

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

## FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

### TESIS



**“EFICACIA FITORREMEIADORA DE LAS ESPECIES  
*Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* EN LA REMOCIÓN DE  
MERCURIO EN SUELOS DEL PASIVO AMBIENTAL  
MINERO DE SANTA BÁRBARA-HUANCAMELICA-2021”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
CONTAMINACIÓN POR MINERÍA (REMEDIACIÓN DE  
SUELOS, AGUA)**

**PRESENTADO POR:  
Bach. SEDANO ARECHE, SILVIA MARIA  
Bach. ZANABRIA MALLQUI, ARMANDO RAFAEL**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**HUANCAMELICA - PERÚ  
2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**  
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 18 días del mes de mayo del año 2022, a horas 4:30 p.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado de la siguiente manera:

- PRESIDENTE** : Dr. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA  
<https://orcid.org/0000-0001-7833-6805>  
 DNI N° 23275655
- SECRETARIO** : Dr. Jorge Luis HUERE PEÑA  
<https://orcid.org/0000-0002-3114-8134>  
 DNI N° 04020326
- ASESOR** : Dr. Fernando Martín TORIBIO ROMÁN  
<https://orcid.org/0000-0003-1139-9232>  
 DNI N° 20063065

Designados con Resolución de Decano N° 377-2021-FCI-UNH, de fecha 21 de diciembre del 2021, a fin de proceder el acto académico de evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "EFICACIA FITORREMIADORA DE LAS ESPECIES *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* EN LA REMOCIÓN DE MERCURIO EN SUELOS DEL PASIVO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BÁRBARA-HUANCVELICA-2021", presentado por los Bachilleres **Silvia Maria SEDANO ARECHE** con DNI N°74707637 y **Armando Rafael ZANABRIA MALLQUI** con DNI N° 72174654, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; Finalizado la evaluación a horas...6:07...; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

**Bach. Silvia Maria SEDANO ARECHE**

APROBADO  POR UNANIMIDAD  
 DESAPROBADO

**Bach. Armando Rafael ZANABRIA MALLQUI**

APROBADO  POR UNANIMIDAD  
 DESAPROBADO

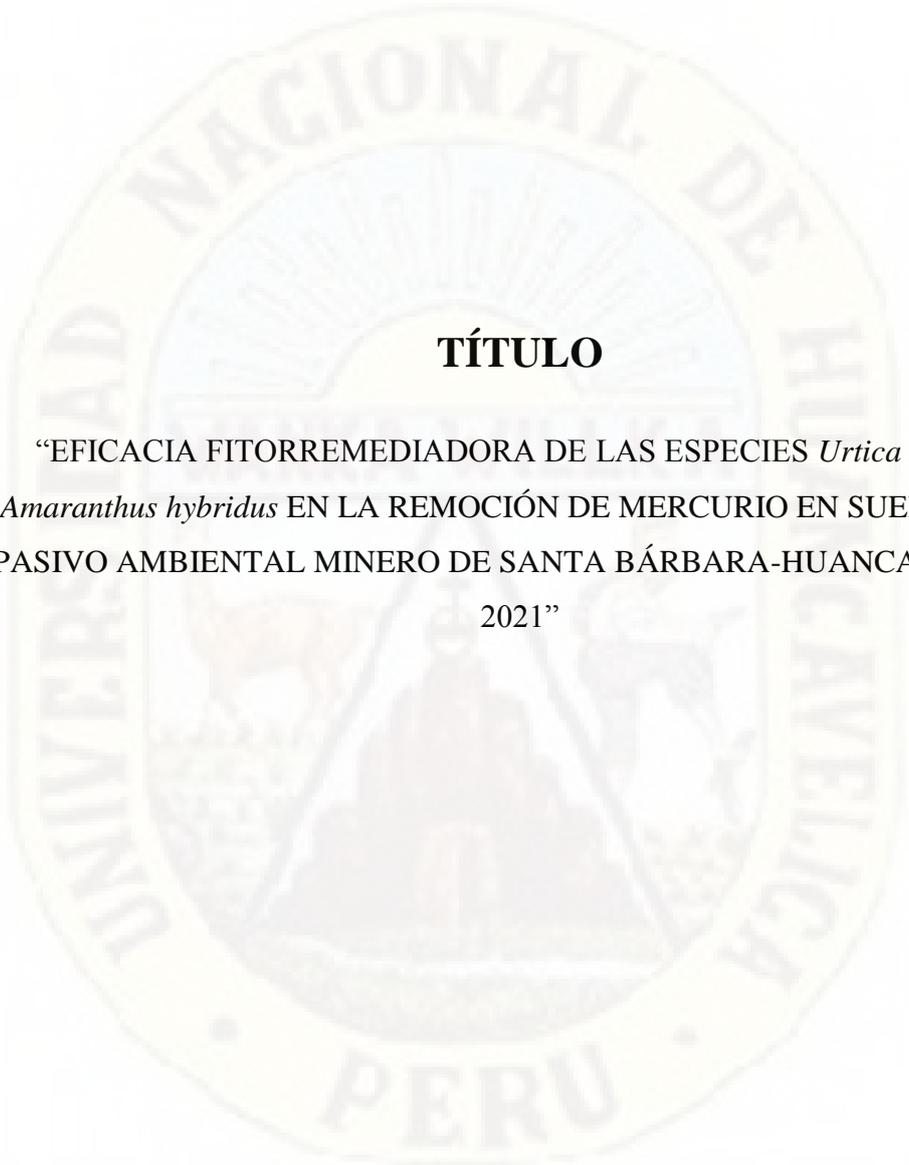
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

\_\_\_\_\_  
 Presidente

\_\_\_\_\_  
 Secretario

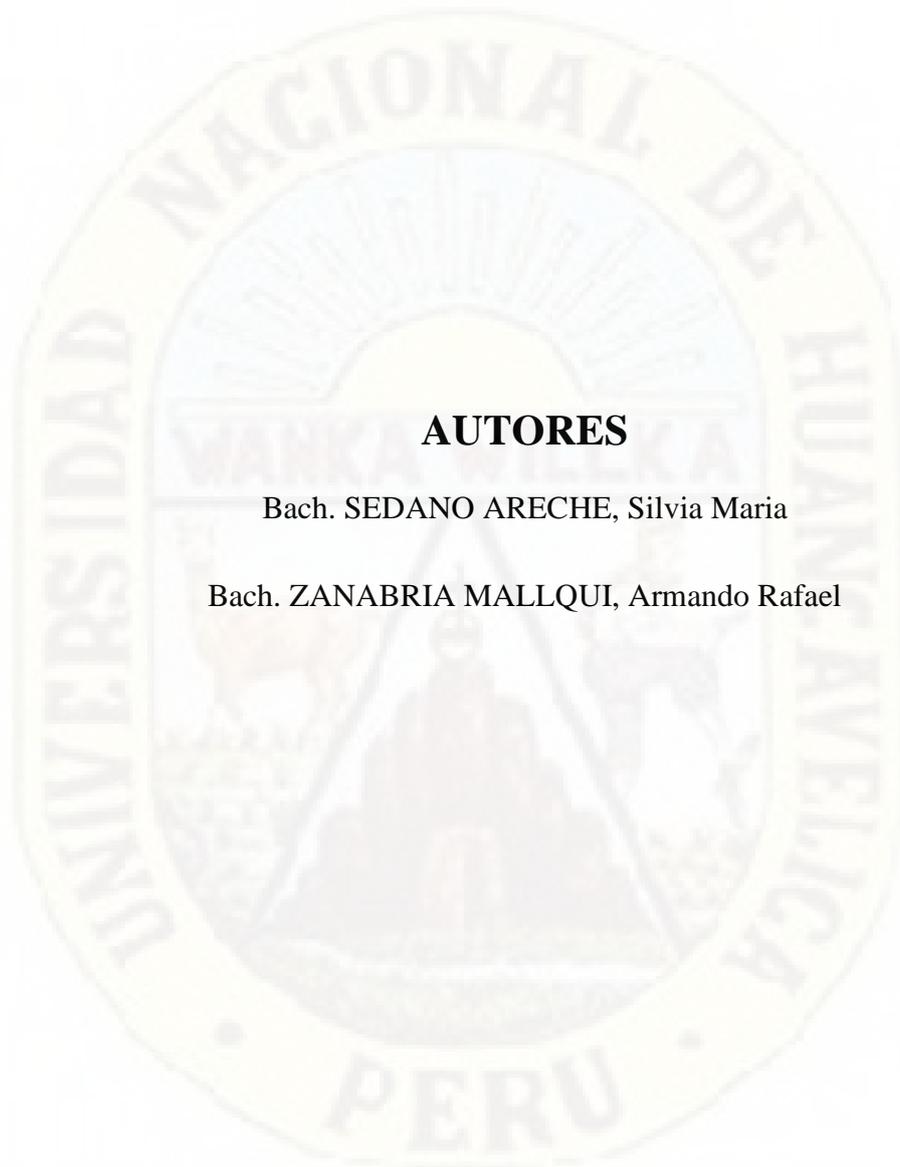
\_\_\_\_\_  
 Asesor

\_\_\_\_\_  
 V° B° Decano



## TÍTULO

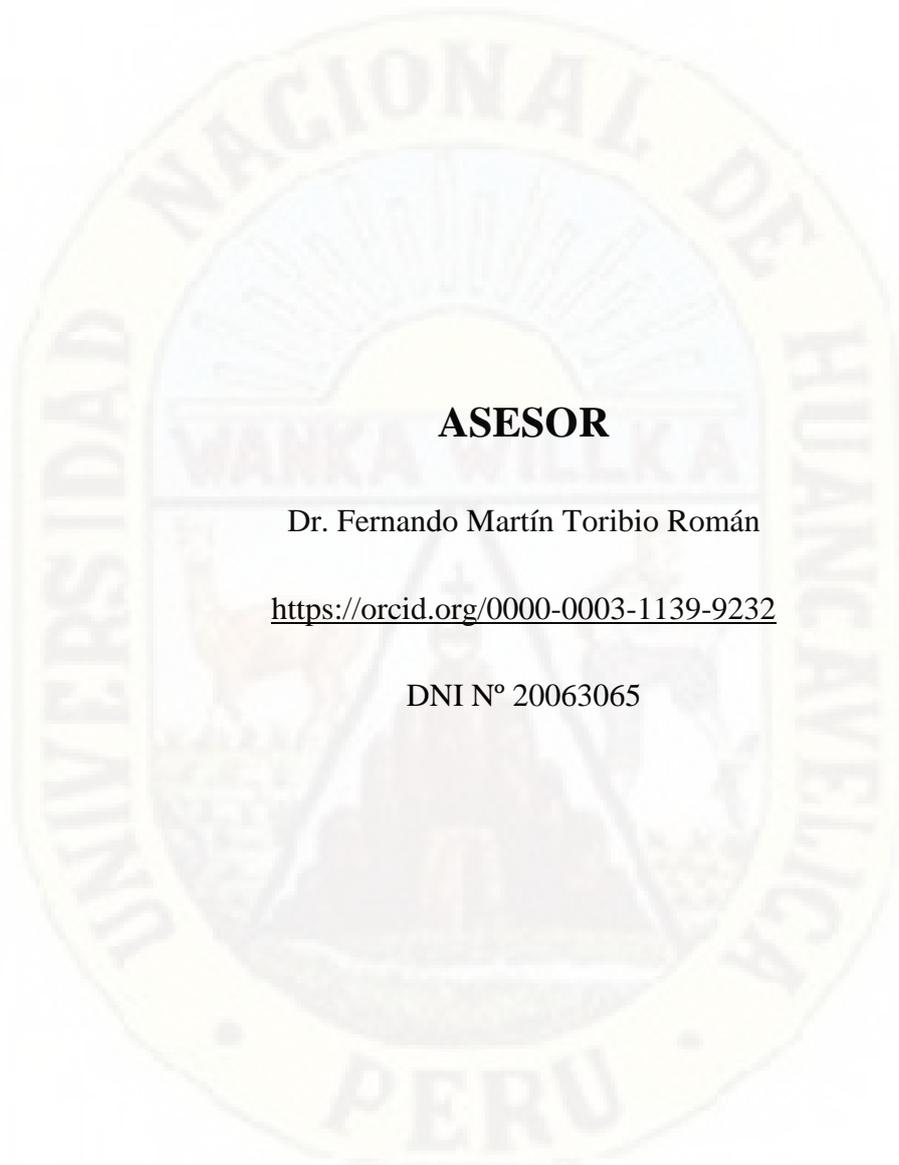
“EFICACIA FITORREMIADORA DE LAS ESPECIES *Urtica urens* y  
*Amaranthus hybridus* EN LA REMOCIÓN DE MERCURIO EN SUELOS DEL  
PASIVO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BÁRBARA-HUANCAVELICA-  
2021”



## **AUTORES**

Bach. SEDANO ARECHE, Silvia Maria

Bach. ZANABRIA MALLQUI, Armando Rafael



**ASESOR**

Dr. Fernando Martín Toribio Román

<https://orcid.org/0000-0003-1139-9232>

DNI N° 20063065

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por la fortaleza y perseverancia que impartió en nosotras para poder culminar con nuestro proyecto de investigación.

A la Universidad Nacional de Huancavelica, por ser alma mater y gestor de los profesionales para el desarrollo de nuestra región.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y los docentes por su dedicación e impartición de sus conocimientos en las distintas disciplinas.

A nuestro asesor de tesis, el Dr. Fernando Martín Toribio Román, que nos acogió, motivó y absolvió las dudas en el desarrollo de nuestro trabajo investigación brindándonos las facilidades para desenvolvemos.

A nuestros padres por apoyarnos en las distintas actividades durante el desarrollo del trabajo de investigación y poder culminar nuestra formación profesional.

Bach. Sedano Areche, Silvia Maria

Bach. Zanabria Mallqui, Armando Rafael

# ÍNDICE GENERAL

<b>TÍTULO .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORES .....</b>	<b>iv</b>
<b>ASESOR .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>20</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>20</b>
1.1. Descripción y formulación del problema .....	20
1.2. Formulación del problema.....	27
1.2.1. Problema general.....	27
1.2.2. Problemas específicos.....	27
1.3. Objetivo: General y específicos.....	28
1.3.1. Objetivo general.....	28
1.3.2. Objetivos específicos.....	28
1.4. Justificación.....	28
1.4.1. Teórica.....	29
1.4.2. Práctica.....	29
1.4.3. Metodológica .....	29
<b>CAPÍTULO II . .....</b>	<b>30</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>30</b>
2.1. Antecedentes .....	30
2.1.1. A nivel internacional .....	30
2.1.2. A nivel nacional .....	33
2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación .....	38
2.2.1. Teoría celular .....	38
2.2.2. Teoría de la eficacia .....	39

2.2.3.	Teoría de la depuración biológica.....	39
2.2.4.	Teoría de la evolución.....	40
2.3.	Bases conceptuales.....	41
2.3.1.	El suelo.....	41
2.3.2.	El mercurio.....	50
2.3.3.	Fitorremediación.....	57
2.4.	Definición de términos.....	69
2.5.	Hipótesis.....	71
2.5.1.	Hipótesis General.....	71
2.5.2.	Hipótesis Específicas.....	71
2.6.	Variables.....	72
2.6.1.	Variable independiente.....	72
2.6.2.	Variable dependiente.....	72
2.7.	Operacionalización de variables.....	73
	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>75</b>
	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>75</b>
3.1.	Ámbito temporal y espacial.....	75
3.1.1.	Ámbito temporal.....	75
3.1.2.	Ámbito espacial.....	75
3.2.	Tipo de investigación.....	77
3.3.	Nivel de investigación.....	78
3.4.	Método de investigación.....	78
3.5.	Diseño de investigación.....	78
3.6.	Población, muestra y muestreo.....	82
3.6.1.	Población.....	82
3.6.2.	Muestra.....	82
3.6.3.	Muestreo.....	82
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	86
3.7.1.	Técnicas de recolección de datos.....	86
3.7.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	87
3.7.3.	Instrumentos mecánicos y electrónicos.....	87
3.8.	Técnica y procesamiento de análisis de datos.....	89
3.9.	Descripción de la prueba de hipótesis.....	89

<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>91</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>91</b>
4.1.    Presentación e interpretación de datos .....	91
4.1.1.    Descripción de los parámetros fisicoquímicos.....	91
4.1.2.    Variación de la altura de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> .	99
4.1.3.    Descripción de la concentración del mercurio (Hg).....	103
4.2.    Prueba de hipótesis.....	108
4.2.1.    Estadística inferencial para la hipótesis general.....	108
4.2.2.    Estadística inferencial para la hipótesis específica a .....	116
4.2.3.    Estadística inferencial para la hipótesis específica b .....	123
4.2.4.    Estadística inferencial para la hipótesis específica c.....	131
4.2.5.    Estadística inferencial para la hipótesis específica d .....	138
4.3.    Discusión de resultados .....	149
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>152</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>154</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>155</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>164</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Elementos Químicos Esenciales para las Plantas .....	43
<b>Tabla 2</b> Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo-Material Inorgánico .....	49
<b>Tabla 3</b> Operacionalización de Variables .....	73
<b>Tabla 4</b> Características por Tratamiento .....	79
<b>Tabla 5</b> Especificaciones Técnicas del Diseño de Investigación de la Variable Independiente ( <i>Amaranthus hybridus</i> y <i>Urtica urens</i> ) .....	81
<b>Tabla 6</b> Valores Máximo, Mínimo y Promedio de la Temperatura Ambiental .....	92
<b>Tabla 7</b> Concentración Inicial y Final del Mercurio .....	103
<b>Tabla 8</b> Resumen de Estadística Descriptiva para las Concentraciones Finales de Hg en las 6 Repeticiones .....	104
<b>Tabla 9</b> Porcentaje de remoción del mercurio .....	105
<b>Tabla 10</b> Comparación de Concentración Final de Mercurio con el Valor de ECA-SUELO DS-011- 2017-MINAM .....	107
<b>Tabla 11</b> Porcentaje de Remoción de Mercurio para <i>Urtica Urens</i> .....	108
<b>Tabla 12</b> Porcentaje de Remoción de Mercurio para <i>Amaranthus Hybridus</i> .....	112
<b>Tabla 13</b> Diferencia de Concentración Inicial y Concentración Final de Mercurio Después de la Aplicación de la Fitorremediación .....	117
<b>Tabla 14</b> Resumen de la Estadística Descriptiva de la Diferencia de Concentración Final respecto a la Concentración inicial de Hg para <i>Urtica Urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> .....	122
<b>Tabla 15</b> Altura de la Especie <i>Urtica Urens</i> en cm Para la Aplicación de la Prueba Estadística .....	124
<b>Tabla 16</b> Resumen de la Estadística Descriptiva de la Altura Final de Tallo de la <i>Urtica Urens</i> en un Suelo con Hg> ECA y un Suelo con Hg<ECA .....	129
<b>Tabla 17</b> Altura de la Especie <i>Amaranthus hybridus</i> en cm Para la Aplicación de la Prueba Estadística .....	131
<b>Tabla 18</b> Resumen de la Estadística Descriptiva de la Altura Final de Tallo del <i>Amaranthus hybridus</i> en un Suelo con Hg> ECA y un Suelo con Hg<ECA .....	137
<b>Tabla 19</b> Concentración final de Hg en mg/Kg después de la fitorremediación con la especie de <i>Urtica urens</i> .....	139
<b>Tabla 20</b> Resumen de Estadística Descriptiva de la Concentración de Final de Hg .....	142
<b>Tabla 21</b> Concentración final de Hg en mg/Kg después de la fitorremediación con la especie de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	144
<b>Tabla 22</b> Resumen de la Estadística Descriptiva de la Concentración Final de Hg mg/Kg después de la fitorremediación con la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	147
<b>Tabla 23</b> Matriz de Consistencia .....	165

<b>Tabla 24</b> Guía de Observación, Recojo de Información Básica del Área de Intervención.....	171
<b>Tabla 25</b> Ficha de Campo de Puntos de Muestreo de Suelo.....	172
<b>Tabla 26</b> Ficha de control de parámetros de control de pH y C.E. ....	174
<b>Tabla 27</b> Ficha de Registro de Temperatura.....	175
<b>Tabla 28</b> Ficha de Control de la Variación de Altura de las Especies Fitorremediadoras .....	178

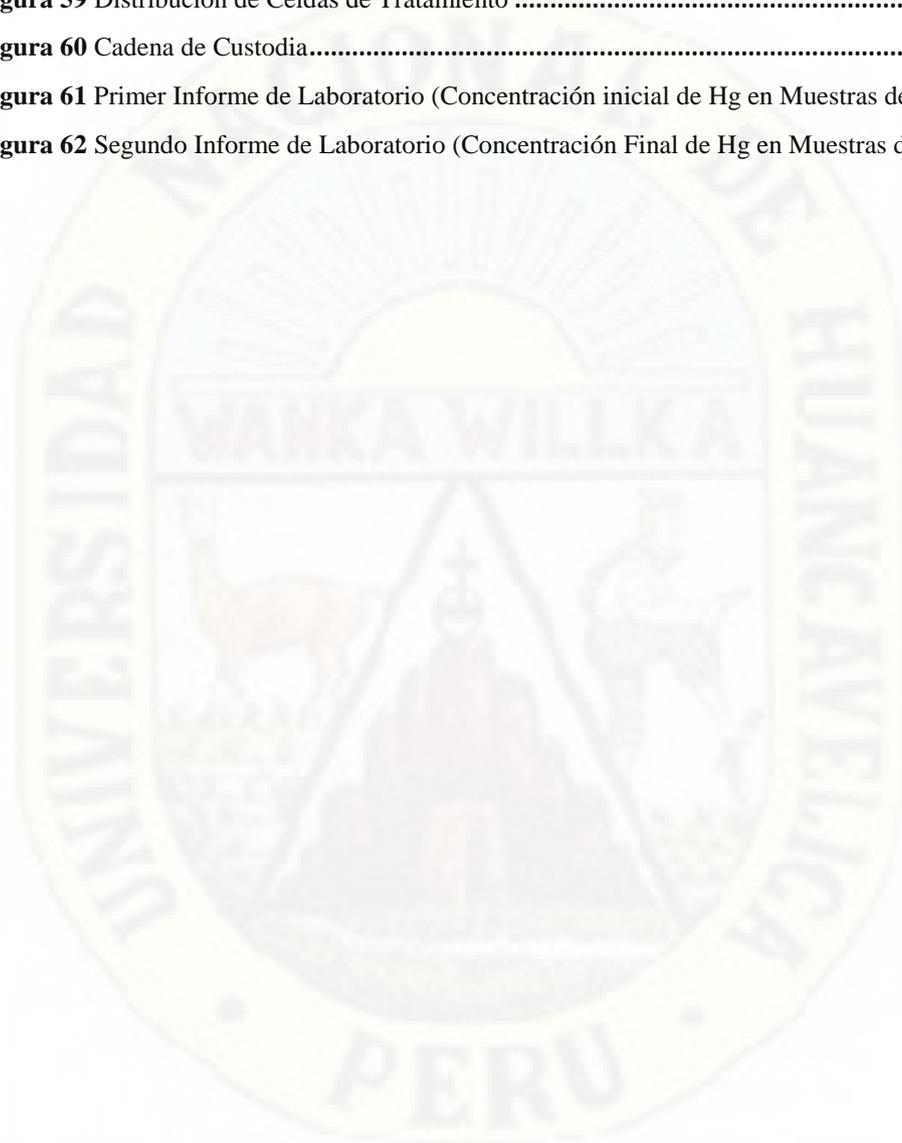


## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Zonas de Acumulación de Distintos Metales en las Plantas .....	<b>38</b>
<b>Figura 2</b> Composición Física y Química del Suelo.....	<b>41</b>
<b>Figura 3</b> Funciones Esenciales del Suelo .....	<b>44</b>
<b>Figura 4</b> Fuentes Antrópicas de Mercurio Global.....	<b>52</b>
<b>Figura 5</b> Principales Rutas y Fuentes de Emisión (En Toneladas) Entre los Compartimentos Ambientales que son de Importancia en el Ciclo Global del Mercurio.....	<b>53</b>
<b>Figura 6</b> Detalle del Transporte Atmosférico del Mercurio a Nivel Local y Global.....	<b>54</b>
<b>Figura 7</b> El Ciclo del Mercurio en un Lago y su Cuenca .....	<b>55</b>
<b>Figura 8</b> Bioacumulación y Toxicidad del Mercurio .....	<b>56</b>
<b>Figura 9</b> Mecanismos de Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Metales Pesados .....	<b>59</b>
<b>Figura 10</b> Proceso de Fitoestabilización.....	<b>60</b>
<b>Figura 11</b> Proceso de Fitoextracción.....	<b>61</b>
<b>Figura 12</b> Proceso de Fitoestabilización.....	<b>62</b>
<b>Figura 13</b> La Ortiga Menor <i>Urtica urens</i> .....	<b>63</b>
<b>Figura 14</b> Plántula de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	<b>66</b>
<b>Figura 15</b> Mapa de Ubicación del Área de estudio en el Pasivo Ambiental Minero de Santa Bárbara-Huancavelica .....	<b>76</b>
<b>Figura 16</b> Procedimiento de Aleatorización .....	<b>79</b>
<b>Figura 17</b> Ubicación de Puntos de Muestreo por el Método Aleatorio Sobre Rejilla Regular .....	<b>85</b>
<b>Figura 18</b> Esquema para la Extracción de Muestra de Suelo.....	<b>86</b>
<b>Figura 19</b> Temperatura Ambiental en el Lugar de las Especies Fitorremediadoras.....	<b>93</b>
<b>Figura 20</b> Comportamiento del pH Matriz "A" .....	<b>94</b>
<b>Figura 21</b> Comportamiento del pH Matriz "B".....	<b>95</b>
<b>Figura 22</b> Comportamiento del pH Matriz "C".....	<b>96</b>
<b>Figura 23</b> Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Matriz "A".....	<b>97</b>
<b>Figura 24</b> Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Matriz "B".....	<b>98</b>
<b>Figura 25</b> Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Matriz "C".....	<b>99</b>
<b>Figura 26</b> Variación de Altura del Tallo de la <i>Urtica Urens</i> .....	<b>101</b>
<b>Figura 27</b> Variación de Altura del Tallo del <i>Amarantus Hybridus</i> .....	<b>102</b>
<b>Figura 28</b> Concentración Inicial del Mercurio Versus la Concentración Final del Mercurio .....	<b>105</b>
<b>Figura 29</b> Remoción de Hg en Porcentajes por Tratamientos .....	<b>106</b>
<b>Figura 30</b> Test de Normalidad para la Especie de <i>Urtica urens</i> .....	<b>109</b>
<b>Figura 31</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de <i>Urtica urens</i> .....	<b>110</b>
<b>Figura 32</b> Curva de Distribución para T de Student.....	<b>111</b>

<b>Figura 33</b> Test de Normalidad para la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	<b>113</b>
<b>Figura 34</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	<b>114</b>
<b>Figura 35</b> Curva de Distribución para T de Student.....	<b>115</b>
<b>Figura 36</b> Test de Normalidad para la Especie de <i>Urtica urens</i> .....	<b>118</b>
<b>Figura 37</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de <i>Urtica urens</i> .....	<b>118</b>
<b>Figura 38</b> Test de Normalidad para la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	<b>119</b>
<b>Figura 39</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	<b>120</b>
<b>Figura 40</b> Curva de Distribución para T de Student.....	<b>121</b>
<b>Figura 41</b> Test de Normalidad para las Alturas de la Especie de <i>Urtica urens</i> en Suelo Inorgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental .....	<b>125</b>
<b>Figura 42</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de la Especie de <i>Urtica urens</i> en un Suelo Inorgánico con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental.....	<b>126</b>
<b>Figura 43</b> Test de Normalidad para las Alturas de Tallo de la Especie de <i>Urtica urens</i> en Suelo Orgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Menor de los Estándares de Calidad Ambiental .	<b>127</b>
<b>Figura 44</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de Tallo de la Especie de <i>Urtica urens</i> en un Suelo Orgánico con Concentración Inicial de Mercurio Menor a los Estándares de Calidad Ambiental.....	<b>128</b>
<b>Figura 45</b> Curva de distribución para T de Student .....	<b>129</b>
<b>Figura 46</b> Test de Normalidad para las Alturas de la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> en Suelo Inorgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental. .	<b>132</b>
<b>Figura 47</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> en un Suelo Inorgánico con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental.....	<b>133</b>
<b>Figura 48</b> Test de Normalidad para las Alturas de la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> en Suelo Inorgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Menor a los Estándares de Calidad Ambiental .	<b>134</b>
<b>Figura 49</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> en un Suelo Inorgánico con Concentración Inicial de Mercurio Menor a los Estándares de Calidad Ambiental .....	<b>135</b>
<b>Figura 50</b> Curva de distribución para T de Student .....	<b>136</b>
<b>Figura 51</b> Test de Normalidad para Concentración Final de Hg mg/Kg .....	<b>140</b>
<b>Figura 52</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Concentración Final de Hg mg/Kg Después de la Fitorremediación con la Especie de <i>Urtica urens</i> .....	<b>141</b>
<b>Figura 53</b> Curva de Distribución para T de Student .....	<b>142</b>
<b>Figura 54</b> Test de Normalidad para Concentración Final de Hg mg/Kg .....	<b>145</b>
<b>Figura 55</b> Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Concentración Final de Hg mg/Kg Después de la Fitorremediación con la Especie de <i>Amaranthus hybridus</i> .....	<b>146</b>

<b>Figura 56</b> Curva de Distribución para T de Student.....	<b>147</b>
<b>Figura 57</b> Mapa de Ubicación del Área de Estudio; La Mina de Santa Bárbara.....	<b>168</b>
<b>Figura 58</b> Mapa de Ubicación de los Puntos de Muestreo dentro del Área de Influencia Directa e Indirecta .....	<b>169</b>
<b>Figura 59</b> Distribución de Celdas de Tratamiento .....	<b>170</b>
<b>Figura 60</b> Cadena de Custodia.....	<b>181</b>
<b>Figura 61</b> Primer Informe de Laboratorio (Concentración inicial de Hg en Muestras de Suelo).....	<b>182</b>
<b>Figura 62</b> Segundo Informe de Laboratorio (Concentración Final de Hg en Muestras de Suelo) ....	<b>186</b>



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia fitorremediadora de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara-Huancavelica-2021, usando la metodología tipo aplicada, nivel experimental, diseño experimental y el método científico; con una población de 81.38 ha del área de influencia del pasivo ambiental minero, y una muestra de 45 puntos de la población, se realizó un muestreo no probabilístico del tipo Intencional, se desarrolló un sistema a escala piloto para la aplicación de dos tratamientos de fitorremediación usando las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en las muestras de suelo contaminado con Hg, una matriz A; suelo contaminado con Hg mayor a ECA, matriz B; suelo contaminado con Hg menor al ECA y matriz C; suelo contaminado con Hg mayor a ECA usado como testigo sin especies vegetales. Para mayor control de la eficacia de fitorremediación se monitoreó los parámetros fisicoquímicos como la Temperatura (°C), pH (Unidad), Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ). Resultados: Se obtuvo un 25.75% de eficacia fitorremediadora de la especie *Amaranthus hybridus* y un 50.54% de eficacia fitorremediadora de la especie *Urtica urens*. Conclusión: La disminución del mercurio durante el proceso de fitorremediación con la *Urtica urens* respecto al *Amaranthus hybridus* fue notable, pero no superó el límite de 60% para ser considerado estadísticamente tratamiento eficaz.

**Palabras clave:** Fitorremediación, mercurio, pasivo ambiental minero, *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus*.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to evaluate the phytoremediation efficacy of the *Urtica urens* and *Amaranthus hybridus* species in the removal of mercury in soils of the Santa Bárbara-Huancavelica-2021 mining environmental passive, using the applied type methodology, experimental level, experimental design and the scientific method; With a population of 81.38 ha of the area of influence of the mining environmental liability, and a sample of 45 points from the population, a non-probabilistic sampling of the Intentional type was carried out, a pilot scale system was developed for the application of two phytoremediation treatments using the species *Urtica urens* and *Amaranthus hybridus* in the soil samples contaminated with Hg, a matrix A; soil contaminated with Hg greater than ECA, matrix B; soil contaminated with Hg less than ECA and matrix C; soil contaminated with Hg greater than ECA used as a control without plant species. For greater control of the effectiveness of phytoremediation, the physicochemical parameters such as Temperature ( $^{\circ}$  C), pH (Unit), and Electrical conductivity ( $\mu$ S/Cm) were monitored. Results: A 25.75% phytoremediation efficacy of the *Amaranthus hybridus* species and a 50.54% phytoremediation efficacy of the *Urtica urens* species were obtained. Conclusion: The decrease in mercury during the phytoremediation process with *Urtica urens* compared to *Amaranthus hybridus* was remarkable, but did not exceed the 60% limit to be considered statistically as an effective treatment.

