**MODULO FIAS**

- Cabezal de bomba peristáltica y mandíbulas**  
Los rodillos del cabezal no giran. Es necesario cambiarlo. Se lubricaron las mandíbulas.
- Válvula de 5 puertos**  
Se limpiaron sus agujeros.
- Sistema de reacción.**  
Se encuentra en buen estado. Se debe tener la membrana PTFE como respaldo.
- Tuberías PVC y PTFE.**  
Se cambiaron todas las tuberías PVC. Necesitan tener todas las tuberías PTFE como respaldo.
- Válvula anti retorno.**



Se revisó. Se encuentra operativa.



**SOFTWARE DE CONTROL**

- Interface IEEE**  
Se usa tarjeta interface GPIB con cable IEEE.
- Software versión.**  
Se trabaja con el software AAWinLab 6.5

**PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.**

- Energía de la lámpara Hg en equipo AAnalyst400**  
76
- Sensibilidad.**  
Para 10 ppb Hg = 0.110 abs
- Precisión**  
RSD% 5 réplicas < 0.3 %
- Prueba de flujos**

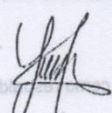
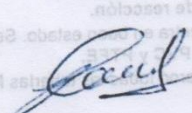
Flujo del Carrier portador: 10 ml/min  
 Flujo del Reductante: 5,5 ml/min  
 Flujo del argón en el rotámetro aproximadamente 100 ml/min

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**

- Se debe cambiar cuanto antes el cabezal de la bomba peristáltica de lo contrario las tuberías no duraran mucho o de repente puede averiarse el motor.
- Para lograr la comunicación del FIAS con la CPU, se tuvo que limpiar los contactos de la tarjeta GPIB instalada dentro de la CPU. Se reinstalo el driver.
- Se dejó equipo operativo.

**REPUESTOS UTILIZADOS Y RECOMENDADOS**

CODIGO	DESCRIPCION	ORIGEN	U	R
B3000251	Rodillo para la bomba peristáltica			1
B0194049	Loop 500 uL			1
B0193161	Manguera azul/amarillo			1
B0193160	Manguera rojo/rojo			1
B050-8310	Manguera blanco/negro			1
B0507918	Adaptadores tipo K con rosca externa 1.8 mm o.d. nipple			1
B0507920	Adaptadores tipo L con rosca externa 2.8 mm o.d. nipple			1
B0198097	Tubería completa PTFE 1 mm ID 30 cm			3
B0191058	Tubería completa PTFE 1 mm ID 11 cm			3
B0191059	Tubería completa PTFE 1 mm ID 70 cm			2
B0502706	Filtro de ventilador			2
B0508306	Membrana PTFE del manifold (separador gas/líquido)			1

 Responsable del servicio: Gueldo Uribe	 Usuario: Julio Castro Lazo
---	--



SOLICITANTE : ANDRES AZABACHE LEYTON  
PREDIO : CELIA HUAMANCAJA PALOMINO  
MATRIZ : SUELO EN INVESTIGACION

ANÁLISIS N° : 827-01S -2016  
LUGAR : JUNIN  
FECHA DE RECEP. : 12/08/2016

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN  
MUESTRA : M: CELIA HUAMANCAJA PALOMINO, EL MANTARO, JAUJA, JUNIN.

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
<b>Textura</b>				
Arena	36.56	%		
Limo	40.00	%		
Arcilla	23.44	%	MES - 001	Bouyoucos
Clase Textural	FRANCO			
Porcentaje de Saturación de Agua	39.67	%	MES - 002	Gravimétrico
Carbonato de Calcio Total	< 0.01	%	MES - 003	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.	0.81	dS / m	MES - 004	Potenciométrico
pH (1/1) a Temp = 21.2 °C	5.84		MES - 005	Potenciométrico
Fósforo Disponible	71.42	ppm	MES - 006	Olsen
Materia Orgánica	2.72	%	MES - 007	Walkley y Black
Nitrógeno Total	0.16	%	MES - 008	Kjeldahl
Potasio Disponible	126.20	ppm	MES - 009	Acetato de Amonio
<b>Cationes Cambiables</b>				<b>Extractante: Ac. Amonio</b>
Calcio	9.45	mEq / 100 g	MES - 010	FAAS
Magnesio	1.69	mEq / 100 g	MES - 011	FAAS
Sodio	0.06	mEq / 100 g	MES - 012	FAAS
Potasio	0.31	mEq / 100 g	MES - 013	FAAS
Aluminio + Hidrógeno	< 0.01	mEq / 100 g	MES - 014	<b>Extractante: KCl / Volumétrico</b>
P.A.I.	< 0.09	%	MES - 016	Cálculo Matemático
C.I.C.E	11.51	mEq / 100 g	MES - 017	Cálculo Matemático