**Keywords:** Phytoremediation, mercury, mining environmental liability, *Urtica urens* and *Amaranthus hybridus*.

## INTRODUCCIÓN

Al finalizar sus actividades extractivas, las empresas mineras están obligadas a remediar el lugar de acuerdo a su plan de cierre de minas, este proceso podría durar varios años o nunca terminar. No es el caso de la antigua mina de Santa Bárbara o la famosa mina de la muerte de la ciudad de Huancavelica que fue descubierta en 1563.

De acuerdo a Wise & Feraud (2005) citado por Enrique & Amaré (2015) la mina fue explotada por los españoles desde su descubriendo hasta 1821; año de la independencia del Perú. En la vida republicana del Perú las actividades en la mina se reanudaron entre los periodos de 1830 a 1860, 1900 a 1950 y entre 1968 a 1975; año en que se paralizó las actividades extractivas de manera definitiva por ya no ser rentable en el mercado.

La mina fue abandonada sin un previo tratamiento, ya que en aquellos tiempos no existía una normatividad ambiental rigurosa ni una institución que lo haga cumplir. El abandono de esta mina sin previo tratamiento hace obvia la contaminación del suelo, con un mineral bastante tóxico para la vida; el mercurio, un metal líquido considerado como uno de los más mortales que afecta el normal desarrollo de la flora y fauna del ecosistema, así como la salud de las personas.

Cabe destacar que la conciencia ambiental surge en la década de los ochenta, con la inclusión de la palabra “desarrollo sostenible”, donde la prioridad de un crecimiento económico debe ir de la mano con la conservación del ambiente. Anterior a esto, el hombre no se preocupaba por los recursos, ni por la conservación del ambiente creyendo que los recursos eran infinitos.

En el pasivo ambiental minero de Santa Bárbara, el peligro del mercurio radica en todas partes, ya que esta mina se encuentra en la parte alta, a 2 km al sur de la ciudad de Huancavelica, donde por las lluvias nacen las escorrentías y van arrastrando a su paso todo tipo de material suelto, intensificando más si el suelo no tiene cobertura vegetal, o se filtra por el suelo lixiviando los contaminantes hasta las zonas bajas donde se capta el agua para consumo humano que no son adecuadamente tratados. Otro de los peligros del mercurio expuesto al ambiente es su rápida volatilización a

temperatura ambiente, convirtiéndose en vapores de mercurio que son fácilmente transportados por el viento hacia la ciudad de Huancavelica y los centros poblados aledaños. El otro peligro del mercurio radica en que, al estar expuesto en las capas superficiales del suelo se hace fácil su incorporación en las plantas y animales, ya que tiene la capacidad de acumularse en el organismo de un ser vivo haciendo que esto pase en cadena de consumidor a consumidor.

Al ser el suelo un recurso natural, que está en contacto directo con cualquier actividad que el hombre realiza, lo ha hecho vulnerable a la contaminación, degradación y modificación de su componente y estructura natural. Aunque hasta hace algunos años no se le ha dado la debida importancia como al agua y aire; elementos de consumo directo del hombre, se han desarrollado métodos físicos, químicos y biológicos para remediar suelos contaminados con metales pesados, siendo la más accesible la técnica de fitorremediación por ser más amigable con el ambiente, además de ser barata y eficaz.

La fitorremediación es una técnica donde se hace uso de plantas y los microorganismos que viven en simbiosis con ella, para descontaminar o mejorar suelos degradados con agentes tóxicos. Las plantas fitorremediadoras son capaces de tolerar estas condiciones hostiles y acumulan los contaminantes como los metales pesados en sus raíces, hojas y frutos por distintos medios como la fitoextracción, fitoestabilización, rizodegradación y fitovolatilización.

La finalidad de mantener un ambiente sano es la conservación de la salud pública, ya que, un ambiente sano garantiza la salud mental, física y biológica del hombre y viendo las desventajas de un suelo con pasivo ambiental minero en los alrededores de una ciudad, esta investigación tiene como objetivo principal “Evaluar la eficacia fitorremediadora de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara-Huancavelica- 2021”.

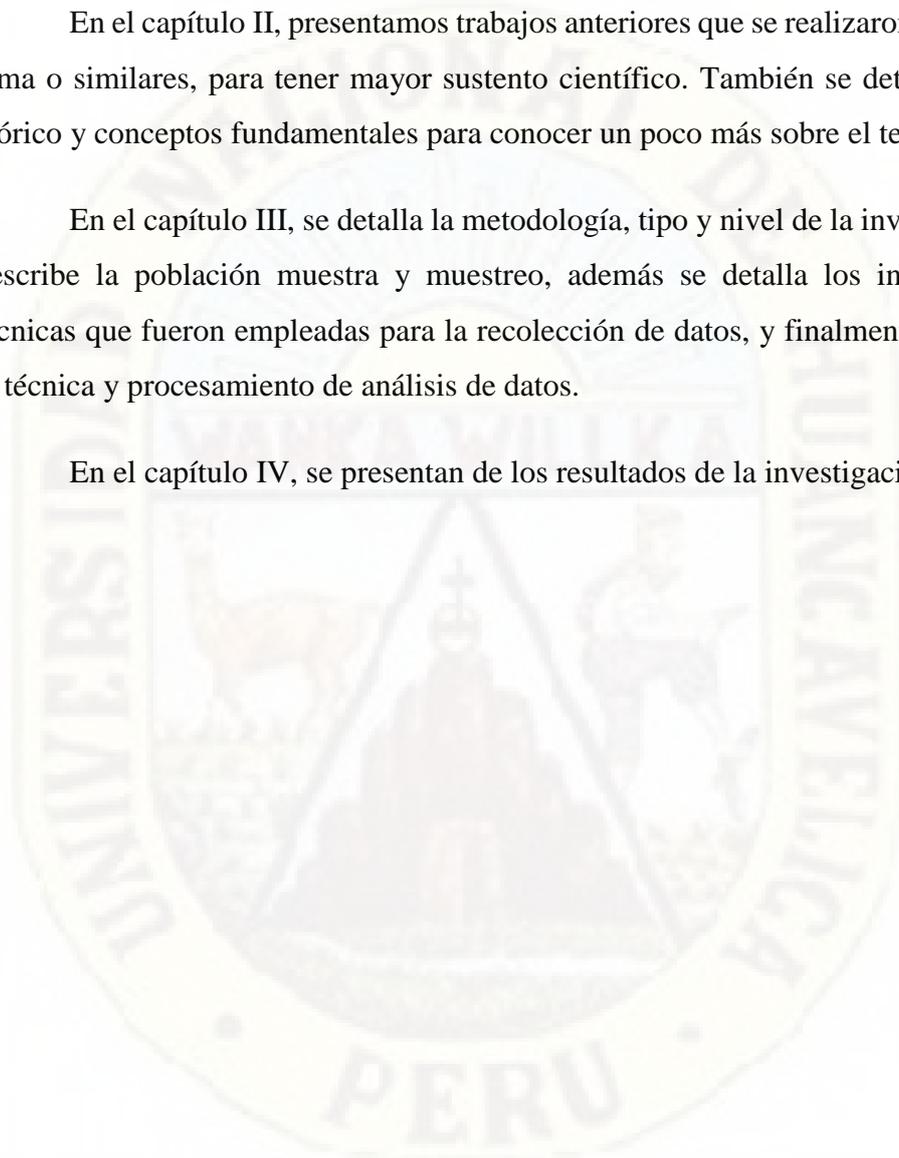
La presente investigación consta de cuatro capítulos, cuyo contenido son especificados a continuación.

En el capítulo I, del presente proyecto de investigación planteamos el problema y las justificaciones que nos han llevado a elegir el tema como un problema de investigación.

En el capítulo II, presentamos trabajos anteriores que se realizaron en el mismo tema o similares, para tener mayor sustento científico. También se detalla el marco teórico y conceptos fundamentales para conocer un poco más sobre el tema a tratar.

En el capítulo III, se detalla la metodología, tipo y nivel de la investigación, se describe la población muestra y muestreo, además se detalla los instrumentos y técnicas que fueron empleadas para la recolección de datos, y finalmente se describe la técnica y procesamiento de análisis de datos.

En el capítulo IV, se presentan de los resultados de la investigación.



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción y formulación del problema

La biología y la química son ciencias naturales, clasificadas según el argentino Mario Bunge dentro de las ciencias fácticas.

La biología, es una ciencia de la vida o la ciencia que estudia o trata de entender las cuestiones de los seres vivos; definidos como una “unidad compleja de materiales fisicoquímicos, capaz de realizar los fenómenos de autorregulación, metabolismo y reproducción. Además, un ser vivo exhibe las capacidades de interactuar con su medio, de crecer, moverse y de adaptarse” (Fried, 1990, p. 3).

Así mismo la ciencia de la química, según Figueroa & Guzmán (2001) trata de explicar cómo y por qué se producen transformación en la materia, y para ello estudia su constitución y propiedades, tales estudios brindan al hombre conocimientos para el aprovechamiento de la materia, así como de sus peligros al manipularlos, ya que, existen elementos químicos muy tóxicos para cualquier ser vivo.

Así esta investigación está enmarcada dentro de estas dos ciencias principalmente, por una parte, es la fitorremediación, una técnica de la ciencia biológica que “aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo” (Delgadillo et al., 2011, p. 1) y por otra parte es importante conocer el comportamiento del elemento químico mercurio (Hg), para entender el proceso de fitorremediación.

El mercurio es el único metal que se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente, además de ser uno de los metales pesados más tóxicos del planeta, se presenta de forma más usual en el ambiente en cinabrio, “a pesar de que se conocen unos 25 minerales principales de mercurio, prácticamente los únicos depósitos que han sido explotados para la extracción de mercurio son los de cinabrio” (PNUMA, 2002, p. 145). El cinabrio es un material de tono rojizo usado por las civilizaciones antiguas en rituales y como medicina. Más adelante el mercurio empezó a usarse para la amalgamación del oro a causa de la gran revolución industrial como nueva visión del mundo.

El mayor yacimiento de mercurio del mundo, es la mina de Almadén que operó más de 2000 años, ubicada en la provincia de Ciudad Real-España, en la cual ya no se realiza ningún tipo de actividad extractiva desde el siglo XVIII. A pesar que cesó su actividad extractiva, esta empresa minera ha estado exportando mercurio a partir de sus stocks almacenados. “La mina cierra en el año 2001, siguiendo un dictamen de la Unión Europea que prohíbe la venta de mercurio, por ser un mineral tóxico, argumentando que a partir de entonces no se encuentran compradores” (Javi Rodríguez, 2013, p. 1).

El mercurio, y sus derivados son de peligro mundial, pues según PNUMA (2002) este metal líquido es peligroso para el sistema nervioso en desarrollo de aquellos seres vivos que pueden estar expuestos a él, y su nivel de toxicidad depende de la forma química del elemento, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad del que se expone. En el caso de los humanos, la principal vía de exposición del mercurio se da a través del consumo de pescado, los usos ocupacionales y domésticos, las amalgamas dentales y las vacunas que contienen mercurio. Según la organización Ecologistas en Acción, “estas sustancias tienen la capacidad de acumularse en el organismo y de concentrarse en la cadena alimenticia, con particular incidencia en ciertos tipos de peces de consumo corriente, como el atún o el pez espada” (EA, 2005, p. 1), ya que es muy volátil y por ende puede transportarse por aire o agua hacia otros lados, además de que se encuentra en suelos. La US EPA (Agencia de Protección

Ambiental de los Estados Unidos) observó que los resultados calculados guardaban relación con las especies de pescado elegidos comúnmente y que "el consumo de pescado con niveles de mercurio superiores al promedio puede representar una fuente considerable de exposición al metilmercurio para consumidores de tales especies" (PNUMA, 2002, p. 82).

En Japón a finales de la década de los 50, una comunidad llamada Minamata sufrió terribles consecuencias a la exposición del mercurio, ya que, fue el centro de manifestación de envenenamiento por metilmercurio, trayendo como primera manifestación el fallecimiento de 46 pobladores. "Los síntomas incluyen ataxia, alteración sensorial en manos y pies, deterioro de los sentidos de la vista y el oído, debilidad y, en casos extremos, parálisis y muerte" (Santana et al., 2014, p. 9). De allí nace el Convenio de Minamata sobre el mercurio, donde suscribieron 128 países, siendo Perú uno de ellos. En ella se trataron temas importantes como "reducir el uso del mercurio en la minería de oro artesanal y en pequeña escala" (Santana et al., 2014, p. 4).

En Perú, el uso del mercurio estuvo presente desde la prehistoria con fines culturales y medicinales, y es bien sabido que la época colonial fue el auge sin límites de la extracción del oro y plata en las minas de Potosí en Bolivia, y del mercurio cuya principal fuente de extracción fue la mina de Santa Bárbara, conocida también como la mina de la muerte, ubicada en la provincia y departamento de Huancavelica.

Ahora solo quedan restos de lo que un día fue el centro minero más importante de mercurio de toda la época prehispánica, y con ella se quedaron también los peligros del mercurio expuestos al ambiente. Manifiesta Brown (2001) que, Huancavelica fue una tragedia ambiental que afectó en principal a los trabajadores que estuvieron expuestos al mineral sin ningún sistema de protección, además de que la mina introdujo al ambiente contaminantes aparte del mercurio que hasta hoy afectan a los pobladores de los alrededores.

En nuestra época actual, el mercurio sigue y seguirá causando estragos en el ambiente y la salud de las personas, ya que este elemento químico inorgánico está presente en todas partes y más aún en las minas de cobre, oro y plata, etc. y nunca desaparecerá, tampoco se puede simplificar a un estado menos ofensivo, solamente se puede controlar.

Un suceso, de gran impacto a causa del mercurio; bastante triste y catastrófico, fue la contaminación con mercurio más grave en los tiempos actuales del Perú, ocasionado por la empresa minera Yanacocha; la mayor minera aurífera de Sudamérica y la segunda más grande a nivel mundial. El hecho ocurrió en el centro poblado de Choropampa, en la provincia de Chota, departamento de Cajamarca. Según relata Arana (2009) el accidente ocurrió el dos de junio del año 2000, cuando un camión de la empresa RANSA Comercial S.A. (Concesionaria de la minera Yanacocha) que se dirigía desde el centro minero de Yanacocha hacia Lima, derramó accidentalmente mercurio elemental que transportaba en la calle principal de la localidad de Choropampa. Según detalla el informe de la Defensoría del Pueblo DPP (2001) el derrame de unos 27 km de longitud comenzó en el distrito de San Juan, pasando por el Centro Poblado Menor de San Sebastián de Choropampa donde se tuvo el mayor derrame, llegando hasta el distrito de Magdalena de Cajamarca. Relata Amancio (2011) enviada especial del diario El Comercio, que la minera para minimizar el problema ofreció 100 soles por un kilo de mercurio recogido. Por tal oferta todos los pobladores incluidos niños desconocedores del gran peligro del metal y su rápida volatilización en temperatura ambiente, se atrevieron a recoger el mercurio líquido derramado con sus propias manos, algunos con cucharillas, otros hasta con la boca. Del total de 151 kg de mercurio elemental derramados 17.4 kg se filtró en el suelo, 21.2 kg se evaporó y 63.3 kg no se recuperó.

Los problemas no tardaron en aparecer pues por haber inhalado grandes cantidades de vapor de mercurio muchos empezaron a sentir mareos, fuertes dolores de cabeza, vómitos, entre otros. Como afirma Arana (2009) los que se expusieron al mercurio sintieron instantáneamente sabor metálico en la boca,

tuvieron problemas respiratorios, sarpullidos, inestabilidad emocional, dolor de cabeza, temblores, dolor lumbar y articular y a largo plazo se sumó la pérdida paulatina de la memoria. Los investigadores Contreras et al. (2013) señalan que existen tres fases en la aparición de síntomas por la toxicidad del mercurio que actúa en el cuerpo humano. En las primeras horas se presenta tos, disnea, fiebre, cefalea, dolor muscular, diarreas, gingivitis y dolor abdominal. En la segunda fase se presenta neumonitis intersticial, infiltrados bilaterales, edema pulmonar no cardíaco, distrés respiratorio agudo, enfisema, neumotórax, neumomediastino y la muerte puede ocurrir por la hipoxia. La tercera fase o fase tardía se presentan las siguientes manifestaciones del sistema nervioso central como tumor, eretismo, a nivel pulmonar se presencia la fibrosis, granulomas pulmonares y bronquiectasias, así mismo señalan que la principal vía de exposición al mercurio elemental es mediante el sistema respiratorio y que aproximadamente 80% del mercurio inhalado se retiene en los pulmones.

Según el informe de la Defensoría del Pueblo-DPP (2001) los primeros días se reportaron 47 pobladores que habían sufrido infección directa por haber manipulado el mercurio sin protección adecuada, posteriormente fueron 755 los afectados y hasta la actualidad aún los pobladores viven con las secuelas del fatal accidente.

Otro de los departamentos del Perú que es afectada actualmente por la presencia del mercurio es Madre de Dios. En esta región las pequeñas y medianas mineras auríferas, así como la minería informal e ilegal constituyen la principal actividad económica y el problema radica en que su efecto principal es la contaminación del ambiente con mercurio y de la degradación de la salud de los pobladores.

En Madre de Dios, así como en toda la selva peruana, la dieta de las personas comprende en su mayoría de pescado, así Fernandez (2013) del proyecto CAMEP (Carnegie Amazon Mercury Ecosystem Project) relata que el 60% de especies de peces que están a la venta en los mercados de Puerto

Maldonado están contaminado con mercurio por encima de los Estándares de Calidad (US EPA Fish Mercury RfC: 0.30ppm).

Estudio realizado por Carnrgie Institution for Science - proyecto CAMEP, describe que de un total de 226 personas de entre 17 a 77 años, de los cuales 92% consume pescado y el restante no lo consume y por último el 24% está relacionado con la minería directamente y 76 % no. El 77.9% de adultos tiene niveles de mercurio superiores al valor normal (Rango: 0.02 ppm-27.40 ppm). Osore et al. (2012) sostienen que un estudio de mercurio realizado en la muestra de orina de 292 personas a través de la técnica validada para medición de mercurio (MET-CENSOPAS-002) en la localidad de Hupetuhe-Madre de Dios, muestra que, del total de la muestra entre varones y mujeres, el grupo de edad de entre 3 a 17 años es la más afectada y los varones representan el doble de los casos afectados y en cuanto a mujeres, las que se encuentran en edad fértil son las más vulnerables.

La región de Huancavelica, llamada también la tierra del mercurio, aun convive con el mercurio y su gente vive desprevenida de los grandes peligros del metal. Según una investigación realizada para un proyecto de remediación del mercurio por Thoms & Robins (2015) la explotación de la mina de Santa Bárbara realizada por aproximadamente 400 años trajo como consecuencia la acumulación de mercurio en lo que hoy es la ciudad. Thomas y Robin investigadores del Consejo de la Salud Ambiental (The environmental Health Council) constataron que, del total de 60 casas de adobe y tapial que fueron la muestra, el 75 % de ellas tiene mercurio en el aire interior, piso y paredes por encima del valor de detección específica, y alrededor de 20% que equivale a 3800 personas en el momento de la investigación superan el valor de  $1 \mu/m^3$  de mercurio en la sangre, establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). La cifra máxima de ingestión y/o inhalación del mercurio dada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de  $0,2 \mu/m^3$ .

Para Foreno (2019); un abogado colombiano especialista en derecho salud, la mina de Santa Bárbara fue la tercera más grande en extracción del mercurio a nivel mundial y con combinación de la pobreza y extrema pobreza de la región; donde la mayoría de las casas de los alrededores son de tierra apisonada (tapial) y muchas calles están sin asfaltar, se incrementan las posibilidades de ingesta de mercurio. según la Defensoría del Pueblo, aproximadamente 19 mil habitantes viven en estas circunstancias de peligros eminentes e invisibles.

También Foreno (2019) señala que en 2018 con oficio N° 200-2018-DP/AMASPPI, se recomendó al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento la remediación de calles de tierra y de casas de tapial especialmente de los barrios de San Cristóbal y Yananaco y en 2019 se lanzó un programa para la remediación de 16 pasivos ambientales minero a nivel nacional y dentro se encuentra la mina de Santa Bárbara.

Por los grandes peligros que conllevan la exposición de poblaciones al mercurio narrados en los párrafos anteriores, el presente trabajo se centra en la antigua mina de Santa Bárbara, ahora pasivo ambiental de Santa Bárbara y sus contaminados suelos erosionados para la aplicación de la técnica de fitorremediación.

A través de esta técnica, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar la capacidad de fitorremediación del mercurio del *Amaranthus hybridus* y la *Urtica urens* para controlar dichos suelos erosionados, además de extraer el metal del suelo para acumularlo en las plantas.

## 1.2. Formulación del problema

A continuación, se formula la siguiente interrogante.

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficacia fitorremediadora de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el mejor tratamiento en la fitorremediación de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica - 2021?
- b. ¿Cuál es la variación de altura del tallo de la *Urtica urens* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021?
- c. ¿Cuál es la variación de altura del tallo del *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021?
- d. ¿Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación?

### **1.3. Objetivo: General y específicos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la eficacia fitorremediadora de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar el mejor tratamiento en la fitorremediación de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.
- b. Determinar la variación en la altura del tallo de la *Urtica urens* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.
- c. Determinar la variación en la altura del tallo del *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.
- d. Determinar si los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.

### **1.4. Justificación**

Los metales pesados han sido ampliamente utilizados en muchas actividades, tales como la agricultura, la minería, y la industria. Por lo tanto, se han documentado serios problemas asociados a la contaminación de los suelos en estas actividades. La acumulación de metales pesados en las plantas inhibe o activa algunos procesos enzimáticos que afectan su productividad tanto cualitativa como cuantitativamente como es el caso del mercurio y sus consecuencias graves en la salud de las personas.

#### **1.4.1. Teórica**

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permisibles causan efectos inmediatos, de acuerdo a Sierra (2006) sugiere como “la inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes ambientales como la disminución microbiana del suelo” (p. 116), por lo tanto, es una variable importante en el proceso de contaminación del suelo.

#### **1.4.2. Práctica**

Esta investigación permitirá conocer más a fondo la situación en la que se encuentra los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara que están contaminadas con mercurio provenientes de las actividades mineras realizadas; así mismo dicha investigación se realiza con la finalidad de aportar conocimiento tanto a la población de la Huancavelica como a los profesionales dedicados al cuidado del medio ambiente de poder recomendar a estas especies como una alternativa fitorremediadora de suelos contaminados con presencia de mercurio y que así esta misma puede acumular el contaminante y mitigar los problemas ambientales que aquejan a la ciudad en el que los pobladores son los principales afectados.

#### **1.4.3. Metodológica**

Al ser una tecnología limpia y amigable para el medio ambiente se ha visto la necesidad de estudiar la repercusión de la contaminación de mercurio en seres vivos, sin embargo. De acuerdo a Covarrubias & Peña (2017) las descontaminaciones de mercurio con técnicas específicas de análisis de laboratorio son extremadamente difíciles y costosas.

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. A nivel internacional

Covarrubias & Peña (2017) en su estudio: *Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación*, tuvo por objetivo analizar la problemática de contaminación por metales pesados en México, enfocándose en aquellos más abundantes y discutir el uso de la fitorremediación asistida por microorganismos como una alternativa biológica para ayudar a la solución de este problema, teniendo como hipótesis que existe contaminación por metales pesados en México y el uso de la fitorremediación es una alternativa biológica, obteniendo resultados que en México las investigaciones se han enfocado al proceso de fitoextracción partiendo de la utilización de plantas nativas acumuladoras de metales y del conocimiento de la diversidad microbiana de cada zona particular para obtener aislados que promuevan el crecimiento vegetal y ayuden al proceso de fitorremediación al ser inoculados en las plantas llegando a la conclusión de que si existen especies vegetales con capacidad de absorción de metales pesados algunos de los géneros vegetales más estudiados son *Thypha*, *Crassipes*, *Acacia*, *Amaranthus*, *Prosopis* y *Helianthus*, por otro lado entre las bacterias más estudiadas están los géneros *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Microbacterium*, *Curtobacterium*, *Rhodococcus*, *Xanthomonas* y *Pseudomonas*, así como hongos del género *Glomu*.

Esteban et al. (2007) en su tema de investigación: *Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén*, teniendo como objetivo aplicar especies vegetales silvestres estudiadas que pueden emplearse en fitoestabilización y revegetación de las zonas más degradadas de Almadén, teniendo como hipótesis que las

especies vegetales silvestres estudiadas son eficaces al emplearse en fitoestabilización y revegetación de las zonas más degradadas de Almadén, obteniendo resultados como los valores más altos de concentraciones de mercurio corresponden a la zona de mayor influencia antropogénica y de actividades mineras como 550 mg/kg de Hg evaluando distintas especies vegetales, llegando a la conclusión que la capacidad de acumulación de Hg de *Rumex induratus*, *Urtica urens* y *Marrubium vulgare* las califica para su uso en revegetación y/o fitoestabilización de estos suelos contaminados con mercurio.

Beltrán & Gómez (2016) en su investigación: *Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética*, su objetivo mejorar las capacidades biorremediadoras de las diferentes especies de macrófitas, teniendo como hipótesis que existen diversas técnicas de tipo fisicoquímico utilizadas para el tratamiento de estos metales a largo plazo, los resultados fueron que las respuestas de las plantas al estrés por los metales pesados puede variar dependiendo del metal y su concentración, generalmente la concentración de pigmentos fotosintéticos revela una alta tolerancia a los metales pesados atribuida principalmente a la acumulación en los tejidos, la conclusión fue que los microorganismos cuentan con amplias capacidades metabólicas que les permiten utilizar diferentes tipos de sustratos con el objetivo de obtener energía y en muchos casos transformarlos y los metales pesados son sustratos que pueden ser inmovilizados o transformados por estos organismos utilizando diversas estrategias lo cual puede afectar su biodisponibilidad.

Ortiz et al. (2009) realizaron la investigación: *Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L.) y micorrizas*, que tuvo como objetivo evaluar la capacidad extractora de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) del quelite (*Amaranthus hybridus* L.) al adicionar una mezcla de micorrizas arbusculares (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*) al sustrato

contaminado con Pb o Cd., la hipótesis fue mediante un diseño experimental que la capacidad del quelite (*Amaranthus hybridus* L.) en la fitoextracción de plomo (Pb) y de cadmio (Cd) es eficiente, contando con los resultados de la investigación fueron que la adición de micorrizas incrementó significativamente ( $P < 0.05$ ) la concentración de Pb y Cd en raíz, tallo y hoja de quelita, llegando a la conclusión La planta de *A. hybridus* L. tiene la capacidad de concentrar en sus tejidos plomo y cadmio al crecer en suelos contaminados conforme aumenta la edad de la planta.

Según Bonilla (2013) en su tesis: *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*, tuvo por objetivo evaluar la capacidad de *Amaranthus hybridus* (amaranto), *Beta vulgaris* (acelga) y *Medicago sativa* (alfalfa), en la fitoextracción de plomo en suelos contaminados, teniendo como hipótesis que las plantas fitoextraigan el plomo en el suelo contaminado a distintas eficiencias, los resultados fueron que la mayoría de especies antes mencionadas presentan susceptibilidad en ausencia de agua, por tanto el amaranto fue seleccionado como muestra control dentro del estudio, llegando a la conclusión que las especies *Amaranthus hybridus* (amaranto), *Medicago sativa* (alfalfa) y *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) presentan la capacidad de acumular plomo en sus tejidos, al estar expuesta en suelos contaminados con este metal.

Según Cordero (2015) en su tesis: *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca alta en el municipio de Útica (Cundinamarca)*, tuvo como objetivo evaluar la fitorremediación in situ como estrategia en la recuperación de suelos contaminados por selenio u otros metales pesados en la finca Furatena alta en el municipio de Útica-Cundinamarca, su hipótesis fue recuperar los suelos contaminados por selenio y otros metales pesados en la finca Furatena alta en el municipio de Útica-Cundinamarca, los resultados que obtuvo fueron que al final del tratamiento para cadmio y plomo son 63,54 mg/kg y 248,7 mg/kg para el

lote la Laguna, 25,7 mg/kg y 132,9 mg/kg para el lote el Churrusco y 23,2 mg/kg y 238,2 mg/kg para el lote analizado, llegando a la conclusión que de acuerdo a los tres tratamientos aplicados es más eficiente el realizado con la combinación de semillas ya que fue la que más concentración de metales absorbió aunque estas no se deben considerarse hiperacumuladora si es una buena alternativa para la reducción de metales pesados.

### 2.1.2. A nivel nacional

Mogollón et al. (2018) en su tema de investigación: *Remoción de metales pesados con Urtica urens L. en suelos contaminados del distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, La Libertad*, teniendo como objetivo analizar el porcentaje de remoción de metales pesados con *Urtica urens L.* en suelos contaminados en el distrito de Huamachuco, Sánchez Carrión, La Libertad, la hipótesis planteada fue que la especie *Urtica urens L.* tiene la capacidad de remover metales pesados en suelos contaminados del distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, La Libertad, los resultados fueron que de los seis metales pesados analizados el arsénico, mercurio y plomo son los de mayor remoción con un 65%, 98% y 64%, respectivamente, llegando a la conclusión la especie *Urtica urens L.*, si remueve con eficiencia los metales de arsénico, mercurio y plomo sin embargo los metales bario, cadmio y cromo la remoción no depende de un tratamiento específico.

Guerrero (2015) en su tesis: *Fitoextracción de cadmio y plomo utilizando quelite (Amaranthus hybridus L.) y cinco agentes quelantes*, teniendo como objetivo evaluar la capacidad del quelite *Amaranthus hybridus L.* en la fitoextracción de cadmio (Cd) y plomo (Pb) con la ayuda de cinco agentes quelantes, la hipótesis planteada fue que la planta de quelite *Amaranthus hybridus L.* tiene propiedades extractivas de los metales cadmio y plomo y al menos un agente quelante, tiene efectos positivo en la fitoextracción, los resultados hallados fueron en el caso de plomo, el testigo tuvo mejor resultado con 92.5 mg kg<sup>-1</sup>, pero el Ácido fúlvico también

estuvo elevado con 90 mg kg<sup>-1</sup>, en cadmio para este segundo corte el más efectivo fue el ZnEDTA con 37.5 mg kg<sup>-1</sup> y el EDTA con 35 mg kg<sup>-1</sup>, llegando a la conclusión que la capacidad de fitoextracción de metales pesados (cadmio y plomo), que se esperaba del quelite *Amaranthus hybridus*, ha sido exitosa, y se cumple la hipótesis.

Marcelo (2017) en su tema de investigación: *Capacidad fitorremediadora de Urtica urens L. en suelos con metales pesados del sector Campanario, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad*, tuvo por objetivo evaluar la capacidad fitorremediadora de *Urtica urens L.* en suelos con presencia de metales pesados del sector Campanario, Quiruvilca, la hipótesis fue que la *Urtica urens L.* presenta capacidad fitorremediadora en suelos con presencia de metales pesados del sector Campanario, obteniendo resultados de seis (Al, Ba, Be, Ce, Li, V) de los metales que se encontraron en el suelo del sector Campanario han sufrido un incremento de sus concentraciones, llegando a la conclusión que la *Urtica urens L.* tiene la capacidad fitorremediadora en suelos con presencia de metales pesados del sector Campanario, demostrándose que el porcentaje de remoción fue mayor en Cromo (81.56%) y Antimonio (80.83%). Por tanto, se evidenció también en Cobre (49.68%), Arsénico (37.58%) y Titanio (24.93%); se obtuvo el menor porcentaje de remoción en estroncio (3.64%).

Bazán & Rojas (2018) en su tesis: *Remoción de metales pesados con Juncus arcticus y Urtica dioica en un relave minero, distrito Huamachuco - La Libertad*, tuvieron como objetivo calcular la remoción de metales pesados con *Juncus arcticus* y *Urtica dioica* en un relave minero, Distrito Huamachuco - La Libertad, la hipótesis planteada fue que las especies *Juncus arcticus* y *Urtica dioica* remueven metales pesados en un relave minero, Huamachuco – La Libertad, teniendo como resultados obtenidos de la remoción promedio de metales pesados con *Juncus arcticus* fueron de 10.4% de Pb, 7.0% de As y 32.7% de Cd, mientras que *Urtica dioica* presentó 16.4% de Pb removido, así también 13.3% de As y 35.7% de Cd, llegando a la conclusión que la especie *Urtica dioica* presenta mejores

resultados de remoción en los tres metales evaluados con 32.2% de Pb, 33.7% de As y 70.8% de Cd a diferencia de, *Juncus articus* que remueve 26.3%, 27.5% y 67.9% de Pb, As y Cd respectivamente.

Gosgot (2017) en su tema de investigación: *Capacidad fitoextractora de Amaranthus hybridus L. y micorrizas en suelos contaminados con metales pesados, Sector Shorey, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad*, tuvo por objetivo evaluar la capacidad fitoextractora de *Amaranthus hybridus L.* y las micorrizas en suelos contaminados con metales pesados del sector Shorey chico, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento La Libertad, la hipótesis planteada fue el *Amaranthus hybridus L.* y las micorrizas presentan capacidad fitoextractora en suelos contaminados con metales pesados, pesados del sector Shorey chico, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento La Libertad, los resultados de remoción fueron al Sb con -44.05%, seguido del Cd con -42.15%, Hg con -32.14%, Cu con -17.28%, Sn con -15.67%, Ce con -13.36% y en menor remoción tenemos al As con -9.12%, llegando a la conclusión que se determinó que la especie *Amaranthus hybridus L.* y las micorrizas poseen la capacidad de fitoextraer metales pesados tales como Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cerio (Ce), Cobre (Cu), mercurio (Hg), Antimonio (Sb) y Estaño (Sn) y en menor concentración el Plomo (Pb). En donde la mayor remoción fue el Sb con -44.05%, y en menor remoción fue el As con -9.12%.

Diaz (2017) en su tesis: *Capacidad de acumulación de la ortiga Urtica urens para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Oroya, Junín, 2017*, tuvo por objetivo determinar la capacidad de acumulación de la ortiga *Urtica urens* para fitorremediar suelos contaminados con plomo en la Oroya, Junín, 2017, su hipótesis fue que la ortiga *Urtica urens* tiene la capacidad de fitorremediar suelos contaminados con plomo en la Oroya, Junín, 2017, los resultados fueron que la medición de plomo inicial de las 05 muestras homogenizadas nos indica que el plomo inicial oscila entre 1117.91 a 1120.87 mg/kg, después del tratamiento los

resultados finales fueron hasta de 114.60 mg/kg, llegando a la conclusión que la ortiga *Urtica urens* tiene la capacidad de acumular plomo presente en el suelo de la Oroya, logrando acumular 109.46 mg/ kg en su totalidad, tanto en hojas como en raíces, asimismo teniendo un nivel de eficiencia del 10% del plomo presente inicialmente.

Cotrina et al. (2018) en su investigación: *Influencia del Amaranthus hybridus en la remoción de metales pesados en suelos contaminados por la minería en Shiracmaca – Huamachuco, La Libertad*, tuvo por objetivo evaluar la influencia de *Amaranthus hybridus* en la remoción de metales pesados en suelos contaminados por la minería en Shiracmaca – Huamachuco, La Libertad, su hipótesis fue que el *Amaranthus hybridus* si remueve los metales pesados en el suelo de Shiracmaca, Huamachuco, La Libertad, los resultados fueron el porcentaje de remoción de metales pesados en las 3 densidades poblacionales, indicando que para el As se tuvo un porcentaje de 9,42% para el tratamiento con 6 plantas, 11,65% con 4 plantas y 5,61% con 2 plantas; así mismo se removió un 5,22% de plomo con 6 plantas, 8,16% con 4 plantas y 1,97%, mientras que para el cobre se redujo un 5,25% con 6 plantas, 5,5% con 4 plantas y un 2,55% con dos plantas, llegando a la conclusión que la macrófita A. hybridus tiene la capacidad de remoción de metales pesados, ya que una vez realizados los análisis Pre y Post de las cuales As y Pb tiene una mayor concentración de metales pesados de 3937 mg/kg y 5008 mg/kg.

Paiva (2015) en su trabajo de investigación titulada *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando Amaranthus spinosus en Cusco del 2012*, se planteó como objetivo evaluar la capacidad de acumulación del *Amaranthus spinosus* para fitorremediar suelos con altas concentraciones de plomo del relleno sanitario de Kehuar Anta utilizando el tipo de planta *Amaranthus spinosus*, con un diseño experimental y con ello obtuvo como resultado que la acumulación de metales pesados por esta especie *Amaranthus spinosus* se alcanzó con más intensidad en las raíces con 600 mg/Kg de suelo. Por lo que se concluyó que

esta especie *Amaranthus spinosus* reveló una acumulación progresiva de este metal en sus diversas partes, Por lo que no mostró ningún efecto negativo en la planta y su desarrollo en el tamaño se dio con normalidad.

Gomez (2013) realizó una investigación denominada: *Determinación de la tolerancia a Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) de Pistia stratiotes (Huama), Eichhornia crassipes (Putu.Putu) y Lemna minor (lentejita)*, cuyo objetivo fue determinar la tolerancia fitotóxica a Hg, Pb, y Cd de *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, su hipótesis fue, que las especies acuáticas *Pistia stratiotes* "huama", *Eichhorniacrassipes* "putu putu" y *Lemna minor* "lentejita" son tolerantes a la presencia de metales pesados, donde la metodología fue utilizar soluciones de los metales pesados en diferentes concentraciones a partir de las sales de; cloruro de mercurio, nitrato de plomo y sulfato de cadmio, los cuales fueron diluidos en agua destilada, con el fin de obtener las concentraciones propuestas para los ensayos, las evaluaciones fueron cada 48 horas (cada 2 días), dentro de las cuales se evaluó los efectos fitotóxicos, y al término de la evaluación (al 8avo día). Dos veces al día durante el periodo de prueba, se examinaron los recipientes para determinar si se evidenciaban signos de fitotoxicidad y/o pérdida de solución por evaporación en las plantas que se utilizó, esto dio como resultado que la especie *Lemna minor*, resiste a la presencia elevada de mercurio, para el caso de plomo *Lemna minor*, para el caso de *Pistia stratiotes* el mercurio es tóxico, incluso en el tratamiento de menor concentración (0.008mg/l), el plomo es menos tóxico para *Pistia stratiotes*, debido a que hay desarrollo en las dos variables, además no presentó mortandad, lo cual sugiere una tolerancia de plomo hasta 1 mg/l, en conclusión, presentan una relación dosis-respuesta de tal manera que son excelentes variables para evaluar efectos fitotóxicos en estas tres macrófitas.

## 2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

### 2.2.1. Teoría celular

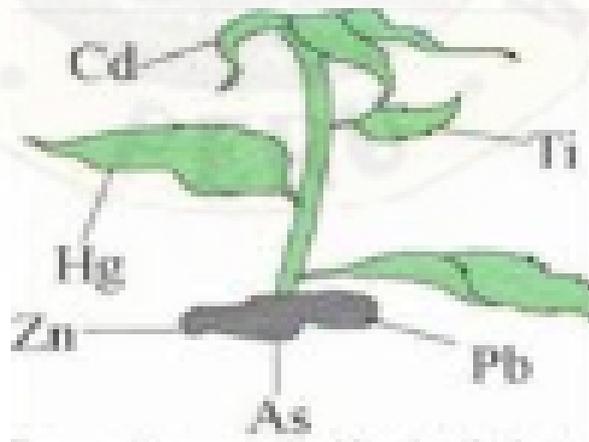
La teoría celular enunciada por Matthias Schleiden (1804-1881) y Theodor Schwann (1810-1882), refiere a que todos los seres vivos están compuestos por células y por productos elaborados por ellas. “La teoría celular sostiene que todos los seres vivos están compuestos por lo menos por una célula y que la célula es la unidad fundamental y funcional de los organismos” UNN (2013, p.12).

A partir de ella: la célula, unidad fundamental de la vida constituye a los tejidos, conjunto de células que cumplen la misma función y así sucesivamente hasta formar un sistema con vida.

Delgadillo et al. (2011) sostiene que la fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo.

**Figura 1**

*Zonas de Acumulación de Distintos Metales en las Plantas*



Fuente: Delgadillo et al. (2011)

### **2.2.2. Teoría de la eficacia**

De acuerdo a Mokate (2002) “la eficacia de un programa o sistema podría entenderse como el grado en que se alcanzan los objetivos propuestos” (p. 16).

Para lograr total claridad sobre la eficacia, hace falta precisar lo que constituye un “objetivo”. Particularmente, necesitamos estipular que un objetivo bien definido explícita lo que se busca generar, incluyendo la calidad de lo que se propone.

Así mismo, según Mokate (2002) un objetivo debe delimitar el tiempo en que se espera generar un determinado efecto o producto; por tanto, una iniciativa resulta eficaz si cumple los objetivos esperados en el tiempo previsto y con la calidad esperada.

Entonces la eficacia mide el grado en que se cumplen los objetivos y la eficiencia, el grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible, uno podría concluir que, para ser eficiente, una iniciativa tiene que ser eficaz. Concretamente, nosotros consideramos que la eficacia es necesaria para lograr la eficiencia.

### **2.2.3. Teoría de la depuración biológica**

Formulada por Barnard en 1976 en la que explica que la depuración biológica se presentan múltiples reacciones de tipo bioquímico que transforman la materia orgánica, los nutrientes y otros compuestos (sulfuros y metales) en elementos más simples y de mayor estabilidad. Este proceso se conoce como oxidación biológica y en él, se realiza una conversión de los elementos orgánicos a formas inorgánicas altamente oxidadas en la mineralización (Lozano, 2016).

Estas reacciones pueden efectuarse mediante un proceso: Aerobio y anaerobio, incluyendo la mineralización u oxidación biológica, implica una transferencia de electrones entre un donador (sustancia reductora) y un

aceptor de electrones (sustancia oxidante) la cual mediante las raíces de las plantas se bioacumulan en electrones en las raíces y partes aéreas de las plantas que sirven para la fitorremediación.

Se han llevado a cabo investigaciones en todo el mundo para determinar los efectos tóxicos de los metales pesados en las plantas, por ejemplo, los compuestos presentes en un radio cerca de semilla y la planta pueden afectar la permeabilidad celular la fisiología, el transporte de electrones en la fotosíntesis, la variación en las actividades enzimáticas y la inhibición de las células.

#### **2.2.4. Teoría de la evolución**

La teoría de la evolución fue planteada por Charles Darwin en el año 1859, en su famoso libro titulado El origen de las Especies.

Según explica Sandí (2008) esta teoría explica el origen de diversas formas de vida como resultado de cambios en su carga genética a través del tiempo.

La teoría de la evolución establece que los organismos modernos descienden, con modificaciones, de formas de vida preexistentes, y que para poder sobrevivir se han modificado genéticamente a las circunstancias o condiciones ambientales, así como en la actualidad hay seres vivos que han desarrollado una forma de vida en ambientes inhóspitos, conocido como la capacidad de adaptación.

Algunas plantas pueden resistir a altas concentraciones de nutrientes, además de ser resistentes a altas concentraciones del mercurio y otros metales pesados, estas características se han desarrollado desde sus inicios, en la cual tuvo que cambiar genéticamente para adaptarse a su entorno.

## 2.3. Bases conceptuales

### 2.3.1. El suelo

El suelo es un recurso natural semirrenovable y soporte de la vida, pero puede definirse de muchas maneras, según el objetivo de su estudio, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2019) el suelo es un medio natural para el crecimiento de las plantas o también llamada como un cuerpo natural que consiste en horizontes o capas compuestas de materiales de minerales meteorizados a través del tiempo, materia orgánica resultado de la flora y fauna. Para Marconi (1990) el suelo es la capa superficial de la tierra en donde se realizan actividades bioquímicas y físicas, a causa de las relaciones entre suelo, organismos y medio ambiente.

**Figura 2**

*Composición Física y Química del Suelo.*



Fuente: FAO (2015a)

La figura 2, muestra la composición porcentual de un suelo normal donde el 45% representa los minerales producto de las meteorizaciones, el 25% representa la presencia de agua en los macro poros del suelo, el otro 25% representa presencia de aire en los micro poros, necesarios para la ventilación y oxigenación del suelo, y otro 5% es la concentración de

materia orgánica producto de la descomposición de seres vivos tanto de flora como fauna.

#### **2.3.1.1. Elementos químicos esenciales del suelo para la vida**

Las plantas para su desarrollo normal, requieren de ciertos elementos químicos que están presentes en el suelo, pero es necesario que estos elementos estén en un rango óptimo ya que su escasez o su alta concentración afecta en su desarrollo fenológico, pero existen plantas que pueden soportar altas concentraciones de estos elementos químicos, ya que su sistema está desarrollado para sobrevivir en ambientes críticos.

Según Arnon y Stout (1939) citado por Ortega & Malavolta (2012) un elemento es considerado esencial cuando cumple con uno o con dos criterios de esencialidad establecidos, los cuales son:

- Un elemento se considera esencial cuando, cuando su ausencia imposibilita el desarrollo completo y normal de la planta.
- La ausencia de un elemento, debe generar una deficiencia específica y ser comprobada su esencialidad suministrándose aquel elemento.
- El elemento químico debe estar directamente implicado en el desarrollo de la planta.

##### **a) Macro y micronutrientes esenciales**

Los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas que están presentes en el suelo son 16, científicamente demostrado y 6 son requeridos relativamente en grandes cantidades, como el

nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Elementos Químicos Esenciales para las Plantas*

<b>Nutrientes esenciales para las plantas</b>			
<b>Para todas</b>		<b>Para algunas</b>	
En cantidades relativamente grandes		En cantidades relativamente pequeñas	
De los sólidos del suelo		De los sólidos del suelo	
Extraídos por lo general del aire en forma de CO <sub>2</sub> o del agua del suelo	De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo
Carbono	Nitrógeno	Hierro	Sodio
Hidrógeno	Fosfato	Manganeso	Silicio
Oxígeno	Potasio	Boro	Cobalto Vanadio
	Calcio	Molibdeno	
	Magnesio	Cobre	
	Azufre	Cinc	
		Cloro	

Fuente: S. Navarro & Navarro (2003)

**b) Elementos no esenciales para las plantas contenidos en el suelo**

Los elementos no esenciales son aquellos que no son requeridos por las plantas, según Navarro & Navarro (2003) son el níquel, plomo, mercurio, arsénico, litio y rubidio, pero son absorbidos por las raíces en pequeñas cantidades.

**2.3.1.2. Importancia de un suelo sano**

Es importante el suelo para el desarrollo de la vida tanto de animales y plantas. Para el ser humano el suelo ha supuesto su evolución desde la agricultura hasta el uso del suelo como soporte para sus infraestructuras, pues así el suelo y hombre están estrechamente relacionados.

Según FAO (2018) en su informe de Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos, citado del informe de Funciones del Suelo; informe del año 2015, once son las funciones esenciales del suelo.

**Figura 3**

*Funciones Esenciales del Suelo*



Fuente: FAO (2015b)

En el marco del presente trabajo de investigación se considera esencial tratar sobre las 4 primeras funciones del suelo:

- Suministro de alimentos fibra y combustible, esta función es esencial y las más importante, ya que un suelo sano proveerá alimentos sanos al consumidor, por ende, es necesario asegurar la disponibilidad y calidad de suelo.

- Purificación del agua y retención de contaminantes del suelo, el suelo actúa como medio filtrante de agua y a la vez retiene contaminantes.
- Ciclo de nutrientes, se refiere a que las plantas al morir se descomponen en humus, y posteriormente se mineralizan para poder ser absorbidos por una nueva planta como fuente de energía
- Hábitat para organismos, el suelo es el lugar donde viven muchos organismos, desde bacterias, hongos, hasta larvas y pequeños insectos, que cumplen una función crucial en el ciclo de los nutrientes. Si el suelo está contaminado con algún elemento no esencial, los organismos morirán y el ciclo de nutrientes en el suelo será deficiente.
  - Regulación del clima
  - Regulación de inundaciones
  - Retención de carbono
  - Fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos
  - Base para la infraestructura humana
  - Suministro de materiales de construcción
  - Herencia cultural

En este sentido FAO (2018) propone que el suelo debe ser tratado de manera integral, desde sus componentes propios y funciones, hasta sus interrelaciones con su medio circundante como el agua, aire, subsuelo, el crecimiento urbanístico, actividades económicas, etc.

### 2.3.1.3. Contaminación del suelo

Silva & Correa (2009) definen el daño ambiental como modificación y alteración negativa de las condiciones iniciales de los componentes del ambiente, y a la contaminación como la presencia por encima de los estándares de calidad ambiental de elementos que tienen la capacidad de modificar las condiciones iniciales de los componentes del ambiente. Esta contaminación ambiental puede presentarse de dos maneras: fuentes locales o puntuales y por fuentes difusas.

Para Junceda (2002) los factores que causan una contaminación del suelo son de origen agrícola, industrial o residual, ya sea a través de vertidos, emisiones o incorrecta disposición final de residuos.

Las principales fuentes de contaminación son: La industria de la minería, hidrocarburos, agricultura y residuos sólidos municipales.

- **La industria de la minería.-** Las actividades extractivas de minerales, tales como minería de oro, plata, cobre, etc., traen como consecuencia impactos negativos en el ambiente, como la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, contaminación del aire, modificación del paisaje natural, alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo, que según detalla Lillo (2008) son las siguientes: variación de la textura, estructura, proceso de compactación, mezcla de horizontes, contaminación con metales pesados como mercurio, plomo, cadmio, cobre, acidificación por concentración y oxidación de sulfuros y drenaje ácido, adición de sales en el suelo.

- **La industria de hidrocarburos.** - Son las empresas que se dedican a la extracción del crudo o petróleo, su procesamiento y refinación en subproductos comercializables. Explican Ortíz et al. (2009) que la contaminación del suelo por derrame de hidrocarburos, provoca el aumento de carbono orgánico, ya que el 75% de Carbono del petróleo es oxidable, disminuye el pH debido a la generación de ácidos orgánicos, aumenta la concentración del manganeso y hierro intercambiable, aumento de fósforo disponible, y en cuanto a las propiedades físicas del suelo, se produce la obstrucción de poros; zonas de aire y agua, se modifica la estructura, aumentando la retención de agua en la capa superficial, así como evitando el ingreso de aire para la oxigenación.
- **La industria de la agricultura.** - El crecimiento exponencial de la población mundial hizo que en este sector económico la demanda por los alimentos incrementase, trayendo consigo una relación directa de crecimiento de contaminación al suelo que resulta de “la aplicación directa de plaguicidas o fertilizantes en la tierra o puede deberse al almacenamiento, manejo o disposición inadecuada de sustancias tóxicas” (Arellano, 2002, p. 52).

Otro autor afirma lo siguiente:

Dentro de los impactos negativos que generan en el medio ambiente puede nombrarse la reducción de la actividad microbiana del suelo, el crecimiento irregular, la pérdida de biomasa, o muerte de plantas sensibles a estas sustancias y afectaciones en la salud de la población. (Silva & Correa, 2009, p. 8)

- **Residuos sólidos municipales.** - Los residuos generados en los domicilios o llamados también residuos sólidos municipales, contiene una diversidad de materiales desechadas. En los países en vías de desarrollo la falta de educación ambiental para la segregación en la fuente, y la falta de una disposición final adecuada, todos los desechos llegan a parar en un botadero, donde al degradarse con el paso del tiempo y las condiciones ambientales, lixivian todos los contaminantes en los suelos, contaminando gravemente con metales pesados, nutrientes orgánicos, como bencenos, alifáticos cíclicos.

#### **2.3.1.4. Pasivos ambientales mineros**

Los pasivos ambientales son sitios abandonados, donde anteriormente se desarrollaron actividades económicas. “Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad” (MINAM, 2006, p. 1).

La Ley N° 28271, es la Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, cuyo objeto es la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera, para la remediación de las áreas afectadas, con la finalidad de mitigar sus impactos negativos en el ambiente y la salud, ya que principalmente estos pasivos ambientales son una fuente de emisión de metales pesados que contaminan los suelos.

### 2.3.1.5. Estándar de Calidad Ambiental para suelo en Perú DS - 011-2017-MINAM

El decreto supremo 011-2017-MINAM-Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, según la definición en SINIA (2017) son valores establecidos en la normativa peruana que se guía a la vez de la normativa internacional EPA sobre los niveles elementos o sustancias tanto físicos, químicos y biológicos cuya presencia en el suelo no causa daño a las personas ni al ambiente.

**Tabla 2**

*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo-Material Inorgánico*

Parámetros en mg/kg peso seco	Suelo Agrícola	Usos de suelo		Métodos de ensayo
		Suelo Residencial /Parques	Suelo comercial /Industrial/ Extractivo	
<b>Inorgánicos</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total	750	500	2000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	..	400	1000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo IV	0.4	0.4	1.4	EPA 3060/ EPA 7199 o DIN EN 15192
Mercurio	6.6	6.6	24	EPA 7471 EPA 6020 o 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051

Cianuro libre	0.9	0.9	8	EPA 9013 SEMWW- AWWA- WEF 4500 CN F
---------------	-----	-----	---	---

Fuente: DS 011-2017-MINAM-ECA

Nota: En la tabla 2, observamos que el mercurio para suelos comerciales/industriales/ extractivos ósea en el caso de suelos de explotación minera o pasivos ambientales mineros, la concentración máxima debería ser 24mg/kg de suelo en peso seco. Esta tabla ha sido adaptada de MINAM (2017).

### 2.3.2. El mercurio

Los metales pesados son elementos químicos que tiene alta densidad (mayor a 4 g/cm<sup>3</sup>), masa y peso atómico superior a 20 y pueden ser muy tóxicos hasta en concentraciones muy bajas.

Los principales metales pesados son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn).

Según Londoño et al. (2016) hay metales pesados esenciales para la vida en un rango óptimo, su escasez o exceso son peligrosos, pero existen metales que no son necesarios, que una mínima concentración supone peligro para el ser vivo. Para Reyes et al. (2016) los metales pesados que no son esenciales ni en mínimas concentraciones para el desarrollo de la vida, y que al contrario su presencia supondría un riesgo, son el cadmio, plomo, mercurio y el arsénico.

Otro autor manifiesta que:

El mercurio a temperatura ambiente, es un metal líquido de color blanco brillante, su densidad a 0°C es de 13.595 g/cm<sup>3</sup> y de 13.573 g/cm<sup>3</sup> a 15°C, a -39.4 °C solidifica convirtiéndose en una masa de color blanco estaño maleable, formada por octaedros regulares cuya densidad es de 14.391. Hierve a 357.25 °C, dando vapores incoloros. A pesar de su elevado punto de ebullición, el mercurio ya se volatiliza a temperatura ambiente; por ello, teniendo en cuenta la toxicidad de sus vapores, debe manejarse con cuidado. Es buen conductor del calor y la electricidad. (Baldo, 2005, p. 13)

### **2.3.2.1. Fuentes de emisión del mercurio**

#### **a) Fuentes naturales**

El mercurio “fresco” de origen natural proviene esencialmente de erupciones volcánicas y evaporación de mares. Para Galváo & Corey (1987) citado por Yarto et al. (2009) el mercurio inorgánico se encuentra en la naturaleza, en los siguientes compuestos más comunes:

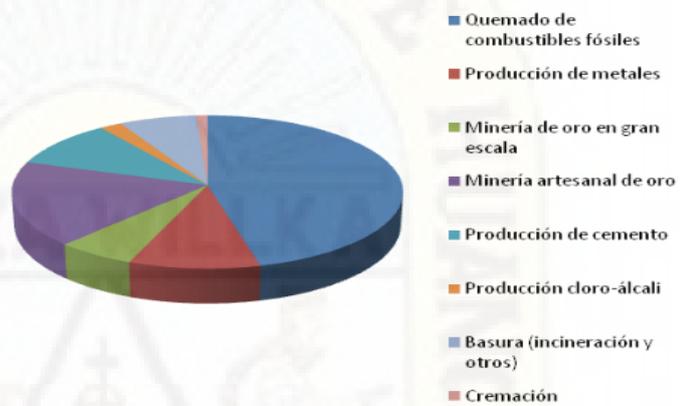
- HgCl : Cloruro mercurioso
- HgCl<sub>2</sub> : Cloruro mercúrico
- HgO : Óxido mercúrico
- HgS : Sulfuro mercúrico (cinabrio)
- Hg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> : Nitrato de mercurio
- HgSO<sub>4</sub> : Sulfato de mercurio
- Hg (ClO<sub>4</sub>) : Perclorato de mercurio
- Hg (CNO)<sub>2</sub> : Cianato de mercurio (fulminato)
- Hg (OH)<sub>2</sub> : Hidróxido de mercurio

## b) Fuentes antrópicas

Según Blesa & Castro (2015) las fuentes antrópicas de mercurio provienen del uso que el hombre le ha dado al elemento y sus compuestos.

**Figura 4**

*Fuentes Antrópicas de Mercurio Global*



Fuente: Blesa & Castro (2015)

En la figura 4, se observa que la inserción del mercurio al ambiente donde se desarrolla la vida, se da mayormente por la quema de combustibles fósiles como los hidrocarburos, y en segundo lugar está la minería artesanal de oro, donde se usa el mercurio como ayudante para la purificación del metal preciado mediante la amalgamación.

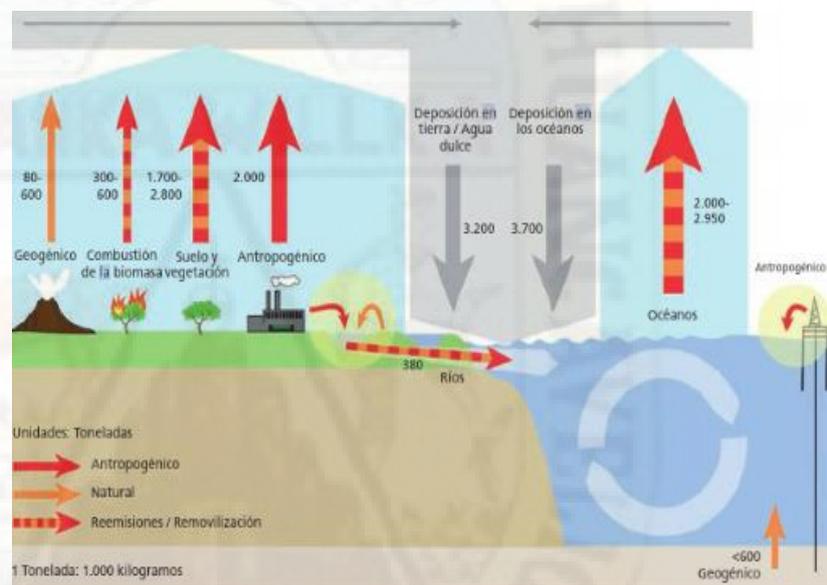
### 2.3.2.2. Ciclo biogeoquímico del mercurio

Según afirma López & Martínez (2018) el mercurio tiene tres pasos básicos en su ciclo biogeoquímico: liberación del mercurio de sus fuentes, transporte y deposición y finalmente su conversión biológica y su acumulación en la biota.

Al ser el mercurio volátil a temperatura ambiente, puede evaporarse fácilmente, llegar a la atmósfera, ser trasladado con el viento hacia otros sitios y devuelto al agua mediante las lluvias, permanecer en el agua y ser absorbido por plantas y animales, proceso al cual se le conoce como bioacumulación.

**Figura 5**

*Principales Rutas y Fuentes de Emisión (En Toneladas) Entre los Compartimentos Ambientales que son de Importancia en el Ciclo Global del Mercurio.*



Fuente: The global Atmospheric Mercury Assessment citado por López & Martínez (2018)

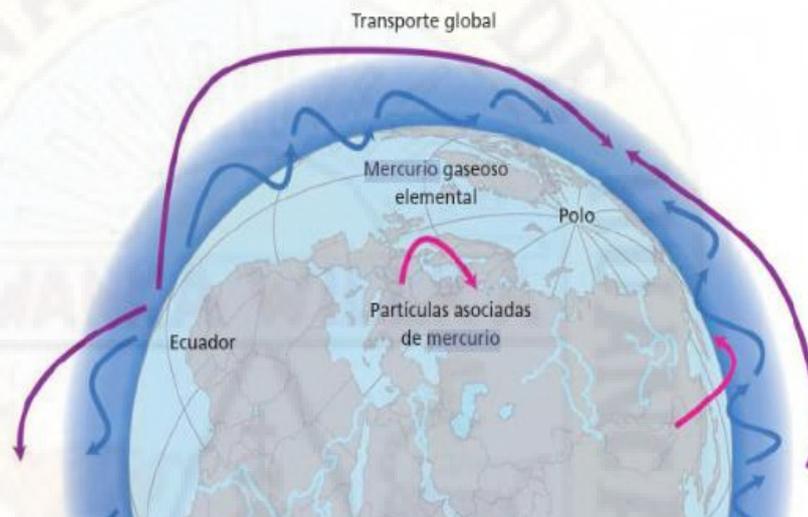
### 2.3.2.2.1. Procesos atmosféricos del mercurio

Los procesos que definen el transporte y destino del mercurio en la atmósfera son básicamente emisiones, transformaciones y transporte y finalmente la deposición. El mercurio se emite a partir de fuentes geológicas y de las superficies terrestres y oceánicas en su forma elemental y por fuentes antrópicas como el  $Hg_0$ , producto de la combustión del carbón. Una vez liberado a la atmósfera, el mercurio

tiene un tiempo de residencia de 6 meses a 1 año, lo que ocasiona su dispersión global y luego se deposita en el suelo o fuentes de agua.

**Figura 6**

*Detalle del Transporte Atmosférico del Mercurio a Nivel Local y Global.*



Fuente: The global Atmospheric Mercury Assessment citado por López & Martínez (2018).

#### **2.3.2.2.2. Ciclo terrestre**

Tras la deposición, una parte del mercurio se revolatiliza a la atmósfera. “Tanto en suelos como en sedimentos, la especie predominante de mercurio es Hg (II), formando parte principalmente de compuestos inorgánicos como HgCl<sub>2</sub>, Hg (OH)<sub>2</sub>, HgS Y HgO” (López & Martínez, 2018, p.75).

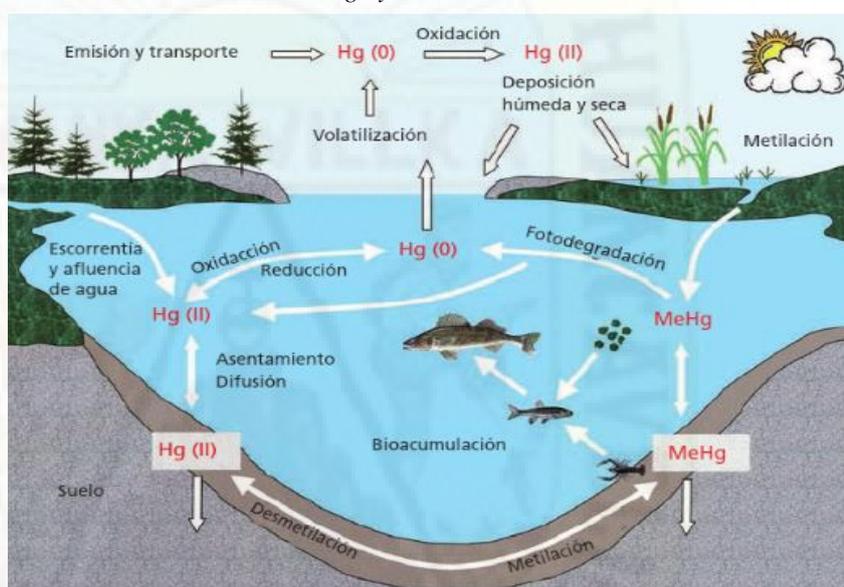
Una pequeña parte reside en la vegetación, donde el mercurio de las partes aéreas de las plantas es principalmente captado del aire. El Hg (II) se deposita sobre las hojas a través de la deposición húmeda y seca, mientras que la captación de Hg<sup>0</sup> se cree que ocurre a través de intercambio de gases en las estomas. Por otro lado, el mercurio en las raíces proviene del suelo.

### 2.3.2.2.3. Ciclo en el sistema acuático

En el agua el mercurio llega a parar en los sedimentos, peces y vida silvestre o vuelve de nuevo a la atmósfera por volatilización. “Las especies químicas de mercurio en los sistemas acuáticos son Hg<sup>0</sup>, Hg (II), MeHg, Hg coloidal y en menor medida Me<sub>2</sub>Hg y EtHg” (López & Martínez, 2018, p. 76).

**Figura 7**

*El Ciclo del Mercurio en un Lago y su Cuenca*



Fuente: Academia Nacional de Ciencias-EE.UU.