**DONDE:**

ES : Extracto de Saturación.  
(1/1) : Relación Masa del Suelo / Volumen del Agua.  
P.A.I. : Porcentaje de Acidez Intercambiable.  
C.I.C.E. : Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo.

% : Masa / Masa.

ppm : mg / Kg.

MES : Método Propio del Laboratorio.

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama.

**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

SOLICITANTE : LIZ CECILIA HUAMANCAJA PALOMINO

ANÁLISIS N° : 244-01S -2017

PREDIO : LIZ CECILIA HUAMANCAJA PALOMINO

LUGAR : HUANCAYO

MATRIZ : SUELO INVESTIGACION

FECHA DE RECEP. : 24/02/2017

### INFORME DE ANÁLISIS SUELO - ESPECIAL

#### PARÁMETRO : ARSÉNICO TOTAL ( As )

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	RESULTADO	UNIDAD
M: 1	10.75	ppm
M: 2	12.50	ppm
M: 3	9.65	ppm
M: 4	8.05	ppm

Los resultados estan expresados en muestra seca

#### Método y Técnica usada.

MES - 026

HGAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros

#### Donde :

ppm : mg / Kg

MES : 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. Quim. 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



SOLICITANTE : ANDRES AZABACHE LEYTON

ANÁLISIS N° : 827-01E0S -2016

PREDIO : CELIA HUAMANCAJA PALOMINO

LUGAR : JUNIN

MATRIZ : RESIDUOS DE TRUCHA

FECHA DE RECEP. : 12/08/2016

INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA ORGÁNICA SÓLIDA - NUTRICIONAL  
MUESTRA : M: CELIA HUAMANCAJA PALOMINO, EL MANTARO, JAUJA, JUNIN.

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
pH a T = 22.6 °C (E.S)	6.94		LQA - MEEOS - 005	Electrométrico
Conductividad Eléctrica a 25 °C.(E.S.)	1.47	dSm	LQA - MEEOS - 004	Electrométrico
Carbono Orgánico	6.72	%	LQA - MEEOS - 008	Walkley y Black
Nitrógeno Total (N <sub>T</sub> )	0.60	%	LQA - MEEOS - 001	Kjeldahl
Fósforo Total (P)	0.46	%	LQA - MEEOS - 002	Colorimétrico
Potasio Total (K)	0.13	%	LQA - MEEOS - 003	FAAS

Los resultados están expresados en muestra original.

DONDE:

% : Masa / Masa

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

( E.S ) : Extracto de Saturación

LQA - MEEOS : Metodos 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**

N° - METALES PESADOS

SOLICITANTE : ANDRES AZABACHE LEYTON  
PREDIO : CELIA HUAMANCAJA PALOMINO  
FECHA DE INICIO : 16/08/2016  
FECHA FINAL : 01/09/2016  
MATRIZ : RESIDUOS DE TRUCHA

CODIGO DE MUESTRA : 827-01EOS-2016  
MUESTREADO POR : CLIENTE  
TIPO DE MUESTRA : ORGÁNICO  
FECHA DE INGRESO : 12/08/2016  
FECHA DE EMISIÓN : 15/09/2016

**INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA ORGÁNICA SÓLIDA - METALES PESADOS**

MUESTRA : M: CELIA HUAMANCAJA PALOMINO, EL MANTARO, JAUJA, JUNIN.