### 2.3.2.3. Toxicología del mercurio

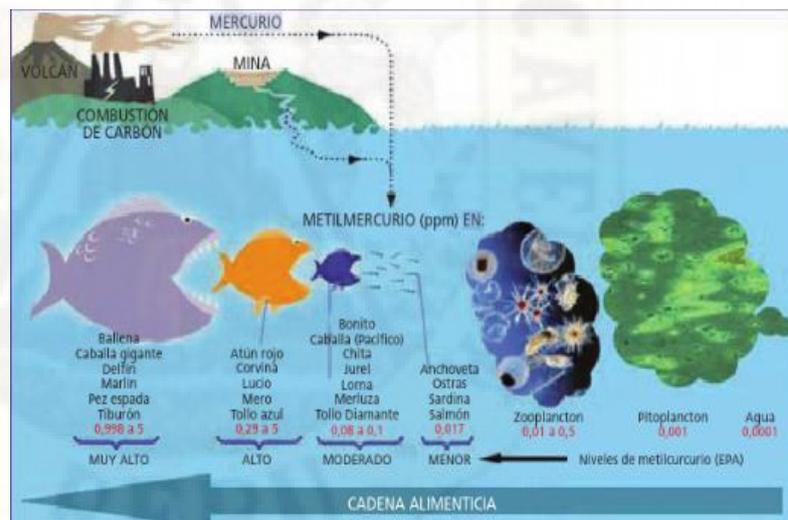
El mercurio, un metal líquido muy tóxico por ser perenne, es estudiado desde diferentes puntos de vista. Para López & Martínez (2018) es difícil establecer la relación entre la cantidad de metal que puede acumular un organismo y la que existe en su hábitat, ya que los niveles no son únicamente resultado de su biodisponibilidad en el medio. Existen una serie de factores, tanto ambientales (pH, salinidad, temperatura, ciclos estacionales) como biológicos (edad, sexo, maduración, tamaño, peso, en el caso de plantas la especie).

La toxicidad de los metales depende de la especie química en la que son introducidos al organismo. En general un compuesto orgánico del metal es más tóxico que un compuesto inorgánico, en el caso del mercurio el más tóxico es el metilmercurio.

Los metales no son biodegradables, por eso son llamadas perennes, tienden a permanecer en el agua asociado a la materia orgánica ya que tiene gran afinidad con el carbono y la consecuencia grave de esto es que al no degradarse se va introduciendo a la cadena trófica como se detalla en el siguiente ejemplo.

**Figura 8**

*Bioacumulación y Toxicidad del Mercurio*



Fuente: Ilustración de Bretwood Higman (adaptación de Osado, Wikimedia Commons).

En la figura 8 se muestra el proceso de bioacumulación. El mercurio al tener afinidad con la materia orgánica es transformado por las bacterias en metilmercurio, y esto es ingerido por el fitoplancton y a continuación por el zooplancton, pasando finalmente a los animales marinos mayores y el hombre como cúspide de la cadena. Los organismos pueden regular

parcialmente los metales, pero los que no pueden ser excretados permanecen en el cuerpo y se acumulan durante toda la vida del individuo.

El proceso del mercurio a través del individuo humano, empieza con la inhalación del mercurio vaporizado e ingresa por las fosas nasales hasta llegar a las venas donde la sangre es contaminando, transformándose el mercurio en Óxido de mercurio (HgO), una sustancia aún más tóxica que ataca al hígado, riñón, corazón haciendo que el sistema nervioso se vuelve vulnerable.

### **2.3.3. Fitorremediación**

Para descontaminar suelos contaminados con metales pesados, la ciencia ha desarrollado métodos físicos, químicos y biológicos.

La fitorremediación es un proceso de descontaminación de tipo biológico que según Sankoumba et al. (2014) es un proceso donde se usan plantas que han evolucionado con la capacidad de desarrollarse con normalidad en suelos contaminados con metales pesados, esta técnica de remediación es más barata y amigable con el ambiente, el único inconveniente es que el tiempo de remediación es prolongada.

Manifiesta Delgadillo et al. (2011) que “la fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes” (p. 2), por lo tanto, en una fitorremediación puede darse un solo proceso, o varios de ellos a la vez.

Una ventaja de la fitorremediación aparte de la que ya se mencionó, es su tratamiento in situ de suelos contaminados que genera un gasto menor al del tratamiento ex situ. Según afirma Domenech & Peral (2012) la fitorremediación es una técnica que aprovecha la capacidad de degradación, extracción y estabilización de las plantas, también mencionan que la

existencia de esta técnica se ha venido dando desde la década de los 80, cuando A. Baumann un botánico alemán encontró que ciertas plantas acumulaban en su sistema altos niveles de Zn.

### 2.3.3.1. Transporte de contaminantes en la planta

Los mecanismos de tolerancia de las plantas hacia los metales pesados, depende del tipo de las plantas y la concentración de los contaminantes

El proceso de incorporación y acumulación de metales pesados se da en tres fases (Navarro *et al.*, 2007).

- **Primera fase:** El transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. “La raíz es el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico” (Delgadillo et al., 2011, p. 4). La raíz tiene cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interactúan con los metales pesados que están en forma de iones de carga positiva, creando un equilibrio permitiendo la entrada del metal pesado hacia el interior de la planta, ya sea por vía apoplástica o simplástica
- **Segunda fase:** Una vez dentro de la planta, “las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos” (Delgadillo et al., 2011, p. 4). Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos cítrico, oxálico y málico, algunos aminoácidos como la histidina y cisteína y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas.
- **Tercera fase:** “Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-

metal queda retenido en la vacuola” (Delgadillo et al., 2011, p. 4).

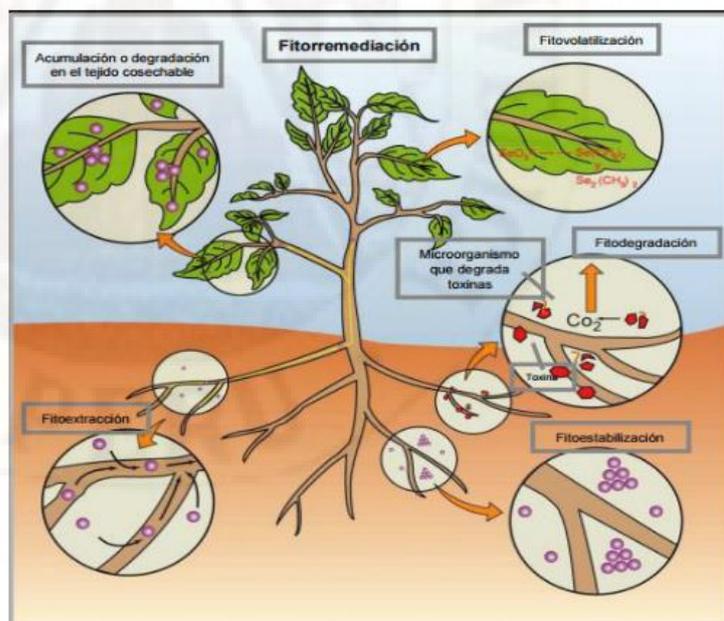
El catión del metal pesado ejerce sobre la planta una acción tóxica debida a su tendencia a formar complejos con distintos ligandos orgánicos que interfieren en las funciones celulares, en reacciones enzimáticas, en el transporte electrónico, en procesos fotosintéticos, etc.

### 2.3.3.2. Mecanismos de fitorremediación

Los siguientes mecanismos de las plantas para la remediación de suelos contaminados son considerados tecnologías de la fitorremediación:

**Figura 9**

*Mecanismos de Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Metales Pesados*



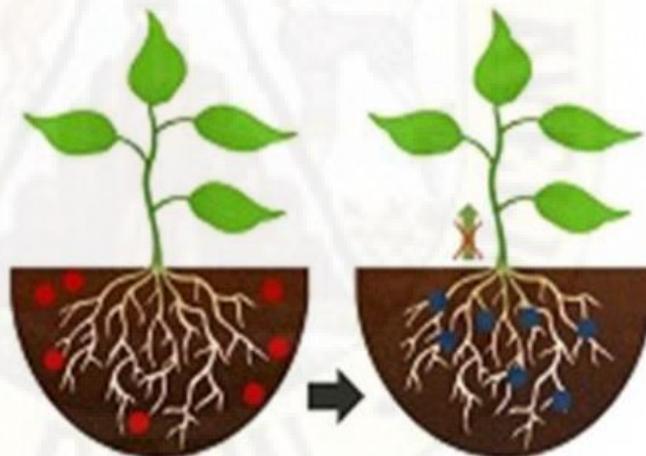
Fuente: Guerrero (2015)

### a) La fitoestabilización

La fitoestabilización permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire. Núñez et al. (2004) afirman que las zonas de las raíces de las plantas se encuentran en constante humedad, por el hecho de hidroafinación de las raíces, esto hace que los metales presentes en el suelo se absorban en las raíces o la materia orgánica de los suelos, limitando así su biodisponibilidad y su migración hacia otras zonas.

**Figura 10**

*Proceso de Fitoestabilización*



Fuente: Brutti et al. (2018)

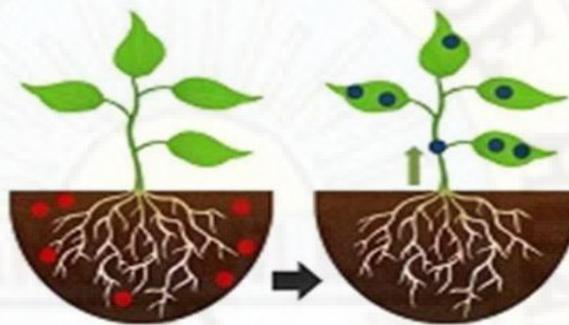
### b) La fitoextracción o la fitoacumulación

Es un mecanismo, donde la biodegradación de compuestos orgánicos extraídos del suelo por la planta, se da gracias a la producción de enzimas de la planta que rompen las moléculas del contaminante.

La fitoacumulación para Núñez et al. (2004) supone la acumulación de los metales pesados en las raíces, tallos, hojas o flores de las plantas como parte de su capacidad desarrollada para sobrevivir en condiciones tóxicas.

**Figura 11**

*Proceso de Fitoextracción*



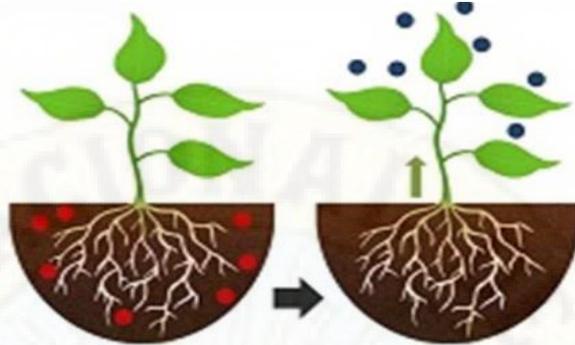
Fuente: Brutti et al. (2018)

### **c) La fitovolatilización**

Según Núñez et al. (2004) existen plantas con la capacidad de volatilizar ciertos metales pesados como mercurio y selenio que están presentes en el suelo, sedimentos o agua. Estos elementos son absorbidos, metabolizados, transportados desde su raíz a sus partes superiores como las hojas y flores y luego son liberados al ambiente en formas volátiles, menos tóxicas y peligrosas.

**Figura 12**

*Proceso de Fitoestabilización*



Fuente: Brutti et al. (2018)

#### **d) La rizofiltración**

Se produce la sorción de contaminantes orgánicos y de cationes metálicos, o bien la precipitación de estos últimos sobre el sistema de raíces.

#### **e) La rizoestabilización**

Los contaminantes quedan inmovilizados en el suelo al ser sorbidos en la superficie de las raíces o bien por precipitación en la rizosfera.

#### **2.3.3.3. Plantas acumuladoras de metales pesados**

Ciertas especies de plantas han desarrollado mecanismos de defensa para sobrevivir en suelos con altos niveles de metales pesados.

La adaptación de estas plantas a su entorno tóxico, también depende de la concentración y estado de los metales pesados, así como de las características físicas, químicas y biológicas del suelo como el pH, la humedad, la conductividad eléctrica, la disponibilidad de nutrientes, etc.

Se han identificado alrededor de 415 especies de plantas hiperacumuladoras distribuidas en 45 familias botánicas con capacidad para acumular selectivamente alguna sustancia. Los hiperacumuladores son especies capaces de acumular metales a niveles de 100 veces más que aquellos típicamente medidos en retoños de plantas no acumuladoras comunes. Un hiperacumulador concentrará más de 10  $\mu\text{g/g-1}$  Hg; 100  $\mu\text{g/g-1}$  Cd; 1000  $\mu\text{g/g-1}$  Co, Cr, Cu, y Pb; 10 000  $\mu\text{g/g-1}$  Zn y Ni. (Marrero et al., 2012, p. 5)

#### 2.3.3.3.1. La ortiga (*Urtica urens*)

La ortiga según Osca (2019) es una plántula erecta con hojas dentadas opuestas al tallo, y tanto el tallo como las hojas están cubiertas de pelos urticantes. Rodríguez (2015) menciona que, de la familia urticáceas, la más abundante es la *Urtica diótica* o conocida como ortiga mayor o verde, cuya altura varía de entre 50 y 150 cm, y la *Urtica urens* conocida como ortiga menor es la segunda en abundancia, aunque es más urticante que la primera.

**Figura 13**

La Ortiga Menor *Urtica urens*



Fuente: Osca (2019)

**a. Clasificación taxonómica**

Reino	: <i>Plantae</i>
Subreino	: <i>Filo Tracheophyta</i>
División	: <i>Magnoliophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliopsida</i>
Subclase	: <i>Dicotyledones</i>
Orden	: <i>Rosales</i>
Familia	: <i>Urticáceas</i>
Subfamilia	: <i>Urereae</i>
Género	: <i>Urtica</i>
Especie	: <i>Urtica urens</i>
Nombre común	: Ortiga menor, Pringamoza

**b. Hábitat**

Es una planta nitrófila, presente en casi todas partes, por ello se le considera como mala hierba. Se hallan en los continentes de Asia, Europa y América, generalmente en zonas donde se desarrolla de ganadería

Es una especie herbácea que crece en zonas drenadas, en suelos franco limosos, puede soportar suelos con pH ácido, o muy alcalinas, pero su rango normal oscila entre 6.8 a 7.2. Detalla Perez (2012) que estas plantas deben estar expuestas al sol y no toleran las fuertes heladas.

**c. Desarrollo fenológico**

Según Blasco (2004) la ortiga menor crece de unos 10 a 40 cm, con tallos erectos, es una hierba de campo cuya característica principal es poseer en sus hojas y tallo pelos urticantes, ya que

posee un líquido urticante que según Porcuna (2010) contiene ácidos orgánicos, histamina y acetilcolina que provocan escozor o ardor al contacto con la piel. Sus hojas son ovaladas y dentadas y posee más flores femeninas que masculinas.

Según Blasco (2004) florece de marzo hasta octubre, sus flores tienen ovarios o estambres o ambas cosas, generalmente con cáliz y corola. Sus semillas están contenidas en frutos.

#### **d. Usos**

Es una planta que se usa como medicina tradicional generalmente. Tiene los mismos usos terapéuticos y nutricionales que la ortiga mayor (*Urtica dioica*), aunque en homeopatía se utiliza esta especie para tratar quemaduras, como diurética y acrecentar la leche de las mujeres que amamantan. También en algunos países lo preparan en alimentos.

#### **e. Uso de la ortiga en la fitorremediación**

Ya que fue usado desde hace mucho tiempo para fines medicinales, y por conocerse que esta planta es resistente a sitios contaminados, Jara-Peña et al. (2014) evaluaron la capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas, en la cual la *Urtica urens* obtuvo mayores valores de acumulación de plomo, zinc y cadmio en las raíces con el tratamiento de 100% de relave de mina.

Si se acumula en mayor cantidad en la raíz, esto es un proceso de fitorremediación llamado fitoestabilización.

Afirma Mentaberry (2011) que la *Urtica diótica* o conocida como ortiga mayor es una planta típica empleada en el proceso de fitoextracción, ya que posee estas características necesarias para la fitoextracción de metales ( $Cd^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr^{2+}$ ,

Ni<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Se<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) tales como acumulación y tolerar altas cantidades de metales pesados en tallos, hojas y raíces, alta tasa de crecimiento, producción de un gran volumen de biomasa.

#### 2.3.3.3.2. Quelite (*Amaranthus hybridus*)

Es una plántula que crece anualmente y según la página web del herbario de la Universidad Pública de Navarra-UPN (2019) puede llegar a medir de 20-100 cm, en algunos casos llega a alcanzar los 2 metros de altura. Es considerada como mala hierba en muchos lugares y crece en lugares nitrófilos

**Figura 14**

*Plántula de Amaranthus hybridus*



Fuente: Perez (2012)

#### a. Clasificación taxonómica

Reino	: <i>Plantae</i>
Subreino	: <i>Tracheobionta</i>
División	: <i>Magnoliophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliophyta</i>

Subclase	: <i>Caryophyllidae</i>
Orden	: <i>Caryophyllales</i>
Familia	: <i>Amaranthaceae</i>
Subfamilia	: <i>Amaranthoideae</i>
Género	: <i>Amaranthus</i>
Especie	: <i>Amaranthus hybridus</i> L.
Nombre común	: Moco de Pavo, Quelite

#### **b. Hábitat**

Generalmente su hábitat es en lugares templados, de suelos nitrófilos, húmedos y con alta carga de materia orgánica, es ahí donde llega hasta los 2 metros de altura. “Especie originaria de América tropical y subtropical, aunque actualmente de distribución subcosmopolita, presente en casi todas las regiones cálidas y templadas del mundo” (Sanz et al., 2004, p. 1).

#### **c. Desarrollo fenológico**

Según Sanz et al. (2004) el *Amaranthus hybridus* es una hierba de tallo erguido de un metro de altura de promedio, sus hojas son ovado-rómbicas a ovado-lanceoladas de 1.6 cm de ancho a 2 cm de largo aproximadamente. Sus flores generalmente son pentámeras, con bractéolas membranosas de 2.5-4.5 mm, sus semillas miden de entre 0.9-1.4 mm, lenticulares de color negro brillante y según afirma Capdevilla et al. (2011) el *Amaranthus* florece de junio a noviembre, es decir a finales del verano y principios de otoño en el hemisferio norte.

**d. Usos**

No tiene ningún uso, es considerada como mala hierba y un problema económico para los agricultores.

**e. Uso del Quelite en la fitorremediación**

Señalan Capdevilla et al. (2011) que el *Amaranthus hybridus* es bastante resistente a la contaminación, la salinidad, la sequía, la inundación, a las altas temperaturas, heladas, a la insolación y al sombreado intenso. Estas características han hecho que el *Amaranthus hybridus* cobre cierta importancia en el campo de la fitorremediación, ya que solo se le veía como una planta invasora en la agricultura, una plaga en otras palabras.

## 2.4. Definición de términos

- **Absorción.** Paso de agua y de sustancias en ella disueltas al interior de una célula o de un organismo (Antelo & Solorzano, 2010).
- **Adsorción.** Adherencia por unión química o física de un contaminante a una superficie sólida (Antelo & Solorzano, 2010).
- **Bioconcentración.** Capacidad de algunos compuestos químicos de concentrarse (incrementar progresivamente su cantidad acumulada) en tejidos de algún organismo vivo sin causarle un daño evidente. Esta característica es típica de muchos organismos acuáticos; por ella, magnifican el problema y ponen al tóxico en situación de disponibilidad para el resto de la cadena trófica, en el curso de la cual el proceso de concentración continúa (Carrasquero, 2015).
- **Estándar de calidad ambiental (ECA).** Es 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. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos, según lo establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM.
- **Fitodegradación.** Se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (Brutti et al., 2018).
- **Fitoestabilización.** Este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestro, lignificación o humidificación (Brutti et al., 2018).
- **Fitoextracción o fitoacumulación.** En esta estrategia se explota la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces,

tallos o follaje, las cuales pueden ser fácilmente cosechadas (Brutti et al., 2018).

- **Fitorremediación.** Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, reactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas (Melgarejo, 2010).
- **Fitovolatilización.** Algunas plantas son capaces de volatilizar ciertos contaminantes, como mercurio y selenio, contenidos en suelos, sedimentos o agua (Brutti et al., 2018).
- **Intercambio iónico.** Reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. Este proceso tiene lugar constantemente en la naturaleza, tanto en la materia inorgánica como en las células vivas (Jemio, 2017).
- **Relave.** El relave es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico (Hernández, 2016).
- **Suelo contaminado.** Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.
- **Toxicidad.** La propiedad que tiene una sustancia, elementos o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo (Carrasquero, 2015).

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis General

Las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* son eficaces con un porcentaje de remoción mayor a 60% en la fitorremediación de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.

### 2.5.2. Hipótesis Específicas

- a. La especie *Urtica urens* es el mejor tratamiento en la fitorremediación en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.
- b. La altura del tallo de la *Urtica urens* varía por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.
- c. La altura del tallo del *Amaranthus hybridus* varía por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.
- d. Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.

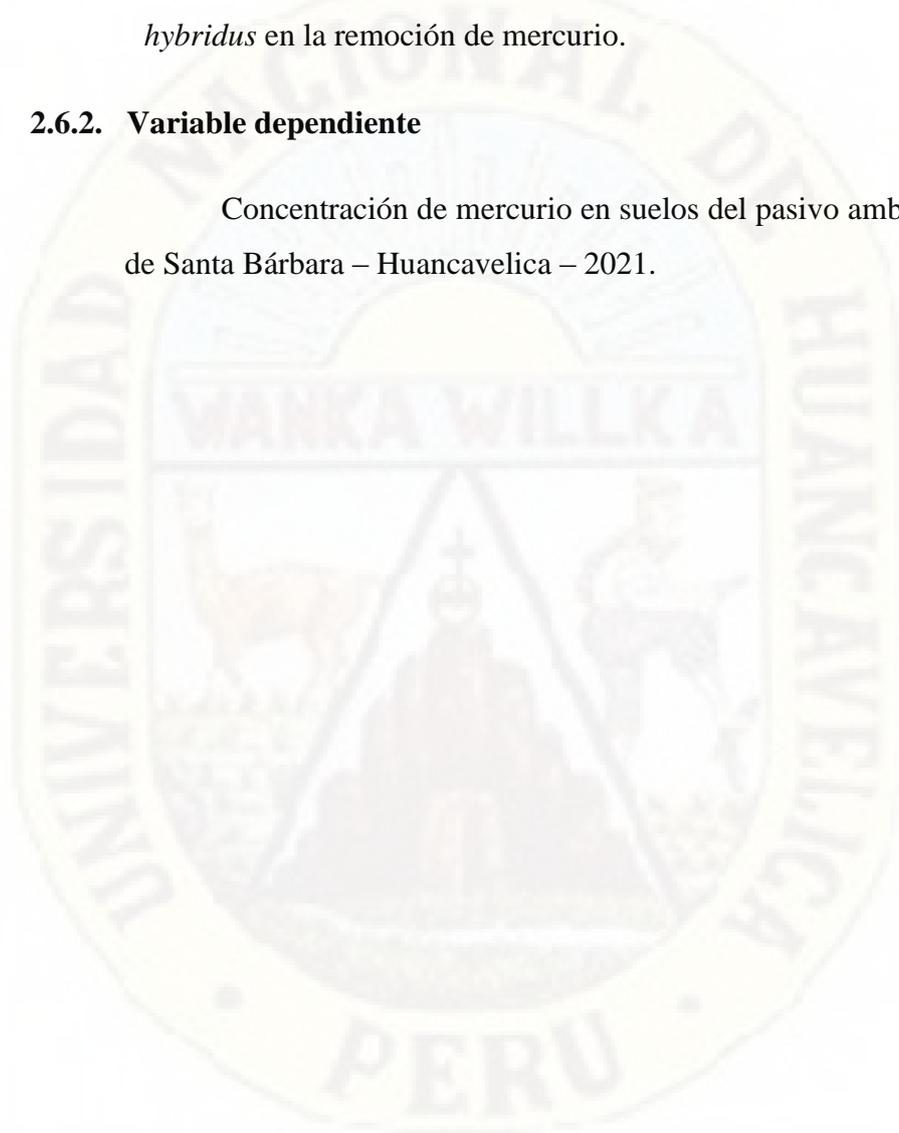
## **2.6. Variables**

### **2.6.1. Variable independiente**

Fitorremediación con las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio.

### **2.6.2. Variable dependiente**

Concentración de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.



## 2.7. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de Variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala de Medición	Unidad de Medida	Instrumento
Fitorremediación con las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio.	Según Galán & Romero (2005) la fitorremediación es la capacidad para reducir concentraciones de contaminantes como el mercurio presente en el suelo y tolerancia de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> en suelos con dicho contaminante.	Se realizará un seguimiento del desarrollo fenológico de las especies vegetales <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> , y de las concentraciones de mercurio en los tejidos vegetales, así como la evaluación de los parámetros fisicoquímicos del suelo realizando análisis de mercurio y su variación.	Variación de la altura del tallo de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> .	Crecimiento de altura del tallo	De razón	cm (centímetros)	Regla
				$\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$	De razón	%	
				C inicial – C final	De razón	mg/Kg	Espectrofotómetro de absorción atómica

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala de Medición	Unidad de Medida	Instrumento
Concentración de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.	De acuerdo a Benavente et al. (2007) el mercurio es un contaminante tóxico que puede viajar largas distancias por la atmósfera y se deposita lejos de su fuente original, donde las bacterias lo absorben y lo convierten en una forma muy tóxica.	Se tomarán las muestras de suelo contaminado por mercurio del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara, donde se procederá a analizar el mercurio presente en el suelo en dos etapas; antes y después de aplicar el tratamiento de fitorremediación cuya duración será de 5 meses.	Concentración de mercurio en el suelo.	Mercurio inicial	De razón	mg/Kg	Espectrofotómetro de absorción atómica
				Mercurio final	De razón	mg/Kg	
				pH	De intervalo	Unidades de pH (1 – 14)	Peachímetro
				Conductividad eléctrica	De razón	µS/cm	Conductímetro
				Temperatura	De intervalo	°C	Termómetro digital

Fuente: Elaboración propia

# **CAPÍTULO III**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Ámbito temporal y espacial**

#### **3.1.1. Ámbito temporal**

El desarrollo de esta propuesta de investigación se llevó a cabo en los meses de mayo a octubre del año 2021. En este periodo de tiempo mencionado se tomó las muestras de suelo del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara y se realizó el monitoreo de la fitorremediación en los dos tratamientos.

#### **3.1.2. Ámbito espacial**

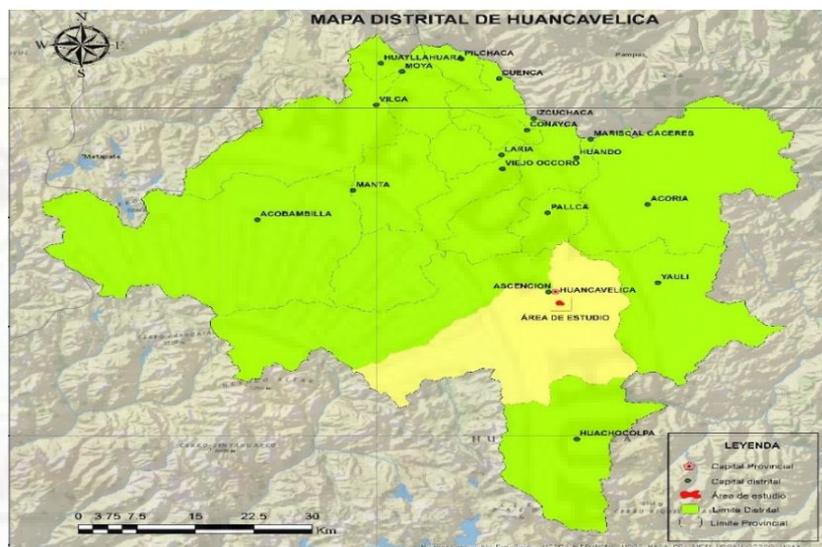
El presente trabajo de investigación se realizó en la departamento, provincia y distrito de Huancavelica, en específico en la comunidad campesina de Santa Bárbara, pasivo ambiental minero de Santa Bárbara.

##### **3.1.2.1. Ubicación del área de estudio**

El pasivo ambiental minero de Santa Bárbara, se encuentra ubicada en el cerro Chaclatacana a 3 kilómetros de Huancavelica. El mapa de ubicación del proyecto se muestra en los Apéndices 3.

**Figura 15**

*Mapa de Ubicación del Área de estudio en el Pasivo Ambiental Minero de Santa Bárbara-Huancavelica*



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.2. Ubicación geográfica

Está localizada entre las coordenadas UTM:

- Latitud : 12°48'24.66" S
- Longitud : 74°57'57.80" O
- Altitud : 4261 msnm.

### 3.1.2.3. Ubicación política

- Departamento : Huancavelica
- Provincia : Huancavelica
- Distrito : Huancavelica
- Centro poblado: Comunidad de Santa Bárbara

#### **3.1.2.4. Clima y temperatura**

- Temperatura máxima media: 20 °C
- Temperatura mínima media: -15 °C
- Temperatura promedio anual: 14 °C
- Clima: Frío y Seco
- Precipitación promedio: 860 mm (diciembre a marzo).

Es característico de la Sierra, completamente variado, frío desde los 3800 msnm y tibios en la quebrada. Los vientos dominantes son alisios, lluvias torrenciales acompañadas de granizo, nieve y descargas eléctricas. Se distinguen dos estaciones perfectamente marcadas, una lluviosa y templada, de octubre a marzo y la otra seca e invernal de abril a Setiembre, caracterizadas por un sol radiante durante las primeras horas del día y por heladas penetrantes por la noche.

### **3.2. Tipo de investigación**

La presente investigación es aplicada, ya que se orienta a resolver problemas de contaminación del suelo, producto de la minería y actividad humana. Según Bueno (2003) se denomina aplicada porque en base a la investigación básica, se formulan problemas e hipótesis que permitirán resolver los problemas que genera la vida productiva de la sociedad.

Este tipo de investigación surge de la necesidad de mejorar la calidad de los suelos provenientes del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara.

### **3.3. Nivel de investigación**

Nivel explicativo o experimental: Explica el comportamiento de una variable en función de otras; por ser estudios de causa efecto requieren control y deben cumplir otros criterios de causalidad.

De acuerdo a Marroquín (2012) el control estadístico es multivariado a fin de descartar asociaciones aleatorias, causales o espurias entre la variable independiente y dependiente.

### **3.4. Método de investigación**

En el presente estudio se usó el método experimental.

El experimento es el método de estudio, en el cual el investigador genera una situación de control donde manipula tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes), que son de utilidad en la investigación (Hernández et al., 2014).

### **3.5. Diseño de investigación**

El presente trabajo tiene un diseño de investigación experimental completamente aleatorio, ya que se pretende medir de manera indirecta mediante análisis de laboratorio la interacción que tiene la variable independiente (especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus*), sobre la variable dependiente (suelos contaminados con mercurio).

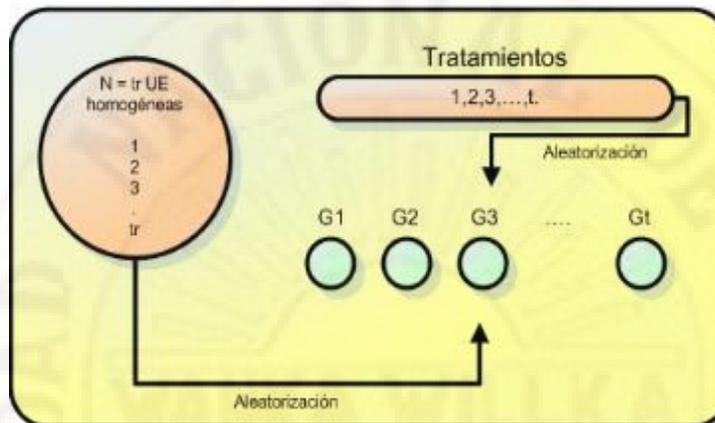
Este tipo de diseño se basa en la aleatorización que permite la validación del error experimental, evita sesgos y garantiza la independencia de los errores.

Según M. Reyes (2009) cuando el experimentador ha decidido arreglar el material experimental bajo un diseño completamente aleatorio con igual número de réplicas por tratamiento, se supone que se tienen número de unidades experimentales homogéneas y tratamientos.

El número de unidades experimentales se dividen en grupos de unidades experimentales.

**Figura 16**

*Procedimiento de Aleatorización*



Fuente: M. Reyes (2009).

**Tabla 4**

*Características por Tratamiento del Diseño de Investigación*

<b>Características del tratamiento</b>	
Número de Tratamientos (T)	2
Número de Repeticiones (R)	3
Número de testigos	3
Número de muestras en blanco	6
Unidades experimentales ((T+1) x R)	9
Unidades experimentales total	15

Fuente: Elaboración propia

Los tratamientos fueron diseñados de la siguiente manera:

- Una matriz A con suelos contaminados con  $Hg > ECA$ , para lo cual se aplicó el tratamiento con *Amaranthus hybridus* con tres repeticiones (celda A1, A2 y A3) y el tratamiento con *Urtica urens* (A4, A5 y A6).
- Una matriz B con suelos con  $Hg < ECA$ , para lo cual se aplicó el tratamiento con *Amaranthus hybridus* con tres repeticiones (B1, B2 y B3) y el tratamiento con *Urtica urens* (B4, B5 y B6).
- Una matriz C con suelos contaminados con  $Hg > ECA$  con tres repeticiones (celda C1, C2 y C3) como muestras testigo que no fueron tratadas con ninguna especie de plantas.

Ver Apéndice 3 (figura 59) para mayor detalle del diseño experimental de la investigación.

**Tabla 5**

*Especificaciones Técnicas del Diseño de Investigación de la Variable Independiente (Amaranthus hybridus y Urtica urens)*

Especificaciones	Especies	
	<i>Amaranthus hybridus</i>	<i>Urtica urens</i>
<b>Época de siembra</b>	La siembra se realizó en el mes de mayo.	La siembra se realizó en el mes de mayo.
<b>Modo de siembra</b>	Se realizó en unos maceteros de 60cm x 60cm x 60cm mediante trasplante de plántulas que se recolectarán en su hábitat natural en su primera etapa de desarrollo.	
<b>Cantidad de plantas a sembrar</b>	Cada macetero tuvo 4 plántulas y en total se contó con 12 plantas (3 repeticiones).	Cada macetero tuvo 4 plántulas y en total se contó con 12 plantas (3 repeticiones).
<b>Distanciamiento entreplanta y planta</b>	Entre planta y planta hubo una distancia mínima de 15 cm.	Entre planta y planta hubo una distancia mínima de 15 cm.
<b>Tiempo de desarrollo fenológico</b>	El <i>Amaranthus hybridus</i> es una planta anual que desde el momento de su siembra en los maceteros tuvo cinco meses de desarrollo.	La <i>Urtica urens</i> es una planta anual endémica de la zona de estudio. Tuvo cinco meses de desarrollo.

Fuente: Elaboración propia

## **3.6. Población, muestra y muestreo**

### **3.6.1. Población**

La población de estudio estuvo representada por un total de 81.38 ha del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara.

Está conformado por dos zonas:

Zona 1: Área de influencia directa (tajo abierto) que equivale a 19.71 ha.

Zona 2: Área de influencia indirecta (buffer de 200 m de la zona 1) que equivale a 61.67 ha.

### **3.6.2. Muestra**

La muestra es, según Hernández (2014) un subconjunto y parte representativa de la población, ya que comporten las mismas características con una fiel representación del conjunto población.

La determinación de la muestra para nuestro estudio fue de completamente aleatorio donde “la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador” (Hernández, 2014, p.209), por ende, sus resultados no podrán ser generalizados a nivel de la población.

Para este estudio, la muestra fue representada por 45 puntos de muestreo dentro del área de estudio (población).

### **3.6.3. Muestreo**

El muestreo fue de tipo no probabilístico, ya que los puntos de muestreo fueron seleccionados por conveniencia.

El pasivo ambiental minero de Santa Bárbara tiene un terreno escarpado, irregular y bastante heterogénea, por ende, no todas las unidades

de área que conforman tienen la misma posibilidad de ser elegidos y no serán representativos de la población.

El procedimiento correcto del muestreo está en base a la Guía para el Muestreo de Suelo-2014 del Ministerio de Ambiente del Perú. Ver Apéndice 2.

Para el caso de este estudio, se realizaron muestreos en dos etapas. En la primera etapa el muestreo se realizó en campo para recolectar suelo contaminado para ser tratado ex situ. En la segunda etapa se extrajo pequeñas muestras de suelo ya remediado para su posterior análisis en laboratorio.

#### **3.6.3.1. Muestreo de suelo contaminado**

##### **a. Tipo de muestreo**

El tipo de muestreo fue de Identificación (MI); un tipo de muestreo, que según MINAM (2014) es básico, donde el principal objetivo es localizar o dimensionar el área contaminada, además de determinar si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental.

##### **b. Técnica de muestreo**

Se empleó la técnica para muestras superficiales y según la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM, para el caso de suelos de uso agrícola la profundidad de excavación para el recojo de muestras varía de 0 cm a 30 cm, o de 30 cm a 60 cm.

Para este estudio, el área de estudio estuvo dividido en dos zonas. La zona uno fue considerado como zona de impacto directo y la zona dos como zona contigua a la zona

de impacto directo, que se determinó a través de un buffer de 200 m alrededor de la zona 1.

En la zona 1 (área de influencia directa) de estudio, las dimensiones de los puntos de muestreo fueron de 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 45 cm de profundidad. En la zona 2 (área de influencia indirecta) los puntos de muestreo fueron de 30 cm de largo, 30 de ancho y 30 cm de profundidad.

**c. Determinación de puntos de muestreo**

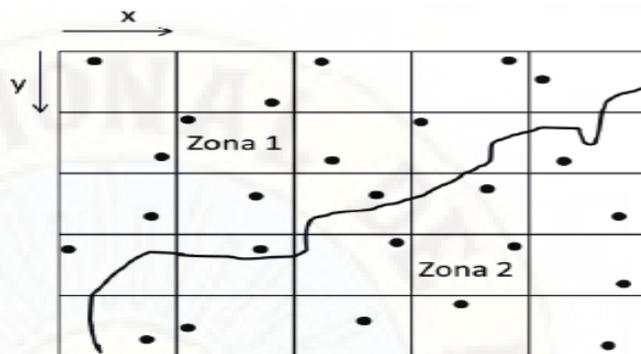
En la Guía para el Muestreo de Suelo, se muestra una tabla para determinar el número mínimo de puntos para Muestreo de Identificación (MI) de acuerdo al área del terreno a estudiar. En la tabla se especifica que para 100 ha corresponde 50 puntos de muestreo como mínimo. En este caso nuestra área de estudio abarcó unos 81.38 ha, por ende, se determinó 45 puntos de muestreo. Ver Apéndice 3.

**d. Patrones de muestreo para definir localización de puntos de muestreo de suelos contaminados**

La ubicación de los puntos de muestreo se realizó a través de un método estadístico denominado Aleatorio Sobre Rejilla Regular.

**Figura 17**

*Ubicación de Puntos de Muestreo por el Método Aleatorio Sobre Rejilla Regular*



Fuente: MINAM (2014)

Dimensión de la malla: 135 m X 135 m establecida por criterio. Dentro de cada celda hubo un punto de muestreo, para obtener 45 puntos de muestreo.

#### **e. Manejo de muestra**

Para el análisis del metal mercurio en una muestra de suelo, la muestra se guardó en un recipiente especial; bolsa ziploc recomendado por el laboratorio. Esta muestra se preservó a 4 °C y el tiempo máximo de su conservación es de 14 días.

La muestra contó con un etiquetado correcto, una ficha de muestreo y una cadena de custodia correctamente establecida.

### **3.6.3.2. Muestreo de suelo tratado para comprobación de la remediación**

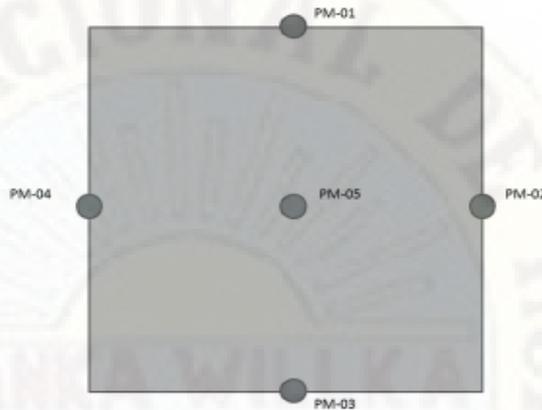
#### **a. Tipo de muestra**

El muestreo fue de tipo de Comprobación de la Remediación (MC), para área de contaminación regular

menor a 1000 m<sup>2</sup>, donde el diseño para la extracción de la muestra se detalla a continuación en la siguiente imagen:

**Figura 18**

*Esquema para la Extracción de Muestra de Suelo*



Fuente: MINAM (2014)

En la figura 18 se muestra el esquema para ubicar los puntos de donde se extraerán las muestras de suelo para comprobar su remediación. En área regular de forma cuadrada se sacan una muestra de cada pared y una en el fondo, haciendo un total de 5 muestras.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.7.1. Técnicas de recolección de datos**

##### **a) La observación**

La observación es una técnica de recolección de datos, que según Hernández (2014) sirve para hacer un registro ordenado, válido y confiable sobre sucesos o situaciones observables.

Esta técnica nos acompañó a lo largo de la investigación, desde las observaciones en campo para el muestreo de suelo contaminado y en el desarrollo de la fitorremediación.

## **b) El fichaje**

Esta técnica fue empleada para la recolección de información de campo (muestreo de suelo contaminado y remediación) y laboratorio.

## **c) La experimentación**

Esta técnica se empleó en el proceso de fitorremediación y en la evaluación de la concentración del mercurio.

### **3.7.2. Instrumentos de recolección de datos**

#### **a. Guía de observación**

Es un instrumento elaborado que contiene dos puntos importantes, por un lado, está el espacio para registrar las anotaciones descriptivas sobre lo que observamos y, por otro lado, están las interpretaciones de las anotaciones.

#### **b. Hoja o Ficha de registro de datos**

El instrumento de recolección de datos fue la ficha de campo (fichas de muestreo, cadena de custodia, etc.) y la ficha de laboratorio (fichas técnicas). Este instrumento fue muy útil ya que permitió que todos los datos importantes queden registrados de manera sistemática.

### **3.7.3. Instrumentos mecánicos y electrónicos**

#### **3.7.3.1. Instrumentos de campo**

- a. Gps Map 64X Series** con tipo de batería NiMH o dos pilas AA (alcalinas de 1,5 V o inferior, NiMH o litio), con duración de batería de 16 horas, distancia de seguridad de la brújula 17,5 cm (7 in), protocolo/frecuencia inalámbrica 2,4 GHz a 0 dBm nominales.

La medición de los puntos de muestreo realizó con un rango de error de +/-3 metros.

- b. Multiparámetro Medidor Digital 4 en 1 PH TDS EC Temp Calidad de Agua SKU: 1126** con un rango de medición: pH: 0.00-14.00pH; TDS: 0-19990ppm; CE: 0-19990 $\mu$ S / cm, resolución: 0.01 pH; 1ppm; 1 $\mu$ S / cm; 0.1 °C; 0.1 ° F, precisión: pH: +/- 0.01 pH; TDS / CE: +/- 2%,Temp 0.1-60.0 °C; 32.0-140.0 ° F y Calibración: pH: calibración automática de tres puntos (6.86 y 4.00 y 9.18pH); TDS: 1413  $\mu$ S / cm; CE: 1413  $\mu$ S / cm.
- c. Termómetro ambiental con base de madera** para pared de 20cm X 3.5cm, rango de temperaturas: -40 a 50 °C // -30 a 120 °F.
- d. Balanza Tipo Romana** con aguja portátil Colgante Gancho de pesca de 5 Kg con un error de +/- 0.0025 Kg.
- e. Regla**

### 3.7.3.2. Instrumento de laboratorio

Espectrofotómetro de absorción atómica (Laboratorio acreditado R-LAB).

El laboratorio R-Lab SAC, donde se mandaron a realizar los análisis está acreditado por INACAL con base en la norma NTP-ISO/IS 17025:2017, requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

**Tipo de ensayo:** Mercurio

**Norma de referencia:** Código EPA METHOD 74718B Revisión 2 February, título Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique).

**Año de versión de edición:** 2007

### **3.8. Técnica y procesamiento de análisis de datos**

Los datos obtenidos en campo como los parámetros físicos-químicos del suelo (pH, conductividad eléctrica, temperatura), los datos obtenidos del crecimiento y desarrollo de las plantas remediadoras y los datos obtenidos en laboratorio acerca de la concentración del mercurio en las diversas etapas del tratamiento, fueron ordenados en el software de cálculo Microsoft Excel.

Para el procesamiento y análisis estadístico de los datos de campo y laboratorio se trabajó con la estadística descriptiva, como las medidas de tendencia central y medidas de dispersión, distribución de frecuencias y representaciones gráficas, se usó el programa estadístico Minitab y Microsoft Excel.

### **3.9. Descripción de la prueba de hipótesis**

Para el análisis estadístico inferencial se trabajó con un nivel de significancia al 95%, con el apoyo del programa estadístico Minitab y Microsoft Excel. Primero se verificó que el conjunto de datos se ajusta a una distribución normal para aplicar un estadístico de prueba paramétrica que se detalla continuación.

Se aplicó una prueba estadística par el objetivo general y objetivos específicos como se detalla a continuación:

Para la hipótesis general se aplicó la prueba estadística de T de Student para proporciones.

Para la hipótesis específica **a** se aplicó la prueba estadística de T de Student para 2 muestras independientes.

Para la hipótesis específica **b** se aplicó la prueba estadística de T de Student para 2 muestras independientes.

Para la hipótesis específica **c** se aplicó la prueba estadística de T de Student para 2 muestras independientes.

Para la hipótesis específica **d** se aplicó la prueba estadística de T de Student para una muestra.



# CAPÍTULO IV

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Presentación e interpretación de datos

Se presenta los resultados para el objetivo general y específicos. El proceso de obtención de datos, estuvo constituido de la siguiente manera, se acondicionó las dos especies de plantas en maceteros independientes con una matriz A con suelos contaminados con Hg>ECA del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara, otra matriz B con suelos con Hg<ECA (suelo orgánico sin concentraciones altas de mercurio) y una matriz C con suelos contaminados con Hg>ECA del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara (sin especies de plantas). El monitoreo del mercurio se realizó al inicio y al termino de los tratamientos contando con 5 meses de tratamiento, empezando en 04 de junio del 2021 y culminando el 15 de octubre del 2021.

#### 4.1.1. Descripción de los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros de control se monitorearon semanalmente, en ella se midieron el pH, conductividad eléctrica y la temperatura.

##### 4.1.1.1. Temperatura del ambiente

El registro de la temperatura del ambiente en el que se encuentran las especies fitorremediadoras es de suma importancia ya que influye en el desarrollo y crecimiento de las plantas de igual manera el mercurio expuesto a altas temperaturas tiende a volatilizarse; a continuación, se presentan los datos de temperatura (véase tabla 6).

**Tabla 6**

*Valores Máximo, Mínimo y Promedio de la Temperatura Ambiental*

<b>Valores</b>	<b>Temperatura ambiental (°C)</b>
Mínimo	6.9
Máximo	13.3
Media	10.4

Fuente: Elaboración propia

Nota: En la figura 19 se aprecia el comportamiento de la temperatura; la mediación se realizó en tres horarios 08:00 horas, 12 horas, y 16 horas cada dos días, esto para notar la variación de las temperaturas mínimas y máximas que puede alcanzar.

**Figura 19**

*Temperatura Ambiental en el Lugar de las Especies Fitorremedadoras.*



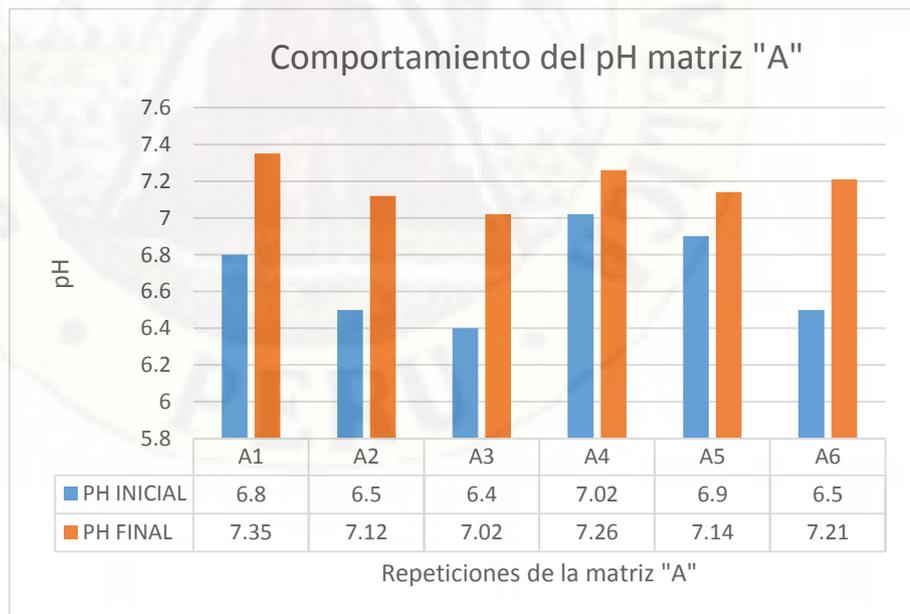
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.2. pH del suelo

De igual manera se procedió a medir el pH del suelo tanto en la matriz A, B y C para verificar el comportamiento de este; usualmente el pH de suelos para que se desarrollen las plantas suele estar en un rango de 6.5 a 8.5, esto para garantizar que las plantas se desarrollen y el tratamiento de fitorremediación sea más eficaz. Es por ello que se consideró que al sembrar las dos especies estas tendrán un suelo estable para poder desarrollarse satisfactoriamente, después de los 5 meses de tratamiento se verifico que el pH final del suelo se ha establecido en las 03 repeticiones, asimismo este resultado nos indica que el pH del suelo sigue siendo favorable para el desarrollo de las especies.

**Figura 20**

*Comportamiento del pH Matriz "A"*



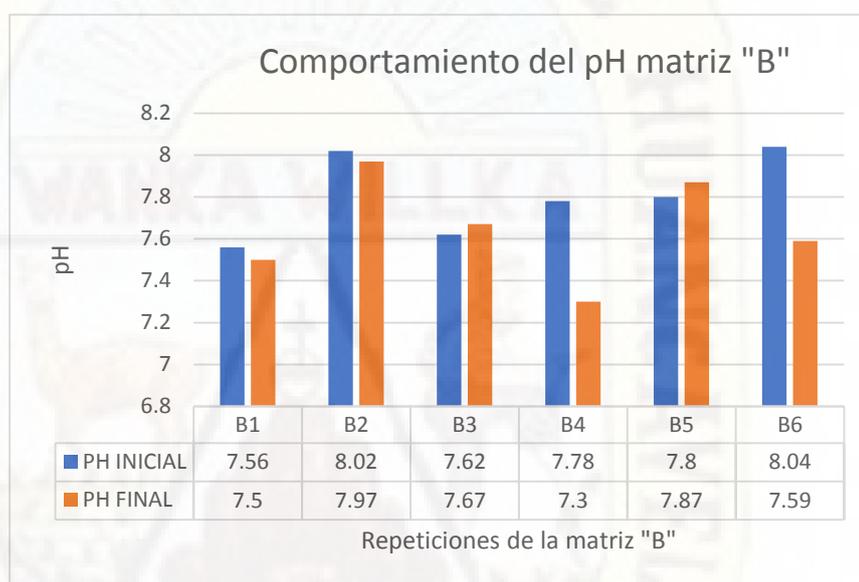
Fuente: Elaboración propia

Nota: En la figura 20 se evidencia el comportamiento de la matriz "A" que son del suelo contaminado teniendo valores de pH inicial

mínimo de 6.5, máximo de 7.02 y teniendo un promedio de 6.69; lo que nos indica que son suelos relativamente ácidos a causa de la minería que se desarrolló en el pasivo ambiental minero de Santa Bárbara, lo cual al final de los tratamientos se puede ver una mejora de este teniendo pH neutro.

**Figura 21**

*Comportamiento del pH Matriz "B"*

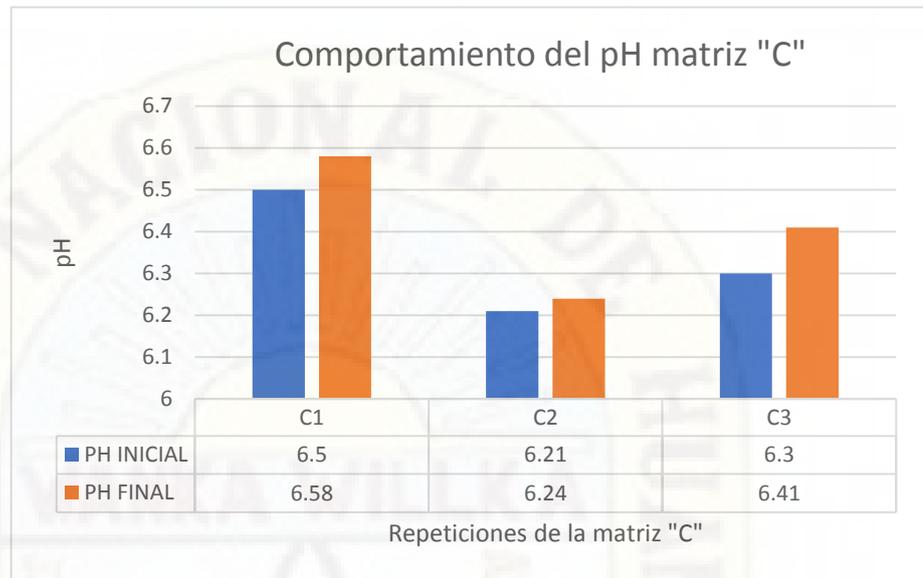


Fuente: Elaboración propia

Nota: En la figura 21 se evidencia el pH de suelo al inicio y final de valores neutros, esto debido a que los suelos de la matriz "B" son suelos orgánicos con concentración de mercurio muy baja y que no tendrían efecto en el comportamiento del pH.

**Figura 22**

*Comportamiento del pH Matriz "C"*



Fuente: Elaboración propia

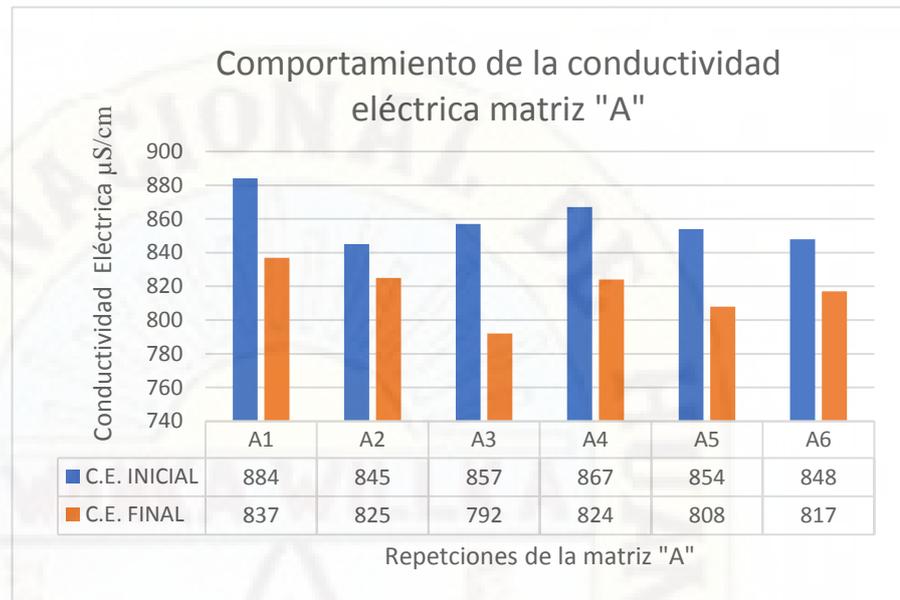
Nota: En la figura 22 se evidencia el pH de la matriz C que son suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara sin ningún tipo de especies de plantas ya que se usó como testigo para verificar la pérdida de mercurio por volatilización; en la cual se observa que el pH de los suelos no presentó cambio significativo alguno.

#### **4.1.1.3. Conductividad eléctrica**

El monitoreo de la conductividad eléctrica del suelo sirvió para verificar la capacidad que tienen las raíces de las plantas para adsorber nutrientes, minerales y de medir la concentración de sales solubles presentes en la solución de los suelos.

**Figura 23**

*Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Matriz "A"*

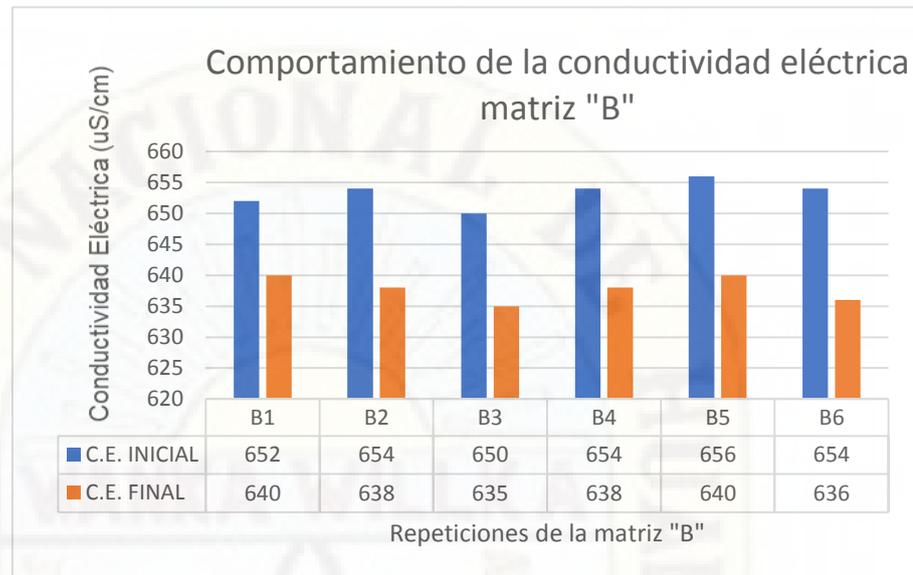


Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores de finales de la conductividad eléctrica en los suelos en la matriz A tienen un valor mínimo de 792  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , máximo de 837  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y promedio de 859.17  $\mu\text{S}/\text{cm}$  lo que indica que son suelos ligeramente salinos y que no afectaran el crecimiento de las especies, así mismo la conductividad inicial y final del suelo no varió mucho después de los tratamientos.

**Figura 24**

Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Matriz "B"

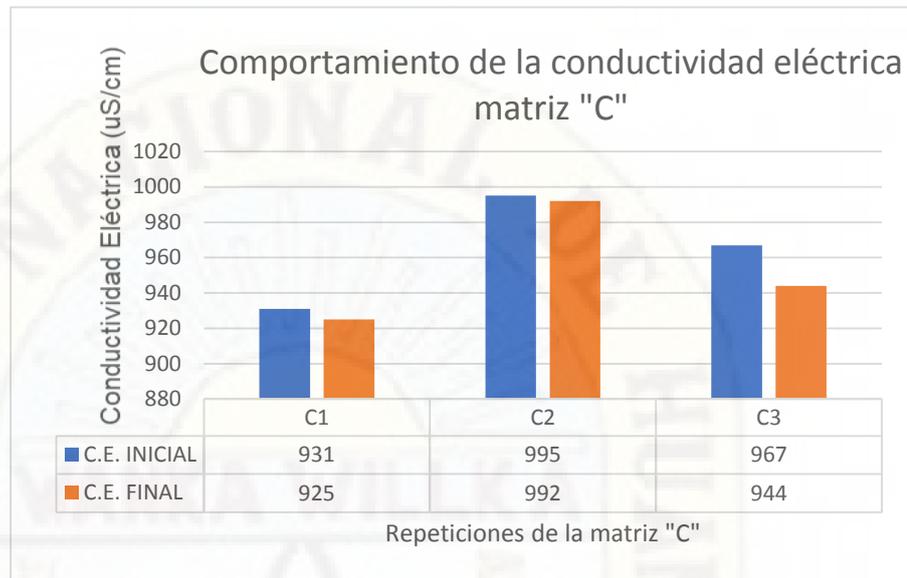


Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores de finales de la conductividad eléctrica en los suelos en la matriz B tienen un valor mínimo de 635  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , máximo de 640  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y promedio de 653.33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  lo que indica que no son suelos salinos y que no afectaran el crecimiento de las especies, asimismo la conductividad inicial y final del suelo no varió mucho después de los tratamientos.

**Figura 25**

*Comportamiento de la Conductividad Eléctrica Matriz "C"*



Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores de finales de la conductividad eléctrica en los suelos en la matriz C tienen un valor mínimo de 925  $\mu\text{S/cm}$ , máximo de 992  $\mu\text{S/cm}$  y promedio de 964.33  $\mu\text{S/cm}$  lo que indica que son suelos ligeramente salinos.

#### **4.1.2. Variación de la altura del tallo de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus***

El monitoreo del crecimiento del tallo de las dos especies de plantas *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* se realizó semanalmente por 5 meses de tratamiento en la cual se evidencio la diferencia entre estas dos especies expuestas a concentraciones altas de mercurio frente a un suelo orgánico sin concentración alta de mercurio, a continuación, se presentan los resultados.

#### **4.1.2.1. *Urtica urens***

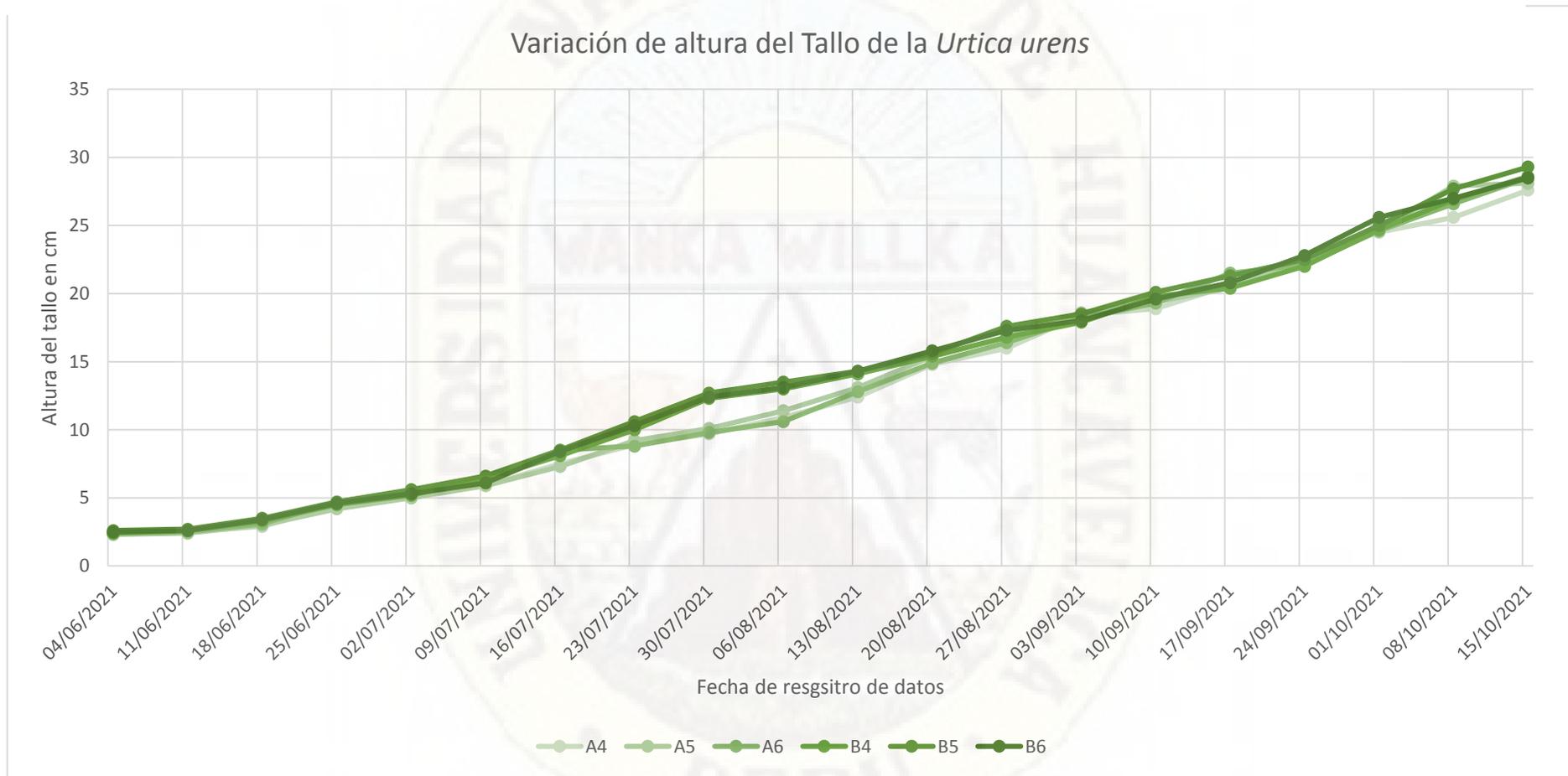
La especie *Urtica urens* no se vio afectado del todo por las concentraciones altas de mercurio ya que esta especie si se adaptó al entorno, así mismo podemos observar en la figura 11 que el tamaño inicial varía en cada una de las repeticiones estas oscilan entre 2.4 a 2.6 cm por cada una de las plantas que fueron trasplantadas, asimismo después de los 05 meses del tratamiento las 3 repeticiones de las *Urtica urens* aumentaron su tamaño e igualaron al de las especies del suelo sin concentración alta de mercurio (véase la figura 26).

#### **4.1.2.2. *Amaranthus hybridus***

La variación de altura de las especies de *Amaranthus hybridus*, se pudo evidenciar la variación claramente ya que al inicio las plantas se desarrollaron de igual manera con las especies expuestas a concentraciones mínimas de mercurio, al final del tratamiento las plantas no pudieron desarrollarse al igual que las plantas del suelo con concentraciones mínimas de mercurio, esto debido a que el mercurio afectó en el desarrollo de las plantas que no se pudieron adaptar eficazmente (véase la figura 27).