PARÁMETRO	RESULTADOS	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
Plomo Total (Pb)	45.83	mg / Kg	MEEOS - 015	FAAS
Cadmio Total (Cd)	0.48	mg / Kg	MEEOS - 016	FAAS
Cromo Total (Cr)	7.13	mg / Kg	MEEOS - 017	FAAS
Arsenico Total (As)	< 0.03	mg / Kg	MEEOS - 018	HGAAS
Mercurio Total (Hg)	7.57	mg / Kg	MEEOS - 019	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
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

MEEOS : 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



SOLICITANTE : LIZ CECILIA HUAMANCAJA PALOMINO

ANÁLISIS N° : 440-01S-40S -2017

PREDIO : LIZ CECILIA HUAMANCAJA PALOMINO

LUGAR : HUANCAYO

MATRIZ : SUELO INVESTIGACION

FECHA DE RECEP. : 20/04/2017

**INFORME DE ANÁLISIS SUELO - ESPECIAL**

**PARÁMETRO : ARSÉNICO TOTAL ( As )**

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	RESULTADO	UNIDAD
M: 1 - I	9.68	ppm
M: 1 - II	8.36	ppm
M: 1 - III	9.76	ppm
M: 2 - I	9.84	ppm
M: 2 - II	8.84	ppm
M: 2 - III	7.52	ppm
M: 3 - I	8.68	ppm
M: 3 - II	8.84	ppm
M: 3 - III	9.80	ppm
M: 4 - I	10.16	ppm
M: 4 - II	8.80	ppm
M: 4 - III	7.44	ppm
M: 5 - I	6.88	ppm
M: 5 - II	6.04	ppm
M: 5 - III	8.44	ppm

Los resultados estan expresados en muestra seca

**Método y Técnica usada.**

MES - 026

HGAAS: Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros

**Donde :**

ppm : mg / Kg

MES : 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

**ANEXO 11**  
**Panel fotográfico**

## FOTOGRAFÍA N° 1



**Suelo representativo del distrito El Mantaro, provincia de Jauja - Junín**

## FOTOGRAFÍA N° 2



**Toma de los 15 puntos con el GPS del Suelo representativo**



**FOTOGRAFÍA N° 3**



**Extracción de las muestras de suelo para el experimento**

**FOTOGRAFÍA N° 4**



**Centro Piscícola El Ingenio El Mantaro, provincia de Huancayo- Junín**

**FOTOGRAFÍA N° 5**



**Extracción de muestras de sedimentos de piscigranja**

**FOTOGRAFÍA N° 6**



**Obtención de muestras de sedimentos de piscigranja del Centro piscícola El Ingenio**

**FOTOGRAFÍA N° 7**



**Decantación de la muestra líquida para obtener la muestra sólida**

**FOTOGRAFÍA N° 8**



**Limpieza de la muestra sólida que contenía hojas, piedras, plásticos, etc.**

**FOTOGRAFÍA N° 9**



**Presencia de lombrices en la muestra sólida de sedimentos de piscigranja**

**FOTOGRAFÍA N° 10**



**Secado de la muestra sólida para ser aplicada en el experimento**

**FOTOGRAFÍA N° 11**



**Rotulado de los 15 maceteros**

**FOTOGRAFÍA N° 12**



**Pesado de la muestra de suelo conjuntamente con la muestra de sedimentos de piscigranja**

### FOTOGRAFÍA N° 13



Muestras enviadas al laboratorio para su análisis físico-químico

### FOTOGRAFÍA N° 14



Maceteros preparados con las muestras de estudio para su posterior sembrado de ryegrass (*Lolium perenne*)

FOTOGRAFÍA N° 15



Sembrado de ryegrass (*Lolium perenne*) en los 15 maceteros

FOTOGRAFÍA N° 16



Maceteros sembrados con ryegrass (*Lolium perenne*)

**FOTOGRAFÍA N° 17**



**Crecimiento del ryegrass (*Lolium perenne*) y homogenización de 15 plantas por unidad experimental**

**FOTOGRAFÍA N° 18**



**Ryegrass (*Lolium perenne*) listo para cosechar y realizar sus respectivas mediciones por cada unidad experimental – Semana 9**



FOTOGRAFÍA N° 19



Cosecha del ryegrass (*Lolium perenne*) por cada unidad experimental

FOTOGRAFÍA N° 20



Medición del ryegrass (*Lolium perenne*) por cada unidad experimental