**Figura 26**

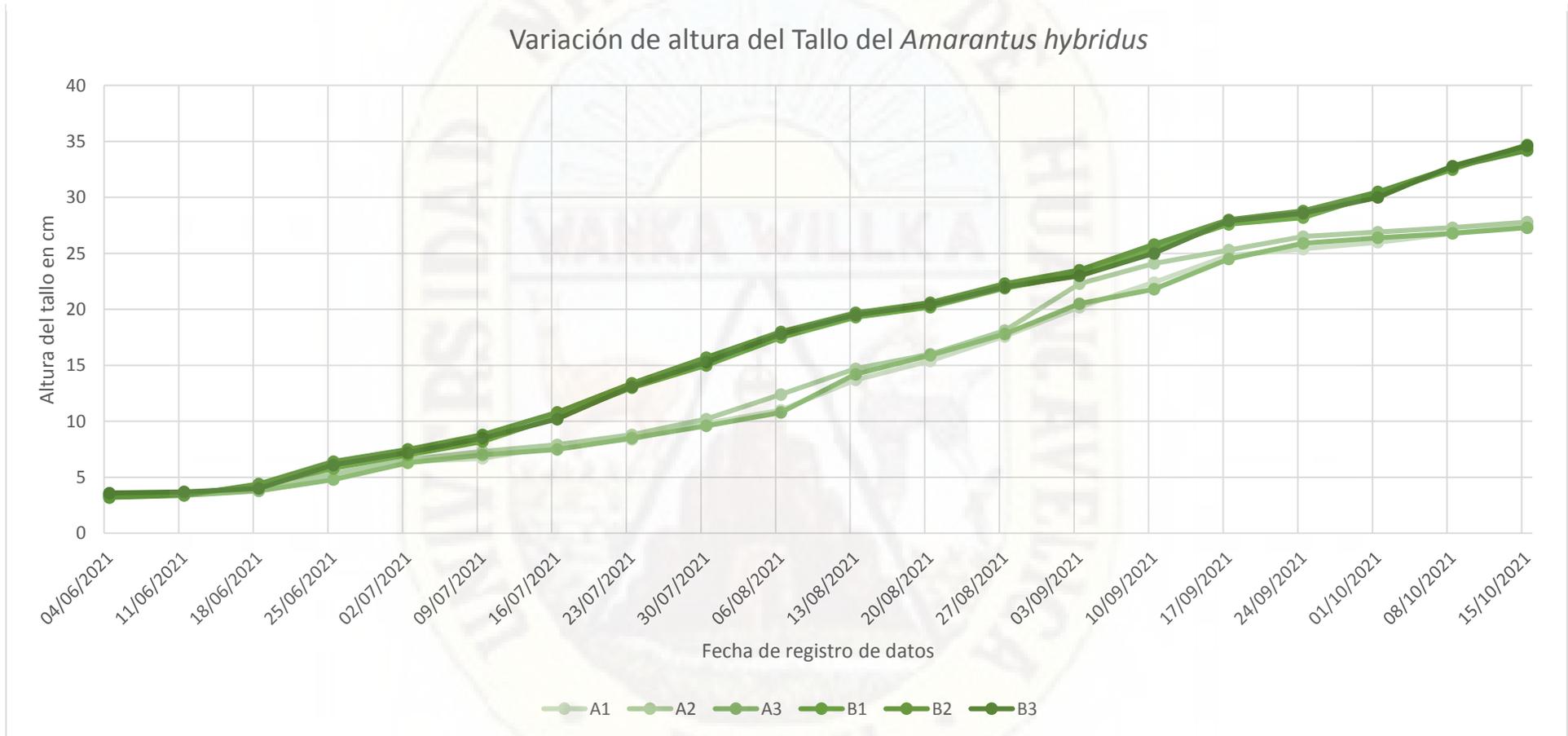
*Variación de Altura del Tallo de la Urtica Urens*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 27**

*Variación de Altura del Tallo del Amaranthus Hybridus*



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3. Descripción de la concentración del mercurio (Hg)

##### a) Porcentaje de reducción del mercurio

**Tabla 7**

*Concentración Inicial y Final del Mercurio*

Tratamiento	Repetición	Concentración de Hg mg/Kg	
		Inicial	Final
<i>Amaranthus hybridus</i>	A1	8.15	5.24
	A2	9.23	6.12
	A3	11.01	7.85
<i>Urtica urens</i>	A4	7.63	3.10
	A5	8.97	3.05
	A6	10.71	5.57

Fuente: Elaboración propia

Nota: En la tabla 7, se presenta el resumen de la concentración de del mercurio en mg/Kg en el suelo, antes de empezar con los tratamientos y al final de estos con tiempo de tratamiento de 5 meses.

**Tabla 8**

*Resumen de Estadística Descriptiva para las Concentraciones Finales de Hg en las 6 Repeticiones*

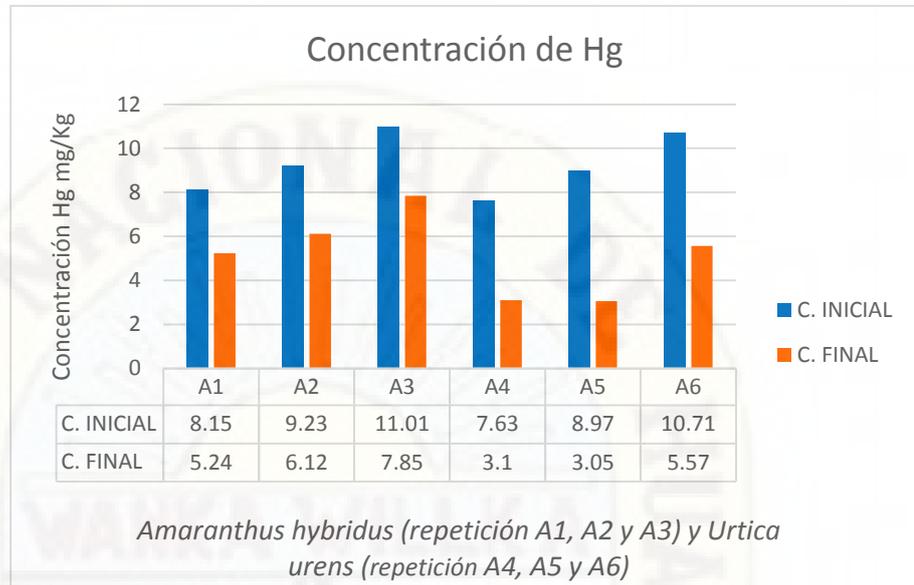
<b>Estadística descriptiva para las concentraciones finales de Hg en las 6 muestras</b>	<b>Valores</b>
Media	5.15
Mediana	5.40
Moda	-
Desviación estándar	1.85
Varianza de la muestra	3.40
Rango	4.80
Mínimo	3.05
Máximo	7.85
Suma	30.93
Cuenta	6

Fuente: Elaboración propia

Nota: Se observa el resumen del análisis de la estadística descriptiva, se observa que el valor de la media y mediana se asemejan y que la desviación estándar tiene un valor mínimo.

**Figura 28**

*Concentración Inicial del Mercurio Versus la Concentración Final del Mercurio.*



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la figura 28 se muestra la comparación de la concentración de mercurio en mg/Kg, antes de los tratamientos y al final de los tratamientos con una duración de 5 meses.

**Tabla 9**

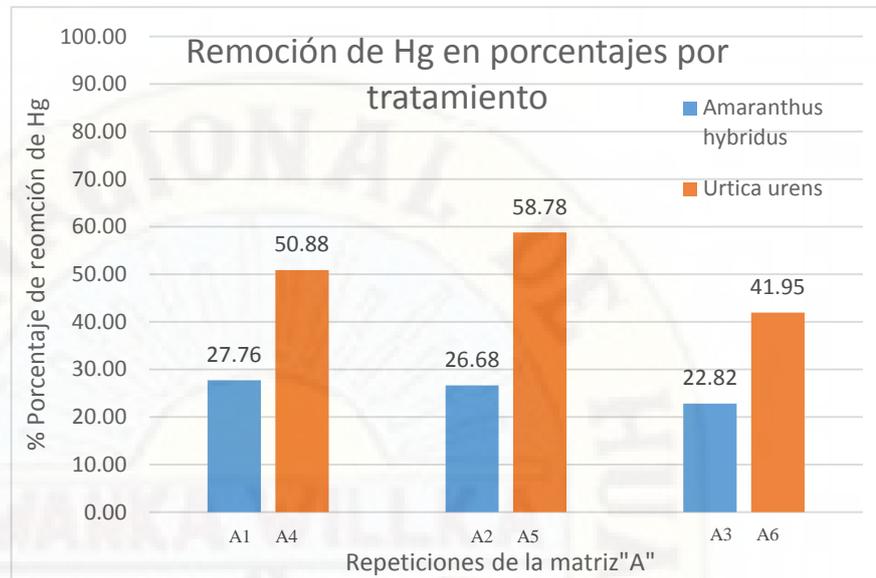
*Porcentaje de Remoción del Mercurio*

Tratamientos	Porcentaje de remoción de Hg						
	Concentración inicial (mg/Kg)	Concentración Final (mg/Kg)	Remoción (mg/Kg)	Concentración final menos perdida por volatilización	% de remoción	Promedio de % de remoción de Hg	
<i>Amaranthus hybridus</i>	A1	8.15	5.24	2.91	5.89	27.76	25.75
	A2	9.23	6.12	3.11	6.77	26.68	
	A3	11.01	7.85	3.16	8.5	22.82	
<i>Urtica urens</i>	A4	7.63	3.1	4.53	3.75	50.88	50.50
	A5	8.97	3.05	5.92	3.70	58.78	
	A6	10.71	5.57	5.14	6.22	41.85	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 29**

*Remoción de Hg en Porcentajes por Tratamientos.*



Fuente: Elaboración propia

Nota. En la figura 29 se muestra el porcentaje por tratamientos en la remoción del mercurio. Se observa que el tratamiento que obtuvo mejor porcentaje de remoción fue el de la *Urtica urens* con un 58.78 %, mientras que el tratamiento con *Amaranthus hybridus* fue de solo 27.76 %.

El porcentaje remoción sale de la fórmula:

$$\% \text{ reducción de mercurio} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{concentración final}}{\text{concentración inicial}} \times 100$$

**b) Comparación de la concentración final del mercurio con los estándares de calidad de suelo para un suelo agrícola-DS-011-2017-MINAM**

**Tabla 10**

*Comparación de Concentración Final de Mercurio después de la fitorremediación con el Valor de ECA-SUELO DS-011-2017-MINAM*

Repetición	Concentración mg/Kg				
	Inicia I	Final	Promedio de concentración final de Hg	ECA-Suelo (DS 011-2017-MINAM)/ Suelo agrícola	
<i>Amaranthus hybridus</i>	A1	8.15	5.89		6.60
	A2	9.23	6.77	7.05	6.60
	A3	11.01	8.5		6.60
	A4	7.63	3.75		6.60
<i>Urtica urens</i>	A5	8.97	3.70	4.56	6.60
	A6	10.71	6.22		6.60

Fuente: Elaboración propia

Nota: Las concentraciones finales del tratamiento con *Urtica urens* son aptos para uso en suelo agrícola según el DS-011-2017-MINAM.

## 4.2. Prueba de hipótesis

La estadística inferencial sirve para realizar la prueba de hipótesis y estimar parámetros. Según Hernández (2014) una hipótesis es una supuesta respuesta a cerca de varios parámetros, y lo que busca la estadística inferencial es probar si los resultados obtenidos con los datos de la muestra se ajustan a la realidad poblacional.

### 4.2.1. Estadística inferencial para la hipótesis general

#### 4.2.1.1. Eficacia fitorremediadora de la especie *Urtica urens*

##### a) Prueba de normalidad para la especie *Urtica urens*

##### ➤ Datos para la aplicación del test de normalidad para la especie *Urtica urens*

El conjunto de datos que fueron sometidos al test de normalidad antes de ser evaluados con el estadístico de prueba fueron los siguientes.

**Tabla 11**

*Porcentaje de Remoción de Mercurio para Urtica urens*

Tratamiento 1	Repeticiones	% de remoción de Hg
<i>Urtica urens</i>	A4	50.88
	A5	58.78
	A6	41.95
<b>Promedio</b>		50.54

Fuente: Elaboración propia

➤ **Formulación de hipótesis para el test de normalidad de la especie *Urtica urens***

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**H<sub>0</sub>:** Los datos analizados siguen una distribución normal

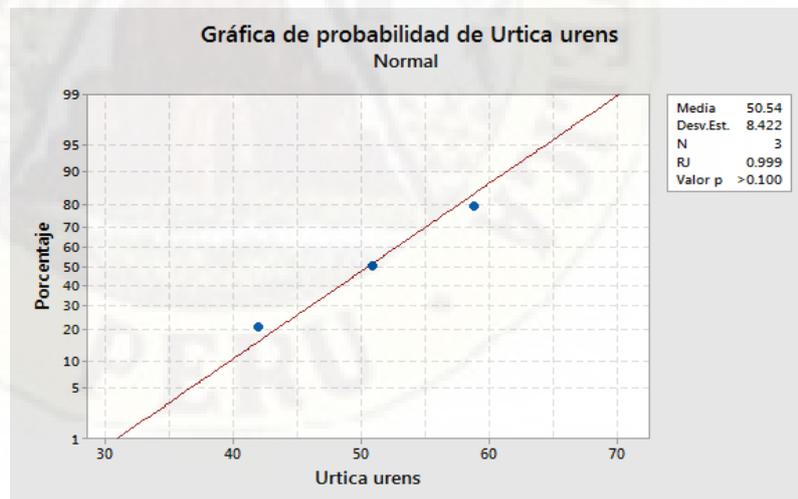
**H<sub>a</sub>:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para la especie *Urtica urens***

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 30**

*Test de Normalidad para la Especie de Urtica urens*



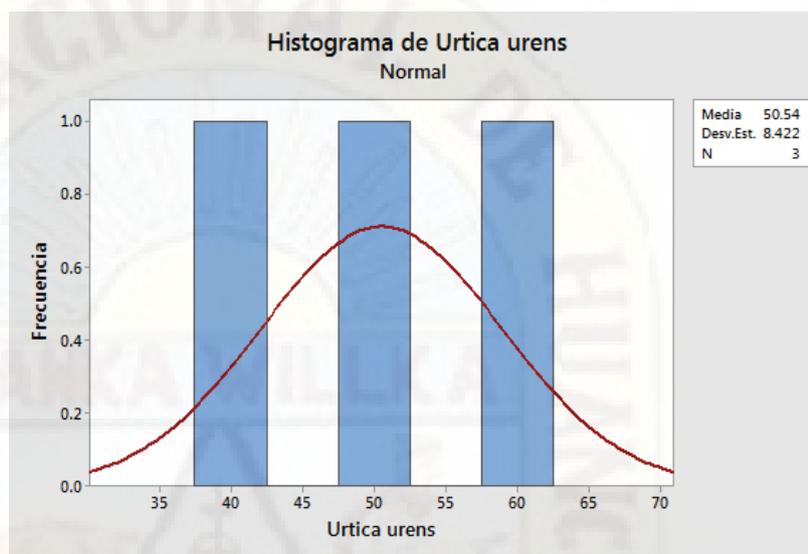
Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de

95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 31**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de Urtica urens*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

**b) Aplicación del estadístico de prueba T de Student para proporciones para la especie *Urtica urens***

Dado que los datos se ajustan a una distribución normal se aplica un estadístico de prueba paramétrica como la T de Student para proporciones

➤ **Formulación de hipótesis para la especie *Urtica Urens***

**H<sub>0</sub>:** La eficacia de la *Urtica urens* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021 es menor o igual a 60%.

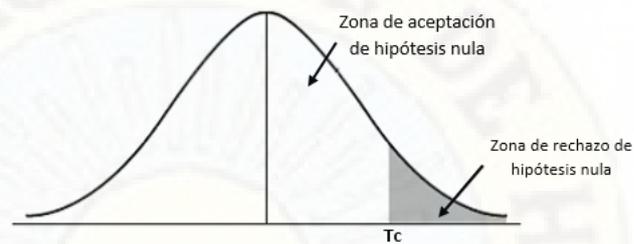
**H<sub>a</sub>:** La eficacia de la *Urtica urens* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021 es mayor a 60%.

Ho:  $\bar{X} \leq 60\%$ .

Ha:  $\bar{X} > 60\%$

**Figura 32**

*Curva de Distribución para T de Student*



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la curva de normalidad dibujada según la hipótesis planteada, cuando el T calculado es menor al T crítico, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

➤ **Aplicación del estadístico de prueba T de Student para la especie *Urtica urens***

$$\text{Fórmula: } T_{cal} = \frac{P - P_{Ha}}{\sqrt{\frac{P \times (1 - P)}{n}}}$$

$$T_{cal} = -0.31$$

$$T_{tab} = 2.92$$

**Donde:**

Tcal: Estadístico de T calculado

P: Proporción muestral → 50.54%

P<sub>Ha</sub>: Proporción teórica o alterna → 60%

n: Número de muestra → 3

Ttab: Estadístico T tabulado → 2.92 (se obtiene de las tablas estadísticas para T de Student con cola a la derecha)

En los resultados se observa que el Tcalculado es mayor al T tabulado, por ende, con un nivel de confianza de 95% rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la hipótesis nula de que la eficacia de la *Urtica urens* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021 es menor o igual a 60%.

#### 4.2.1.2. Eficacia fitorremediadora de la especie *Amaranthus hybridus*

##### a) Prueba de normalidad para la especie *Amaranthus hybridus*

##### ➤ Datos para la aplicación del test de normalidad para la especie *Amaranthus hybridus*

El conjunto de datos que fueron sometidos al test de normalidad antes de ser evaluados con el estadístico de prueba fueron los siguientes.

Tabla 12

Porcentaje de Remoción de Mercurio para *Amaranthus hybridus*

Tratamiento 2	Repeticiones	% de remoción de Hg
<i>Amaranthus hybridus</i>	A1	27.76
	A2	26.68
	A3	22.82
<b>Promedio</b>		25.75

Fuente: Elaboración propia

##### ➤ Formulación de hipótesis para el test de normalidad de la especie *Amaranthus hybridus*

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**Ho:** Los datos analizados siguen una distribución normal

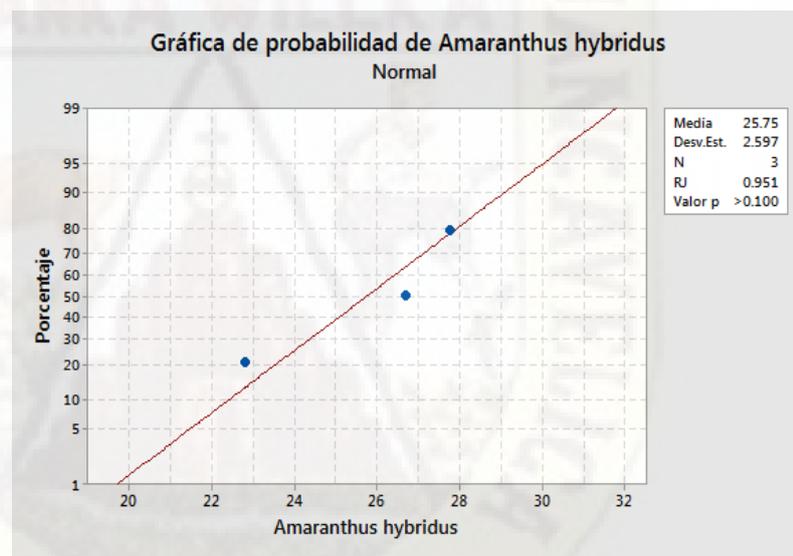
**Ha:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para la especie *Amaranthus hybridus***

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 33**

*Test de Normalidad para la Especie de Amaranthus hybridus*

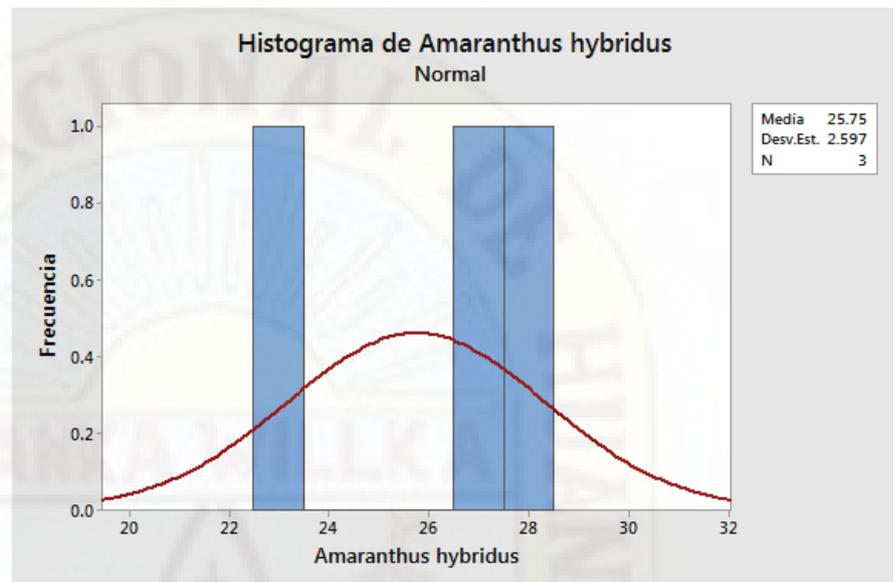


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 34**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de Amaranthus hybridus*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab.

**b) Aplicación del estadístico de prueba T de Student para proporciones para la especie *Amaranthus hybridus***

Dado que los datos se ajustan a una distribución normal se aplica un estadístico de prueba paramétrica como la T de Student para proporciones

➤ **Formulación de hipótesis para la especie *Amaranthus hybridus***

**H<sub>0</sub>:** La eficacia del *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021 es menor o igual a 60%.

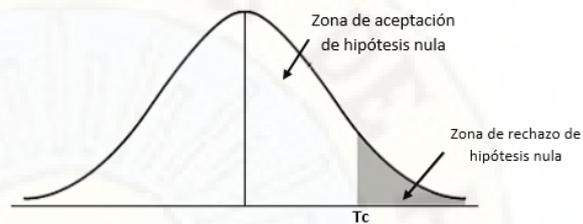
**H<sub>a</sub>:** La eficacia del *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021 es mayor a 60%.

$$H_0: \bar{X} \leq 60\%$$

$$H_a: \bar{X} > 60\%$$

**Figura 35**

*Curva de Distribución para T de Student*



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la curva de normalidad dibujada según la hipótesis planteada, cuando el T calculado es menor al T crítico, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

➤ **Aplicación del estadístico de prueba T de Student para la especie *Amaranthus hybridus***

Aplicamos la siguiente fórmula de T de proporciones:

$$\text{Fórmula: } T_{cal} = \frac{P - P_{Ha}}{\sqrt{\frac{P \times (1 - P)}{n}}}$$

$$T_{cal} = -1.34$$

$$T_{tab} = 2.92$$

**Donde:**

Tcal: Estadístico de T calculado

P: Proporción muestral → 25.75 %

P<sub>Ha</sub>: Proporción teórica o alterna → 60%

n: Número de muestra → 3

Ttab: Estadístico T tabulado → 2.92 (se obtiene de las tablas estadísticas para T de Student con cola a la derecha).

En los resultados se observa que el  $T_{\text{calculado}}$  es mayor al  $T_{\text{tabulado}}$ , por ende, con un nivel de confianza de 95%, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la hipótesis nula de que la eficacia del *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021 es menor o igual a 60%.

#### 4.2.2. Estadística inferencial para la hipótesis específica a

##### a) Prueba de normalidad para las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus*

##### ➤ Datos para la aplicación del test de normalidad para las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus*

El conjunto de datos que fueron sometidos al test de normalidad antes de ser evaluados con el estadístico de prueba fueron los siguientes: concentración inicial y final de mercurio después de la fitorremediación con las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus*.

**Tabla 13**

*Diferencia de Concentración Inicial y Concentración Final de Mercurio Después de la Aplicación de la Fitorremediación*

Tratamiento 1	Repeticiones	Concentración	Concentración	Diferencia
		inicial	final	
<i>Urtica urens</i>	A4	7.63	3.10	4.53
	A5	8.97	3.05	5.92
	A6	10.71	5.57	5.14
<i>Amaranthus hybridus</i>	A1	8.15	5.24	2.91
	A2	9.23	6.12	3.11
	A3	11.01	7.85	3.16

Fuente: Elaboración propia

➤ **Formulación de hipótesis para el test de normalidad para la especie *Urtica urens***

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**Ho:** Los datos analizados siguen una distribución normal

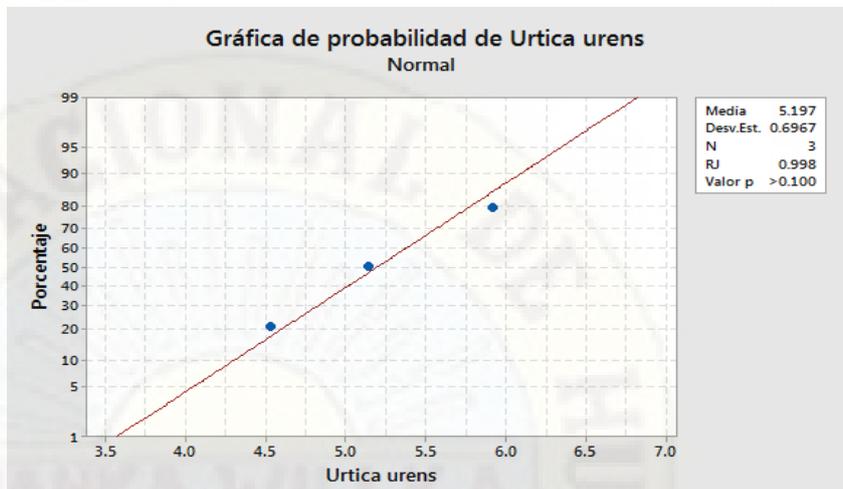
**Ha:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para la especie *Urtica urens***

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 36**

*Gráfico de Test de Normalidad para la Especie de Urtica urens*

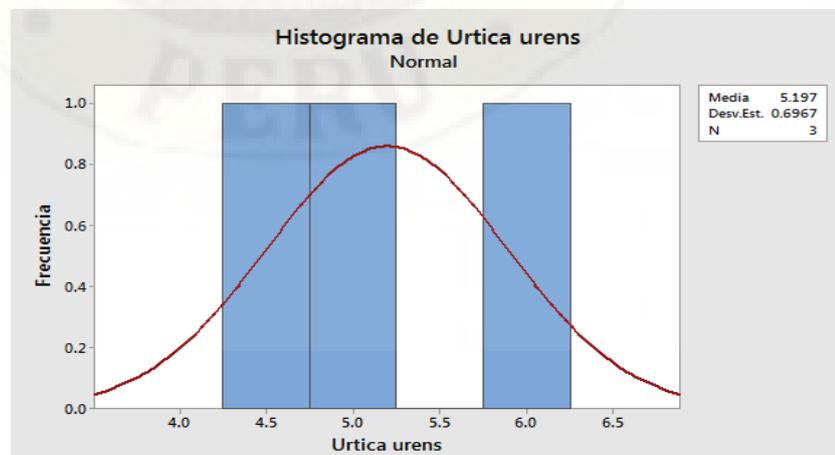


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 37**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de Urtica urens*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

➤ **Formulación de hipótesis para el test de normalidad de la especie *Amaranthus hybridus***

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**H<sub>0</sub>:** Los datos analizados siguen una distribución normal

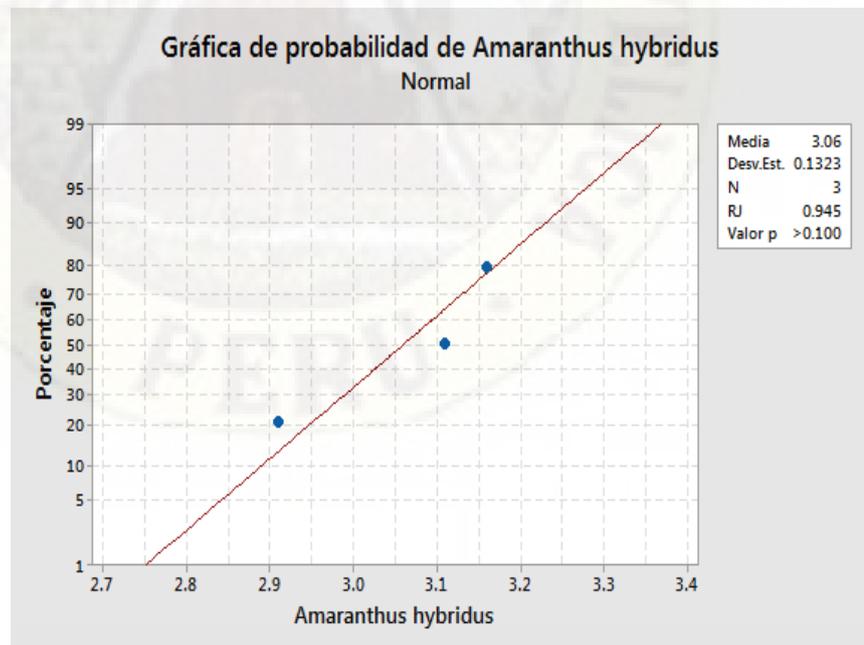
**H<sub>a</sub>:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para la especie *Amaranthus hybridus***

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 38**

*Test de Normalidad para la Especie de Amaranthus hybridus*

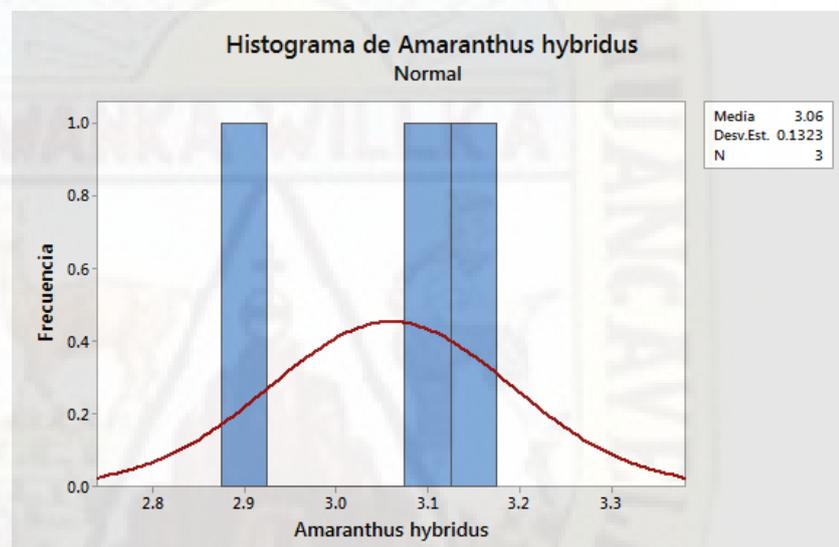


Fuente: Elaboración propia/Generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 39**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Especie de Amaranthus hybridus*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

**b) Aplicación del estadístico de prueba T de Student para dos muestras independientes para las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus***

Dado que los datos de ambos grupos se ajustan a una distribución normal se aplica un estadístico de prueba paramétrica como la T de Student para dos muestras independientes.

➤ **Formulación de hipótesis para las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus***

**Ho:** La especie *Urtica urens* es menor o igual al tratamiento de la especie de *Amaranthus hybridus* en la fitorremediación en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.

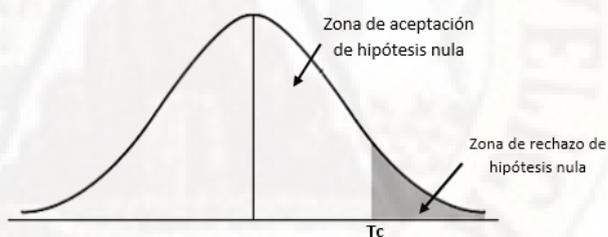
**Ha:** La especie *Urtica urens* es el mejor tratamiento en la fitorremediación en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.

$$H_0: \bar{X}_1 \leq \bar{X}_2$$

$$H_a: \bar{X}_1 > \bar{X}_2$$

**Figura 40**

*Curva de Distribución para T de Student*



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la curva de normalidad dibujada según la hipótesis planteada, cuando el T calculado es menor al T crítico, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

➤ **Aplicación del estadístico de prueba T de Student para dos proporciones para las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus***

**Tabla 14**

*Resumen de la Estadística Descriptiva de la Diferencia de Concentración Final respecto a la Concentración inicial de Hg para Urtica urens y Amaranthus hybridus*

Estadística descriptiva	Tratamiento	
	<i>Urtica urens</i>	<i>Amaranthus hybridus</i>
Media	5.20	3.06
Mediana	5.14	3.11
Moda	-	-
Desviación estándar	0.70	0.13
Varianza de la muestra	0.49	0.02
Rango	1.39	0.25
Mínimo	4.53	2.91
Máximo	5.92	3.16
Cuenta	3.00	3.00
Nivel de confianza(95.0%)	1.73	0.33

Fuente: Elaboración propia

Aplicamos la siguiente fórmula de T de Student para dos muestras:

**Fórmula:**

$$\text{Prueba T de Muestras Independientes} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{s^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$T_{cal} = 5.21$$

$$T_{tab} = \pm 4.31$$

**Donde:**

Tcal: Estadístico de T calculado

X<sub>1</sub>: Promedio de muestra de grupo 1 → 3.91

X<sub>2</sub>: Promedio de muestra de grupo 1 → 6.40

S<sup>2</sup>: Varianza común → 0.25

n<sub>1</sub>: Número de muestra → 3

n<sub>2</sub>: Número de muestra → 3

Ttab: Estadístico T tabulado → +/- 4.31 (se obtiene de las tablas estadísticas para T de Student con cola a la derecha)

En los resultados se observa que el Tcalculado es mayor al T tabulado, por ende, con un nivel de confianza de 95%, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna de que la especie *Urtica urens* es el mejor tratamiento en la fitorremediación en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.

**4.2.3. Estadística inferencial para la hipótesis específica b**

**a) Prueba de normalidad para datos de altura de tallo de la especie *Urtica urens* en suelo inorgánico/Hg>ECA y orgánico/Hg<ECA**

**➤ Datos para la aplicación del test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie *Urtica urens* en suelo inorgánico/Hg>ECA y suelo orgánico/Hg<ECA**

El conjunto de datos que fueron sometidos al test de normalidad antes de ser evaluados con el estadístico de prueba fueron los siguientes: altura de crecimiento del tallo en cm de la especie *Urtica urens* en suelo inorgánico/Hg>ECA y orgánico/Hg<ECA.

**Tabla 15**

*Altura de Tallo de la Especie Urtica urens en cm Para la Aplicación de la Prueba Estadística*

<b>Tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Altura final del tallo cm</b>
<i>Urtica urens/ Matriz A</i> (suelo inorgánico/Hg>ECA)	A4	27.6
	A5	28.1
	A6	28.5
<i>Urtica urens/ Matriz B</i> (suelo inorgánico/Hg<ECA)	B4	28.6
	B5	29.3
	B6	28.5

Fuente: Elaboración propia

➤ **Formulación de hipótesis para test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie de *Urtica urens* en suelo inorgánico/Hg>ECA**

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**Ho:** Los datos analizados siguen una distribución normal

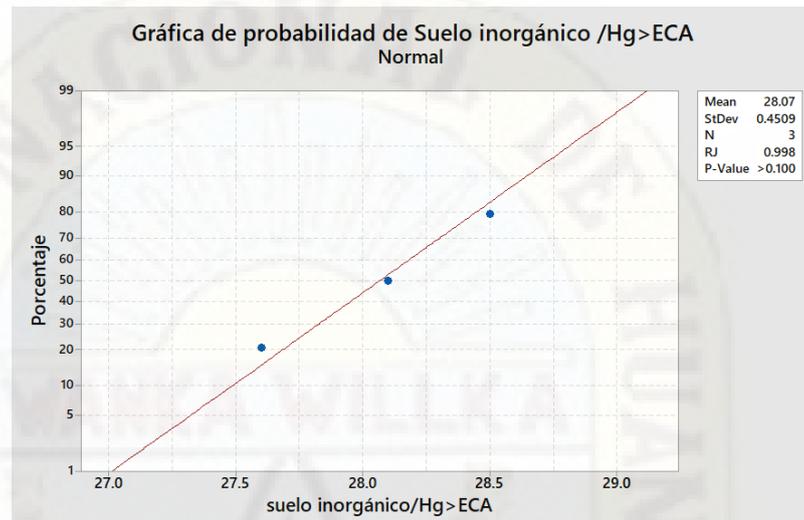
**Ha:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie de *Urtica urens* en suelo inorgánico/Hg>ECA**

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 41**

*Test de Normalidad para las Alturas de la Especie de Urtica urens en Suelo Inorgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental*

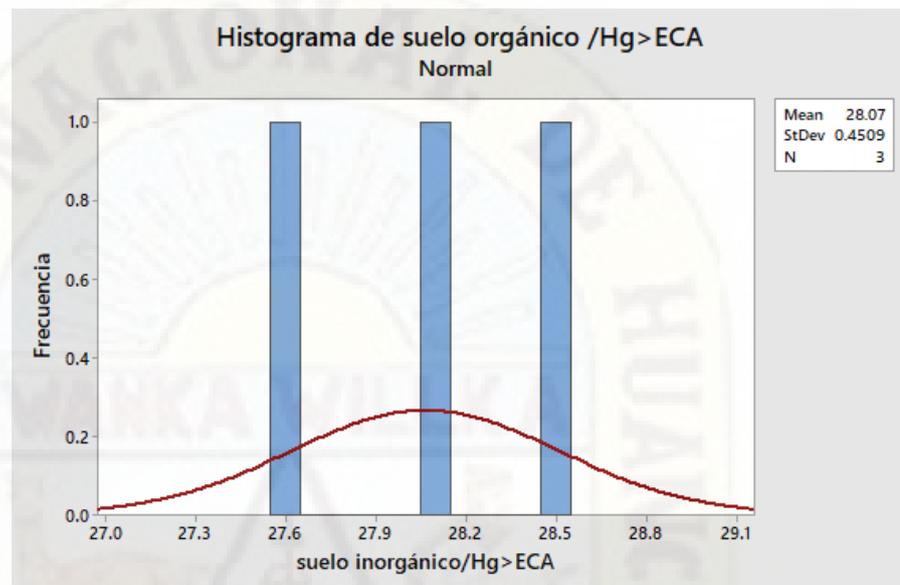


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 42**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de la Especie de Urtica urens en un Suelo Inorgánico con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

- **Formulación de hipótesis para test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie de *Urtica urens* en suelo orgánico/Hg<ECA**

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**H<sub>0</sub>:** Los datos analizados siguen una distribución normal

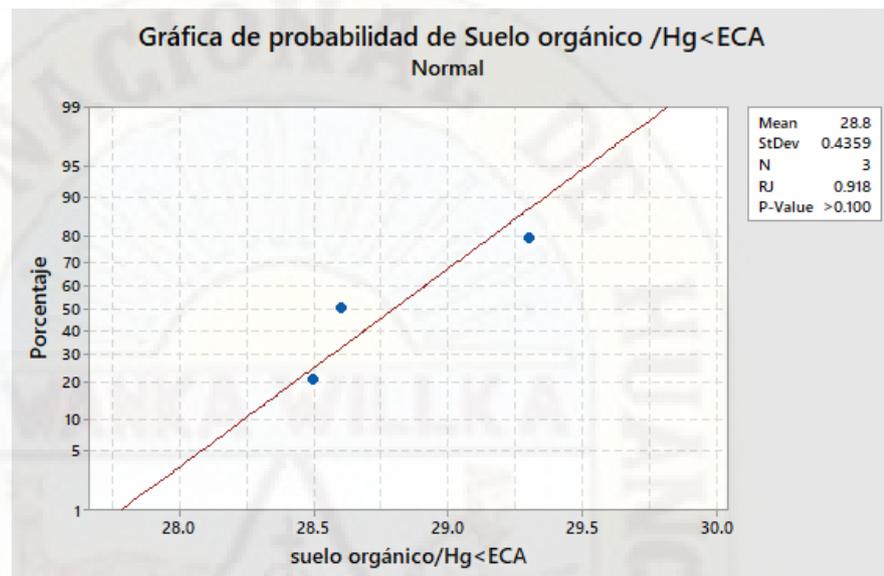
**H<sub>a</sub>:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

- **Aplicación del test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie de *Urtica urens* en suelo orgánico/Hg<ECA**

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 43**

*Test de Normalidad para las Alturas de Tallo de la Especie de Urtica urens en Suelo Orgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Menor de los Estándares de Calidad Ambiental*

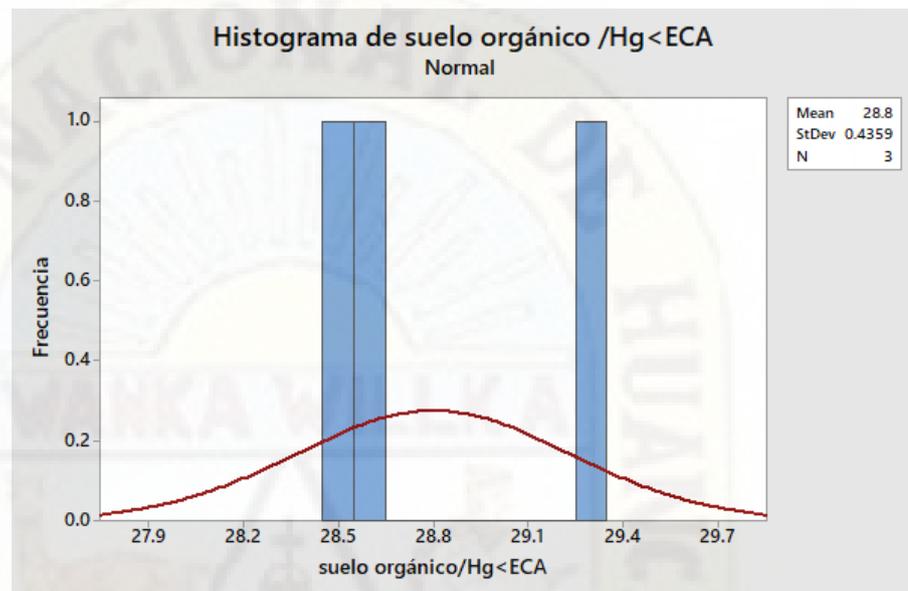


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 44**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de Tallo de la Especie de Urtica urens en un Suelo Orgánico con Concentración Inicial de Mercurio Menor a los Estándares de Calidad Ambiental*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

**b) Aplicación del estadístico de prueba T de Student para muestras independientes para dato de altura de tallo de la especie *Urtica urens***

Dado que los datos de ambos grupos se ajustan a una distribución normal se aplica un estadístico de prueba paramétrica como la T de Student para muestras independientes.

➤ **Formulación de hipótesis para datos de altura de tallo de la especie *Urtica urens***

**H<sub>0</sub>:** No existe variación en la altura de tallo de la especie *Urtica urens* por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.

**Ha:** Existe variación en la altura de tallo de la especie *Urtica urens* por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_a: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

**Figura 45**

*Curva de distribución para T de Student*



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la curva de normalidad dibujada según la hipótesis planteada, cuando el T calculado es menor al T crítico, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

➤ **Aplicación del estadístico de prueba T de Student para muestras independientes para datos de altura de tallo de la especie *Urtica urens***

**Tabla 16**

*Resumen de la Estadística Descriptiva de la Altura Final de Tallo de la Urtica urens en un Suelo con Hg > ECA y un Suelo con Hg < ECA*

Estadística descriptiva	Para suelo inorgánico con Hg > ECA	Para suelo orgánico con Hg < ECA
Media	28.07	28.80
Mediana	28.10	28.60

Moda	-	-
Desviación estándar	0.45	0.44
Varianza de la muestra	0.20	0.19
Rango	0.90	0.80
Mínimo	27.60	28.50
Máximo	28.50	29.30
Cuenta	3.00	3.00
Nivel de confianza (95.0%)	1.12	1.08

Fuente: Elaboración propia/Excel

Aplicamos la siguiente fórmula de T de Student para dos muestras:

**Fórmula:**

$$\text{Prueba T de Muestras Independientes} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{s^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$T_{cal}=2.01$$

$$T_{tab}=\pm 4.31$$

**Donde:**

Tcal: Estadístico T calculado

X<sub>1</sub>: Promedio de muestra de grupo 1 → 28.07

X<sub>2</sub>: Promedio de muestra de grupo 1 → 28.80

S<sup>2</sup>: Varianza común → 0.25

n<sub>1</sub>: Número de muestra → 3

n<sub>2</sub>: Número de muestra → 3

Ttab: Estadístico T tabulado → ± 4.31 (se obtiene de las tablas estadísticas para T de Student con cola a la derecha)

En los resultados se observa que el Tcalculado es menor al T tabulado, por ende, con un nivel de confianza de 95%, rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la hipótesis nula de que no existe

variación en la altura de la *Urtica urens* por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.

#### 4.2.4. Estadística inferencial para la hipótesis específica c

##### a) Prueba de normalidad para datos de altura de tallo de la especie *Amaranthus hybridus* en suelo inorgánico/Hg>ECA y orgánico/Hg<ECA

##### ➤ Datos para la aplicación del test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie *Amaranthus hybridus* en suelo inorgánico/Hg>ECA y suelo orgánico/Hg<ECA

El conjunto de datos que fueron sometidos al test de normalidad antes de ser evaluados con el estadístico de prueba fueron los siguientes: altura de crecimiento del tallo en cm de la especie *Amaranthus hybridus* en suelo inorgánico/Hg>ECA y orgánico/Hg<ECA.

**Tabla 17**

*Altura de tallo de la Especie Amaranthus hybridus en cm Para la Aplicación de la Prueba Estadística*

Tratamiento	Repeticiones	Altura final cm
<i>Amaranthus hybridus</i> / Matriz A (suelo inorgánico/Hg>ECA)	A1	27.50
	A2	27.80
	A3	27.30
<i>Amaranthus hybridus</i> / Matriz B (suelo inorgánico/Hg<ECA)	B1	34.70
	B2	34.20
	B3	34.60

Fuente: Elaboración propia

➤ **Formulación de hipótesis para test de normalidad para datos de altura del tallo de la especie de *Amaranthus hybridus* en suelo inorgánico/Hg>ECA**

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**H<sub>0</sub>:** Los datos analizados siguen una distribución normal

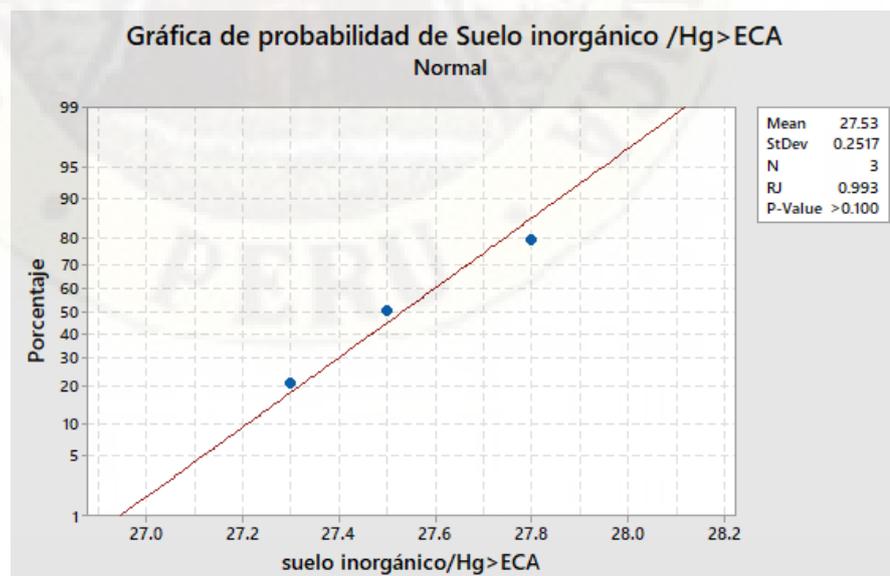
**H<sub>a</sub>:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para datos de altura de la especie de *Amaranthus hybridus* en suelo inorgánico/Hg>ECA**

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 46**

*Test de Normalidad para las Alturas de la Especie de Amaranthus hybridus en Suelo Inorgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental*

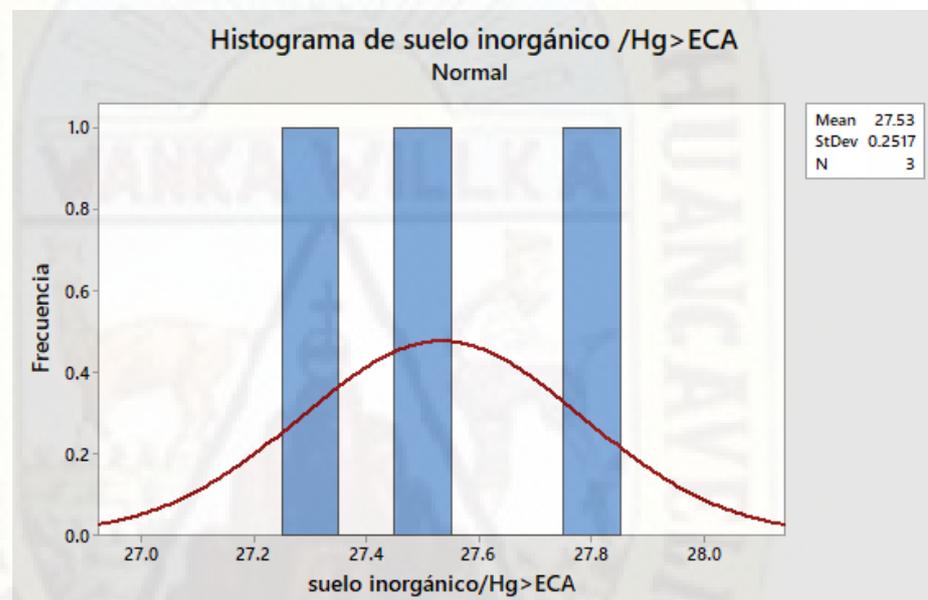


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 47**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de la Especie de *Amaranthus hybridus* en un Suelo Inorgánico con Concentración Inicial de Mercurio Mayor a los Estándares de Calidad Ambiental*



Fuente: Propia/generado en Minitab

➤ **Formulación de hipótesis para test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie *Amaranthus hybridus* en suelo orgánico/Hg<ECA**

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**H<sub>0</sub>:** Los datos analizados siguen una distribución normal

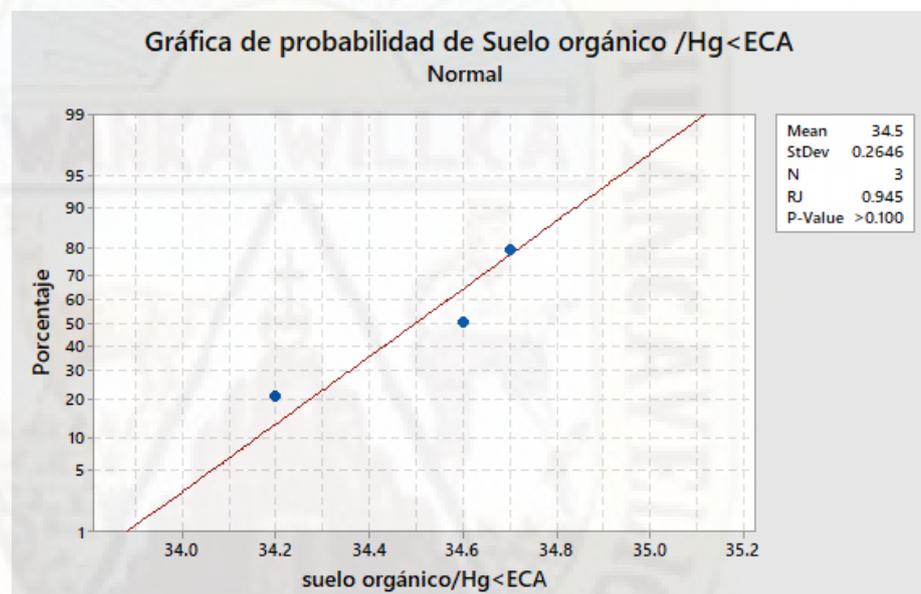
**H<sub>a</sub>:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para datos de altura de tallo de la especie *Amaranthus hybridus* en suelo orgánico/Hg<ECA**

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 48**

*Test de Normalidad para las Alturas de la Especie de Amaranthus hybridus en Suelo Inorgánico, con Concentración Inicial de Mercurio Menor a los Estándares de Calidad Ambiental*

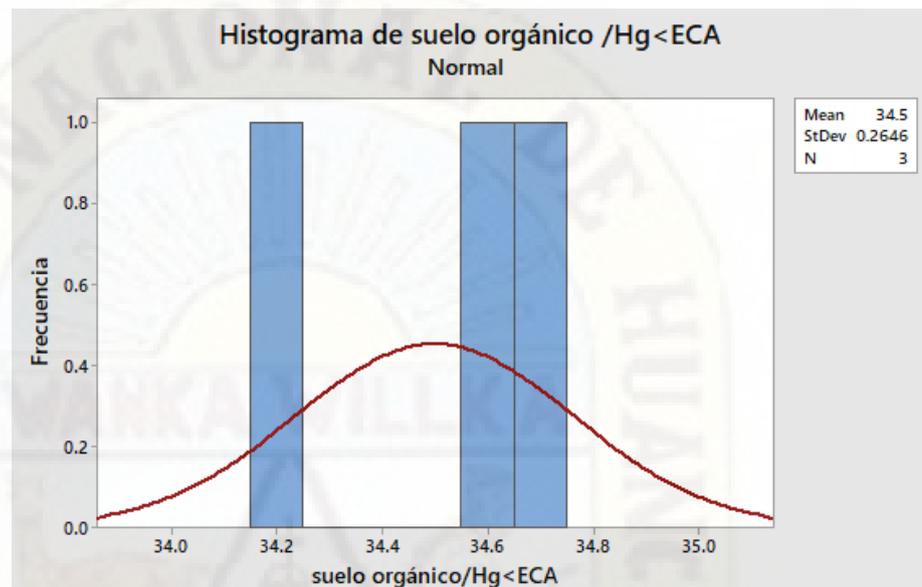


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 49**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de las Alturas de la Especie de Amaranthus hybridus en un Suelo Inorgánico con Concentración Inicial de Mercurio Menor a los Estándares de Calidad Ambiental*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

**b) Aplicación del estadista de prueba T de Student para muestras independientes para datos de altura de tallo de la especie *Amaranthus hybridus***

Dado que los datos de ambos grupos se ajustan a una distribución normal se aplica un estadístico de prueba paramétrica como la T de Student para dos muestras independientes.

➤ **Formulación de hipótesis para datos de altura de tallo para la especie *Amaranthus hybridus***

**H<sub>0</sub>:** No existe variación en la altura de tallo de *Amaranthus hybridus* por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.

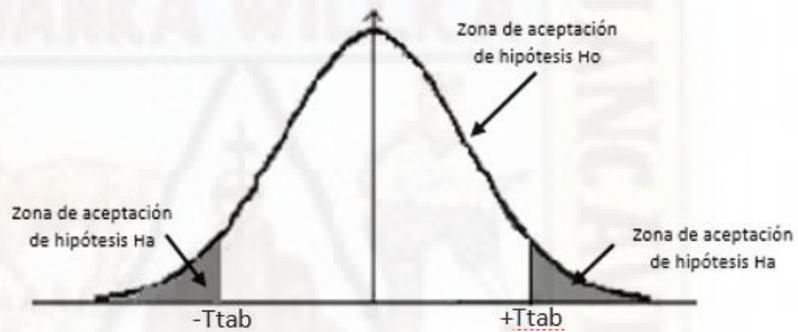
**Ha:** Existe variación en la altura de tallo de *Amaranthus hybridus* por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_a: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

**Figura 50**

*Curva de distribución para T de Student*



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la curva de normalidad dibujada según la hipótesis planteada, cuando el T calculado es menor al T crítico, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

➤ **Aplicación del estadístico de prueba T de Student para muestras independientes para datos de altura de tallo de la especie *Amaranthus hybridus***

**Tabla 18**

*Resumen de la Estadística Descriptiva de la Altura Final de Tallo de la Amaranthus hybridus en un Suelo con Hg> ECA y un Suelo con Hg<ECA*

Estadística descriptiva	Para suelo	Para suelo
	inorgánico con Hg>ECA	orgánico con Hg<ECA
Media	27.53	34.50
Mediana	27.50	34.60
Moda	-	-
Desviación estándar	0.25	0.26
Varianza de la muestra	0.06	0.07
Rango	0.50	0.50
Mínimo	27.30	34.20
Máximo	27.80	34.70
Cuenta	3.00	3.00
Nivel de confianza(95.0%)	0.63	0.66

Fuente: Elaboración propia/Excel

Aplicamos la siguiente fórmula de T de Student para dos muestras:

**Fórmula:**

$$\text{Prueba T de Muestras Independientes} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{s^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$T_{cal} = -32.81$$

$$T_{tab} = \pm 4.31$$

**Donde:**

Tcal: Estadístico de T calculado

X<sub>1</sub>: Promedio de muestra de grupo 1 → 27.53

X<sub>2</sub>: Promedio de muestra de grupo 2 → 34.5

S<sup>2</sup>: Varianza común → 0.25

n<sub>1</sub>: Número de muestra → 3

n<sub>2</sub>: Número de muestra → 3

Tab: Estadístico T tabulado → ± 4.31 (se obtiene de las tablas estadísticas para T de Student con cola a la derecha)

En los resultados se observa que el T calculado es mayor al T tabulado, por ende, con un nivel de confianza de 95%, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna de que existe variación en la altura de la *Amaranthus hybridus* por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.

#### **4.2.5. Estadística inferencial para la hipótesis específica d**

- 4.2.5.1. Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación con la especie de *Urtica urens***

a) **Prueba de normalidad para la especie *Urtica urens***

➤ **Datos para la aplicación del test de normalidad par la especie *Urtica urens***

El conjunto de datos que fueron sometidos al test de normalidad antes de ser evaluados con el estadístico de prueba fueron la concentración final de Hg después de la aplicación de la fitorremediación con la especie de *Urtica urens*.

**Tabla 19**

*Concentración final de Hg en mg/Kg después de la fitorremediación con la especie de Urtica urens*

Tratamiento	Repetición	Concentración final de Hg
		mg/Kg
<i>Urtica urens</i>	A3	3.10
	A4	3.05
	A5	5.57

Fuente: Elaboración propia

➤ **Formulación de la hipótesis para el test de normalidad de la especie *Urtica urens***

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**H<sub>0</sub>:** Los datos analizados siguen una distribución normal

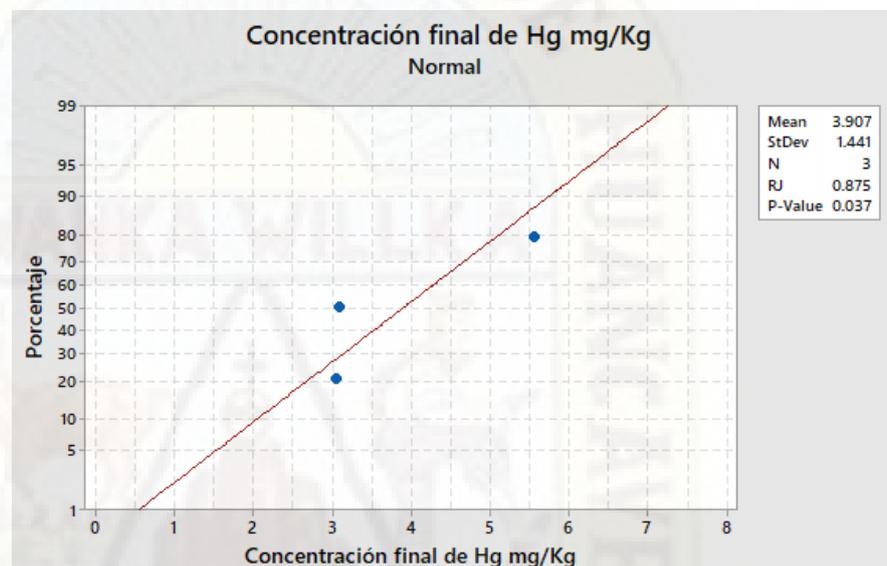
**H<sub>a</sub>:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para la especie *Urtica urens***

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 51**

*Test de Normalidad para Concentración Final de Hg mg/Kg*

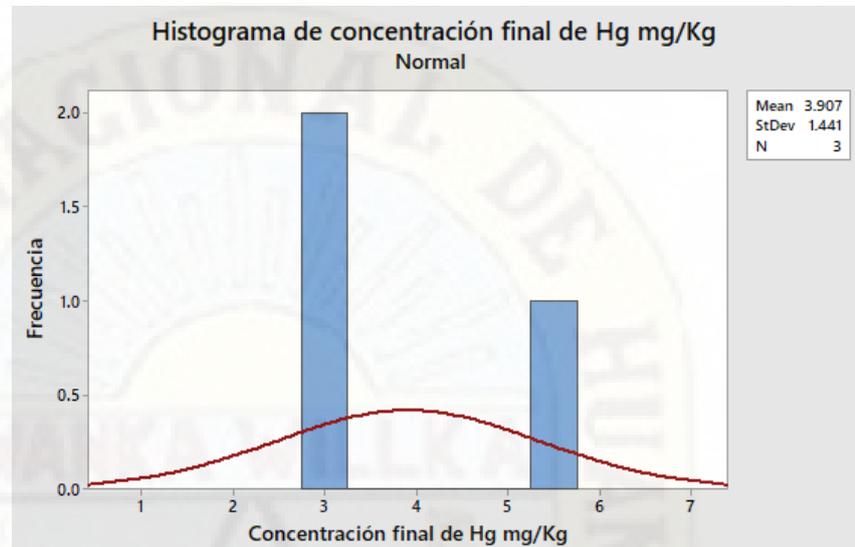


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: En la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 52**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Concentración Final de Hg mg/Kg Después de la Fitorremediación con la Especie de Urtica urens*



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

**b) Aplicación del estadístico de prueba T de Student para una muestra para la especie *Urtica urens***

Dado que los datos se ajustan a una distribución normal se aplica un estadístico de prueba paramétrica como la T de Student para una muestra.

➤ **Formulación de hipótesis para la especie *Urtica urens***

**H<sub>0</sub>:** Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.

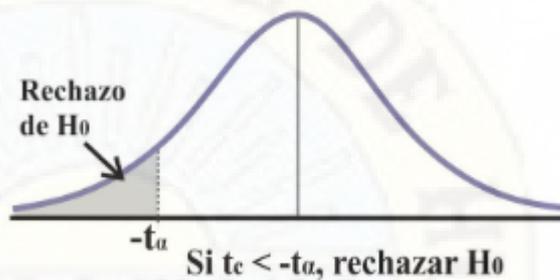
**H<sub>a</sub>:** Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.

$$H_0: \bar{X} > 6.6$$

$$H_a: \bar{X} \leq 6.6$$

**Figura 53**

*Curva de Distribución para T de Student*



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la curva de normalidad dibujada según la hipótesis planteada, cuando el T calculado es menor al T crítico, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

➤ **Aplicación del estadístico de prueba T de Student para la especie *Urtica urens***

**Tabla 20**

*Resumen de Estadística Descriptiva de la Concentración de Final de Hg*

<b>Estadística descriptiva</b>	<b>Concentración final de Hg mg/Kg</b>
Media	3.91
Mediana	3.10
Moda	0.00
Desviación estándar	1.44
Varianza de la muestra	2.08
Rango	2.52
Mínimo	3.05
Máximo	5.57
Cuenta	3.00
Nivel de confianza(95.0%)	3.58

Fuente: Elaboración propia

Aplicamos la siguiente fórmula de T de Student para una muestra.

$$\text{Fórmula: } T_{cal} = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$T_{cal} = -3.24$$

$$T_{tab} = -2.92$$

**Donde:**

Tcal: Estadístico de T calculada

x: Promedio muestral → 3.91

u: Media muestral → 6.6

S: Desviación estándar o típica → 1.44

n: Número de muestra → 3

Ttab: T tabulado → -2.92 (Ttab se obtiene de la tabla)

En los resultados se observa que el T calculado es menor al T tabulado, por ende, con un nivel de confianza de 95% rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna de que los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación con la especie de *Urtica urens*.

**4.2.5.2. Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación con la especie de *Amaranthus hybridus***

a) **Prueba de normalidad para la especie *Amaranthus hybridus***

➤ **Datos para la aplicación del test de normalidad para la especie *Amaranthus hybridus***

El conjunto de datos que fueron sometidos al test de normalidad antes de ser evaluados con el estadístico de prueba fueron la concentración final de Hg después de la aplicación de la fitorremediación con la especie de *Amaranthus hybridus*.

**Tabla 21**

*Concentración final de Hg en mg/Kg después de la fitorremediación con la especie de *Amaranthus hybridus**

Tratamiento	Repetición	Concentración final de Hg mg/Kg
<i>Amaranthus hybridus</i>	A1	5.24
	A2	6.12
	A3	7.85

Fuente: Elaboración propia

➤ **Formulación de la hipótesis para la especie *Amaranthus hybridus***

La prueba de normalidad es necesario aplicar al conjunto de datos para saber si se ajustan a una distribución normal.

**H<sub>0</sub>:** Los datos analizados siguen una distribución normal

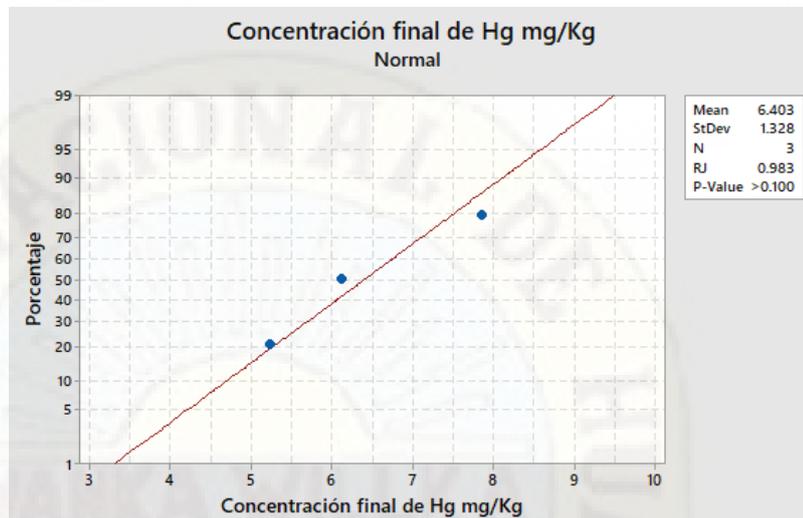
**H<sub>a</sub>:** Los datos analizados no siguen una distribución normal

➤ **Aplicación del test de normalidad para la especie *Amaranthus hybridus***

El test de normalidad se realizó en el software Minitab 2017, con el estadístico Shapiro-Wilk para muestras menores a 50 unidades.

**Figura 54**

*Test de Normalidad para Concentración Final de Hg mg/Kg*

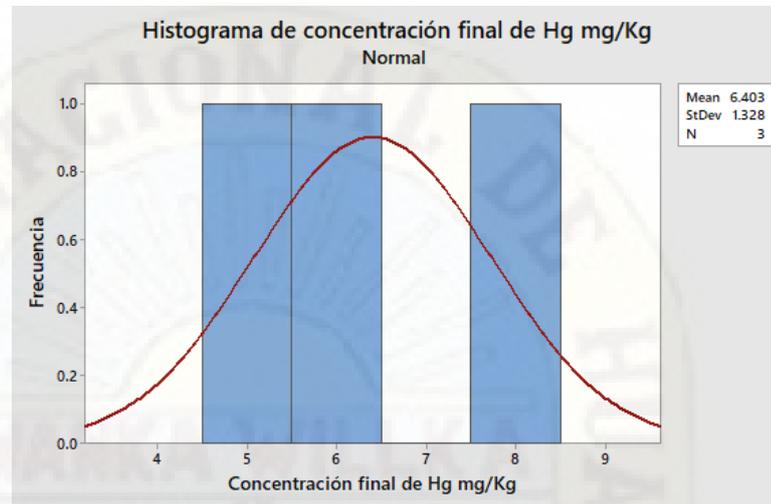


Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

Nota: en la figura se muestra que P valor es mayor a 0.1 que a su vez es mayor a 0.05 del valor de significancia, por ende, rechazamos la hipótesis alterna y con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula de que los datos se ajustan a una distribución normal.

**Figura 55**

*Histograma con Ajuste a una Curva Normal de la Concentración Final de Hg mg/Kg Después de la Fitorremediación con la Especie de *Amaranthus hybridus**



Fuente: Elaboración propia/generado en Minitab

**b) Aplicación del estadístico de prueba T de Student para una muestra para la especie *Amaranthus hybridus***

Dado que los datos se ajustan a una distribución normal se aplica un estadístico de prueba paramétrica como la T de Student para una muestra.

➤ **Formulación de hipótesis para la especie *Amaranthus hybridus***

**H<sub>0</sub>:** Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.

**H<sub>a</sub>:** Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad

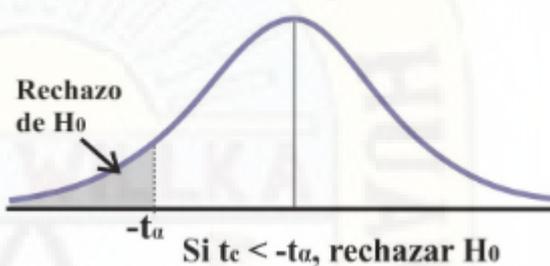
Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.

$$H_0: \bar{X} > 6.6$$

$$H_a: \bar{X} \leq 6.6$$

**Figura 56**

Curva de Distribución para T de Student



Fuente: Elaboración propia

Nota: En la curva de normalidad dibujada según la hipótesis planteada, cuando el T calculado es menor al T crítico, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

➤ **Aplicación del estadístico de prueba T de Student para una muestra para la especie *Amaranthus hybridus***

**Tabla 22**

Resumen de la Estadística Descriptiva de la Concentración Final de Hg mg/Kg después de la fitorremediación con la Especie de *Amaranthus hybridus*

Estadística descriptiva	Concentración final de Hg mg/Kg
Media	6.40
Mediana	6.12
Moda	-
Desviación estándar	1.33
Varianza de la muestra	1.76
Rango	2.61

Mínimo	5.24
Máximo	7.85
Cuenta	3.00
Nivel de confianza(95.0%)	3.30

Fuente: Elaboración propia

Aplicamos la siguiente fórmula de T de Student para una muestra.

$$\text{Fórmula: } T_{cal} = \frac{X - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$T_{cal} = -0.26$$

$$T_{tab} = -2.92$$

**Donde:**

x: Promedio muestral → 6.40

u: Media muestral → 6.6

S: Desviación estándar o típica → 1.33

n: Número de muestra → 3

Ttab: T tabulado → -2.92 (Ttab se obtiene de la tabla de T de Student de una cola a la izquierda).

Nota: En los resultados se observa que el Tcalculado es mayor al T tabulado, por ende, con un nivel de confianza de 95% rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la hipótesis nula de que los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación con la especie de *Amaranthus hybridus*.

### 4.3. Discusión de resultados

Se evaluó la eficacia fitorremediadora de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en suelos contaminados con mercurio del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara, se comparó la concentración inicial del mercurio en mg/Kg y concentración final de la misma en mg/Kg después de haber realizado los tratamiento, finalizándose con una concentración final promedio del *Amaranthus hybridus* de 6.40 mg/Kg y en la *Urtica urens* de 3.90 mg/Kg esto equivalente a una remoción promedio del 25.75% y 50.50 % respectivamente, considerando la especie de mejor tratamiento en la remoción de mercurio a la *Urtica urens*; de igual manera en la investigación de Mogollón et al. (2018) experimento con la especie *Urtica urens* al inicio se tenía una concentración de 4.10 mg/Kg mercurio y al final del tratamiento de 0.10 mg/Kg lo cual obtuvo una remoción del 98%, en otro estudio Llanos (2017) muestra que al inicio del experimento se tenía una concentración de 2.80 mg/Kg mercurio y al final del experimento obtuvo una concentración de 1.90 en dos meses de tratamiento, logrando un porcentaje de remoción 32.14 % usando la especie *Amaranthus hybridus* no siendo tan favorable como con la especie de la *Urtica urens*. De igual manera; Marcelo (2017) hizo ensayos con la especie *Urtica urens* y con diferentes otros metales pesados en los que concluyeron que la remoción fue muy favorable con los metales de cromo, antimonio, cobre, arsénico y titanio obteniendo un porcentaje de remoción de 81.56%, 80.83%, 49.68, 37.58% y 24.93% respectivamente; por lo tanto, es una muy buena opción en la fitorremediación de metales tóxicos para el ambiente. Por lo tanto, de acuerdo a Bazán & Rojas (2018) en su investigación la aplicación de Fitorremediación a suelos contaminados por metales pesados donde se analizaron 78 especies vegetales, concluyeron que la *Urtica urens* es una planta acumuladora de Hg y Al al igual que en el presente trabajo de investigación.

En la aplicación de la técnica de fitorremediación para la descontaminación de suelo contaminado con metales pesados, existen variedad

de plantas que se pueden utilizar. Según Marrero et al. (2012) las plantas pueden considerarse hiperacumuladoras de metales pesados, pero no siempre tendrán el rendimiento adecuado, esto se debe a las diferentes concentraciones de estos elementos tóxicos presentes en el suelo, ya que a mayor concentración crecen lentamente y producen biomasa reducida, menciona también Navarro et al. (2007) que así como hay oligoelementos para el desarrollo de las plantas, existen elementos químicos en mayoría metales pesados que no cumplen ninguna función biológica, como el Hg considerado altamente tóxico, cuya presencia de este elemento en el suelo altera el normal desarrollo de las plantas, es por eso que se aprecia la diferencia en cuanto a la variación de altura de la especie *Urtica Urens*, cuya altura promedio final después de 5 meses de tratamiento fue de 28.8 cm para un suelo con Hg menor a los ECA respecto a un suelo con Hg mayor a los ECA en la cual se registró la altura promedio final de 28.1cm. La diferencia no es mucho, ya que la especie *Urtica urens* es una planta silvestre ruda, que se adapta a cualquier medio climático y es muy tolerante a cualquier variedad de suelo, especialmente si estas contienen alto contenido de nitrógeno y humedad, pero como especifica Jara et al. (2014) en concentraciones altas de metales pesados la producción de biomasa, número de hojas y alturas disminuye significativamente en la especie de *Urtica urens*.

Según se detalla en el trabajo de investigación de Conislla (2018) el *Amaranthus hybridus* se desarrolla óptimamente en la costa y zonas de la sierra peruana que abarca desde el nivel del mar hasta los 3350 msnm, y de manera favorable a los 2500 msnm con una temperatura promedio de 15°C. En el presente trabajo de investigación estas plantas fueron sometido a temperaturas promedio de 13°C, a 3680 msnm, por ende, su desarrollo fue limitado por el factor clima. Por otro lado, vemos que existe variación en el crecimiento de la especie de *Amaranthus hybridus* en un suelo con concentración de mercurio mayor a los Estándares de Calidad Ambiental para suelo agrícola, cuyo promedio de altura final fue de 27.53 cm, respecto a un suelo con concentración de mercurio menor al ECA en la cual se obtuvo un promedio de altura final de 34.50 cm. En su trabajo de investigación Llanos & Ugaz (2017) encontraron que

la especie *Amaranthus hybridus* se desarrolló normalmente en un suelo ácido de 3.05, es decir el pH alto no afecta el desarrollo y crecimiento de esta especie que esta considera como maleza y se adapta a pH ácido fácilmente, así como a pH neutro y alcalino, de igual manera en nuestra investigación la especie *Amaranthus hybridus* se desarrolló en un pH ácido de 6.4 y de 6.8 por lo cual no se notó una gran diferencia en las especies desarrolladas en la matriz "B" con suelo orgánico con un pH de 7.24.

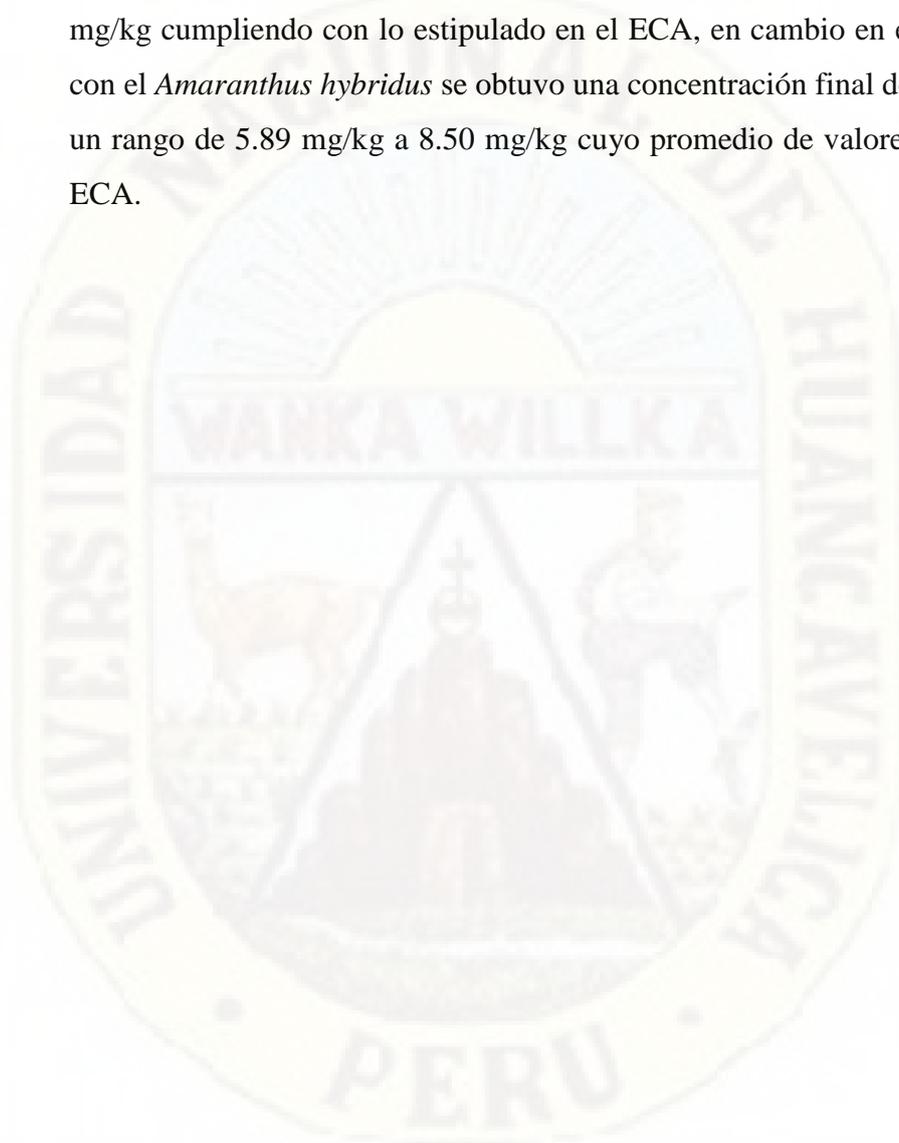
Finalmente, el porcentaje de remediación de *Urtica urens* fue de 50.54% disminuyendo la concentración de Hg de 9.10 mg/kg hasta 3.9 mg/kg en promedio, menor a 6.6 mg Hg/kg que es valor límite de los ECA para suelo orgánico. Por otro lado, el tratamiento con la especie *Amaranthus hybridus* tuvo un rendimiento más bajo 25.75 % de porcentaje de remoción, donde se removió 3.06 mg Hg/Kg por suelo cuyo valor es inferior a 6.6 del valor de ECA.

## CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo de investigación se llegaron a las siguientes conclusiones para cada objetivo planteado:

- La especie *Urtica urens* obtuvo un 50.26 % y el *Amaranthus hybridus* obtuvo un de 25.75% en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021. Ninguna de las especies superó el valor límite establecido de 60 % para ser considerados eficaces.
- Se determinó que el mejor tratamiento en la fitorremediación para la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021 es la especie *Urtica urens* con una concentración inicial promedio de 9.10 mg/Kg y obteniéndose después de la aplicación del tratamiento una concentración final promedio de 4.55 mg/Kg. En cambio, el tratamiento con el *Amaranthus hybridus* tuvo como concentración inicial promedio de 9.46 mg/Kg obteniéndose una concentración final promedio de 7.05 mg/Kg de mercurio después de la fitorremediación.
- En la variación de la altura del tallo de la *Urtica urens* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, se obtuvo una altura promedio final 28.1 cm de en la matriz A y en la matriz B se obtuvo una altura promedio final de 28.8 cm; concluyendo que no existe variación de altura de un suelo contaminado con Hg mayor al ECA respecto a un suelo con Hg menor al ECA.
- En la variación de la altura del tallo del *Amaranthus hybridus* en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, se obtuvo una altura promedio final 27.53 cm de en la matriz A y en la matriz B se obtuvo una altura promedio final de 34.5 cm; concluyendo que si existe variación de altura de un suelo contaminado con Hg mayor al ECA respecto a un suelo con Hg menor al ECA.
- De acuerdo al análisis del informe de laboratorio, al inicio de la investigación se comprobó la existencia de altas concentraciones de Hg desde los 7.93 mg/Kg hasta > 25 mg/Kg de concentraciones de Hg que superan los Estándares de

Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para suelo agrícola. Al finalizar los tratamientos de fitorremediación se obtuvo que, las concentraciones de mercurio en las muestras de suelo con tratamiento de *Urtica urens* bajaron en un rango de 3.70 mg/kg hasta 6.22 mg/kg siendo estos valores menores a 6.6 mg/kg cumpliendo con lo estipulado en el ECA, en cambio en el tratamiento con el *Amaranthus hybridus* se obtuvo una concentración final de mercurio en un rango de 5.89 mg/kg a 8.50 mg/kg cuyo promedio de valores superan los ECA.



## RECOMENDACIONES

- Para realizar trabajos de investigación empleando un sistema de planta piloto en donde se utilicen especies vegetales es necesario contar con un ambiente que cuente con una protección adecuada y ventilada para las precipitaciones y fuertes corrientes de viento que puedan afectar el diseño experimental.
- Es recomendable el uso de la especie *Urtica urens* para futuros estudios de fitorremediación, pues esta especie se adapta a climas fríos y cálidos con facilidad. En cambio, la especie *Amaranthus hybridus* crece en climas cálidos como en los distritos de Angaraes, Castrovirreyna y Huaytará por ello su desarrollo es eficaz en este tipo de clima al contrario de su uso en climas fríos; por lo tanto, es necesario que se continúen realizando posteriores investigaciones de fitorremediación con especies que se adapten a cada clima del lugar de estudio.
- El mercurio es un elemento químico volátil a temperatura ambiente (15°C), y a la vez está considerado como uno de los metales pesados más tóxicos del mundo, por ende, se recomienda tener cuidado a la hora de realizar trabajos de investigación que involucren la manipulación directa de este elemento.
- Las especies de plantas que se usan en la fitorremediación de suelos contaminados tienen un alto contenido de metales pesados al finalizar el periodo de tratamiento, por ende, el manejo y disposición final de estas especies se debe realizar de manera adecuada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amancio, N. (2011). *Tras 11 años del derrame de mercurio, síntomas persisten en Choropampa*. El Comercio. [https://archivo.elcomercio.pe/ciencias/planeta/11-anos-derrame-mercurio-sintomas-persisten-choropampa-noticia-761410?ref=flujo\\_tags\\_278554&ft=nota\\_1&e=imagen](https://archivo.elcomercio.pe/ciencias/planeta/11-anos-derrame-mercurio-sintomas-persisten-choropampa-noticia-761410?ref=flujo_tags_278554&ft=nota_1&e=imagen)
- Arana, M. (2009). El caso del derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1), 113–118.
- Arellano, J. (2002). Introducción a la ingeniería ambiental. In *British Journal of Cancer*. Instituto Politécnico Nacional.
- Arreola Ávila, J. G., Flores Hernández, A., López Ariza, B., Ortiz Cano, H. G., Trejo Calzada, R., & Valdez Cepeda, R. D. (2009). Fitoextacción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 161–168. Retrieved August 27, 2019, from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n2/v15n2a9.pdf>
- Aurelio, R., López, N., Vong, Y. M., Ortega, R., & Olguín, E. J. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. 69–83.
- Baldo, M. (2005). *Impacto ambiental en áreas afectadas por minería antigua de mercurio en el concejo de Mieres (Asturias)*. <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/1670>
- Bazán Galarreta, T. P., & Rojas Sánchez, D. (2018). Remoción de metales pesados con *Juncus arcticus* y *Urtica dioica* en un relave minero, Distrito Huamachuco - La Libertad. In *Universidad César Vallejo*. Universidad César Vallejo.

- Bueno, E. (2003). *La investigación científica: Teoría y metodología*.
- Blesa, M. A., & Castro, G. (2015). *Historia natural y cultural del mercurio* (1st ed.). Asociación argentina para el progreso de las Ciencias. <http://aargentinapciencias.org/2/images/LibrosDigitales/HistoriaNaturalYCulturalDelMercurio.pdf>
- Bonilla, S. M. (2013). *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Brown, K. W. (2001). Workers' Health and Colonial Mercury Mining at Huancavelica, Peru. *The Americas*, 57(4), 467–496. <https://doi.org/10.1353/tam.2001.0030>
- Brutti, L., Beltrán, M., & Garcia de Salomone, I. (2018). *Biorremediación de los Recursos Naturales*. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/biorremediacion\\_de\\_los\\_recursos\\_naturales.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/biorremediacion_de_los_recursos_naturales.pdf)
- Capdevilla, L., Zilletti, B., & Suárez, V. (2011). Manual de las especies exóticas invasoras de los ríos y riberas de la cuenca hidrográfica del Duero. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino de España. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Contreras, C., Vásquez, N., & Díaz, L. (2013). Intoxicación accidental Por Mercurio Elemental. *Acta Médica Peruana*, 31(1), 1–5.
- Cotrina, R. H., Fonseca, E. G., Sánchez, L. A., & Zavaleta, Karla E. (2018). *Influencia del Amaranthus hybridus en la remoción de metales pesados en suelos contaminados por la minería en Shiracmaca – Huamachuco, La Libertad*. Universidad César Vallejo.

- Covarrubias, S. A., & Peña, J. J. (2017). *Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación*. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Delgadillo, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 597–612. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002)
- Díaz Dávila, M. Y. (2017). Capacidad De Acumulación De La Ortiga (*Urtica urens*) Para La Fitorremediación De Suelos Contaminados Con Plomo En La Oroya, Junín, 2017. In *Universidad César Vallejo*. Universidad César Vallejo.
- Domenech, X., & Peral, J. (2012). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Editorial Reverté.
- DPP, D. del pueblo P. (2001). *Informe Defensorial N° 62: El Caso Del Derrame De Mercurio Que Afectó a Las Localidades De San Sebastián De Choropampa, Magdalena Y San Juan, En La Provincia De Cajamarca*.
- EA, E. en A. (2005). Hacia un mundo sin mercurio.
- Esteban, E., Gamarra Gamarra, R., Peñalosa Olivares, J., Moreno, E., Sierra, M., Schmid, T., Carpena Ruiz, R., & Millán, R. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(2), 6.
- FAO. (2015a). El suelo es un recurso no renovable. In *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. [fao.org/soils-2015](http://fao.org/soils-2015)
- FAO. (2015b). Las funciones del suelo. *Infografía*, 1. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/294325/>

- FAO. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos*.
- FAO. (2019). *Definiciones claves: ¿Qué es el suelo?* Portal de Suelos de La FAO.  
<http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fernandez, L. (2013). *Mercurio en Madre de Dios, Concentraciones de mercurio en peces y seres humanos en Puerto Maldonado*.  
<http://www.actualidadambiental.pe/wp-content/uploads/2013/09/Estudio-sobre-niveles-de-mercurio-en-población-de-Madre-de-Dios1.pdf>
- Figueroa, M., & Guzmán, R. (2001). *Química*. FIRMAS Press.
- Foreno, L. (2019). *Blog buscando América: Identificarán y remediarán pasivos ambientales mineros de Huancavelica*. Huachos.Com.  
<https://www.huachos.com/detalle/blog-buscando-america-identificaran-y-remediaran-pasivos-ambientales-mineros-de-huancavelica-noticia-8219>
- Fried, G. (1990). *BIOLOGÍA*. McGraw-Hill Interamericana.
- Gomez, C. (2013). *"Determinación de la tolerancia a Plomo (Pb), Cadmio (Cd) Y Mercurio (Hg) de Pistia stratiotes "HUAMA", Eichhornia crassipes "PUTU. PUTU" Y Lemna minor "LENTEJITA"*. 1–98.  
[http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo\\_Tesis\\_Titulo\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guerrero, K. (2015a). *Fitoextracción de cadmio y plomo utilizando quelite (Amaranthus hybridus L.) y cinco agentes quelantes (Vol. 1)*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Guerrero, K. (2015). *Fitoextracción de cadmio y plomo utilizando quelite (Amaranthus hybridus L.) y cinco agentes quelantes (Vol. 1, Issue 30)*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGrawHillEducación (ed.);

Sexta edic).

- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145–154. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Junceda, J. (2002). Sobre la contaminación del suelo. *Revista de Administración Pública*, 157–421.
- Lillo, J. (2008). Impactos de la minería en el medio natural. *Grupo de Estudios En Minería y Medioambiente*, 1–38.
- Llanos Gosgot, C. (2017). Capacidad fitoextractora de *Amaranthus hybridus* L. y micorrizas en suelos contaminados con metales pesados, Sector Shorey, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad. In *Universidad César Vallejo*. Universidad César Vallejo.
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- López, M., & Martínez, M. (2018). *El mercurio: sus fuentes de emisión, usos e impactos*. Editorial CSIC Consejo Superior de Investigación Científica.
- Marcelo, J. G. (2017). *Capacidad fitorremediadora de Urtica urens* L. en suelos con metales pesados del sector Campanario, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad. Universidad César Vallejo.
- Marconi, J. (1990). *El suelo* (Vol. 56, Issue 1). El Cid Editor.
- Marrero, J., Amores, I., & Coto, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 46(3), 52–61.

- Marroquín, R. (2012). *Metodología de la investigación*. Universidad Nacional De Educación Enrique Guzmán Y Valle.
- Mentaberry, A. (2011). Fitorremediación. In *Agrobiotecnología* (p. 63). Departamento de fisiología, Biología Molecular y Celular. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM\\_fitorremediacion\\_argentina\\_25620.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf)
- MINAM. (2006). *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*. [http://www.ghbook.ir/index.php?name=&option=com\\_dbook&task=readonline&book\\_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component](http://www.ghbook.ir/index.php?name=&option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component)
- MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. In *El Peruano*. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- MINAM, (Ministerio del Ambiente). (2014). Guía para el Muestreo de Suelos. In *Ministerio Del Ambiente* (p. 72). <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Mogollón, C. E., Parrilla, Y., Sotero, P., & Valderrama, D. (2018). Remoción de metales pesados con *Urtica urens* L. en suelos contaminados del distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, La Libertad [Universidad César Vallejo]. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mokate, K. (2002). *Instituto Interamericano para el Desarrollo Social (INDES)*.  
final.pdf
- Navarro, A., Aguilar, A., & López, M. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la

- tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(July), 10–25.
- Navarro, S., & Navarro, G. (2003). *Química agrícola*. Mundi-Prensa. <https://books.google.es/books?id=HufLwjgirtwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olgún, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Fitorremediacion*, 4, 15. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ortega, A., & Malavolta, E. (2012). Los más recientes micronutrientes vegetales. *Informaciones Agronómica de Hispanoamérica*, 7, 16–25.
- Ortíz, O., Ize, I., & Gavilán, A. (2009). La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México. *Instituto Nacional de Ecología*, 69(Saval 1995), 83–92.
- Osca, J. (2019). *Guía para reconocimiento de plántulas de malas hierbas* (Vol. 1, Issue 1). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Osores, F., Rojas, J., & Lara, C. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29(1), 38–42.
- Perez, M. (2012). *Ficha de Amaranthus hybridus*. Botánica Y Jardines. <http://www.botanicayjardines.com/amaranthus-hybridus/>
- PNUMA. (2002). Evaluación mundial sobre el mercurio. In *Panorama*.
- Porcuna, J. (2010). La ortiga. *AE. Agricultura y Ganadería Ecológica.*, 2, 1. [https://www.agroecologia.net/recursos/Revista\\_Ae/Ae\\_a\\_la\\_Practica/fichas/N2/Revista\\_AE\\_Nº2\\_ficha\\_planta.pdf](https://www.agroecologia.net/recursos/Revista_Ae/Ae_a_la_Practica/fichas/N2/Revista_AE_Nº2_ficha_planta.pdf)
- Ramón, G. (2014). Diseños experimentales. *Artículo*, 38.

- Reyes, M. (2009). *Aplicación del diseño experimental en el desarrollo de las prácticas internas, en el área de operaciones unitarias*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & Gonzáles, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 12. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Rodríguez, Javi. (2013). *Almadén, la Mina de mercurio más grande del mundo*. <https://www.escapadarural.com/blog/un-pueblo-sobre-una-mina-de-mercurio/>
- Rodríguez, José. (2015). *Ortiga (Urtica sps.)*. Proyecto Sierra de Baza. <http://www.sierradebaza.org/index.php/component/content/article/82-principal/fichas-tecnicas/fichas-flora/723-urtica-spe>
- Sandí Ureña, R. (2008). *Herencia y evolución: ¿las especies cambian?* Organización de Estados Iberoamericanos. Retrieved October 8, 2020, from <https://www.oei.es/historico/fpciencia/art09.htm>
- Sankoumba, M., Doan, C., Pérez, Y., & Gonzáles, G. (2014). Biotecnología vegetal. *Biotecnología Vegetal*, 14, 44–52.
- Santana, V., Medina, G., & Torre, A. (2014). *El Convenio de Minamata sobre el Mercurio y su implementación en la región de América Latina y el Caribe*. [http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/publications/informe\\_Mi namata\\_LAC\\_ES\\_FINAL.pdf](http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/publications/informe_Mi namata_LAC_ES_FINAL.pdf)
- Sanz, M., Dana, E., & Sobrino, E. (2004). *Plantas alóctonas invasoras en España*. Secretaria general para el territorio y la biodiversidad. [http://www.animalrecord.net/Atlas\\_Plantas\\_Aloctonas\\_Espana.pdf](http://www.animalrecord.net/Atlas_Plantas_Aloctonas_Espana.pdf)
- Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la

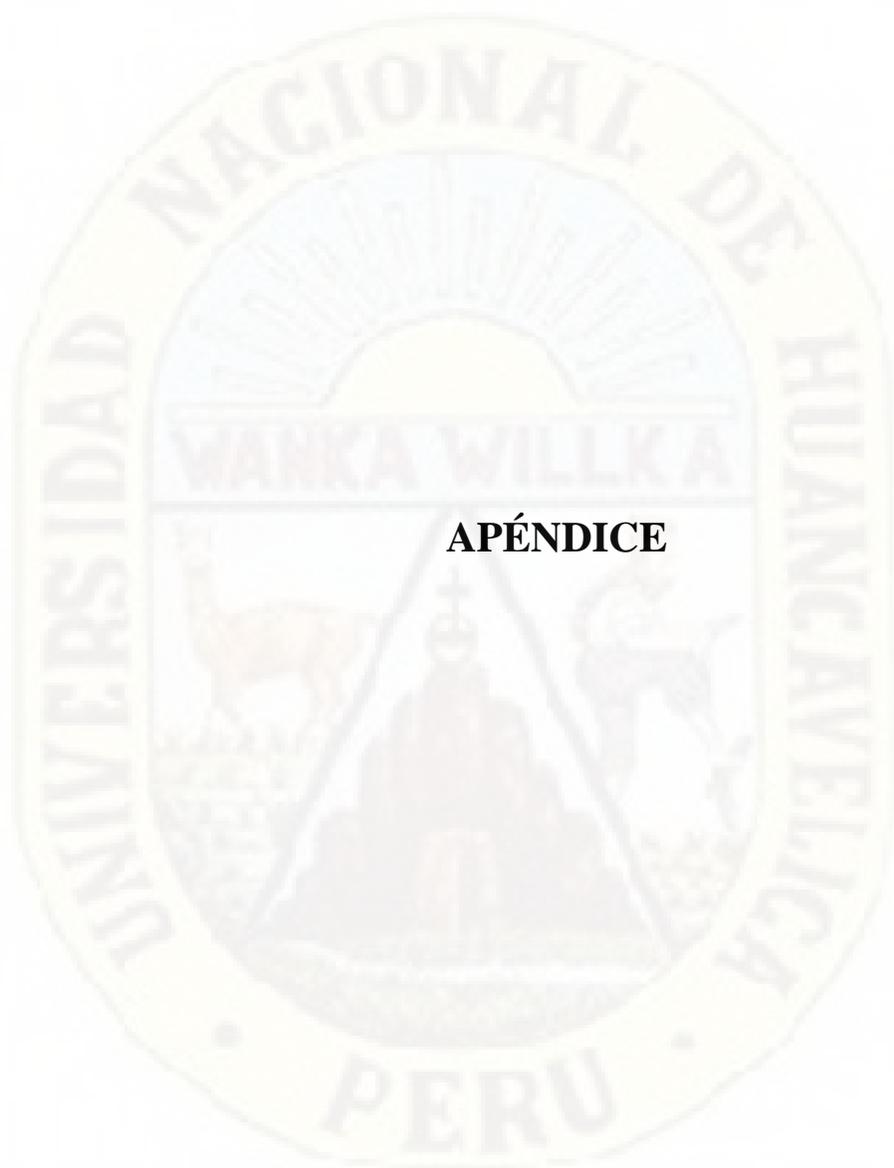
normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>

SINIA. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo* / SINIA /. Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

Thoms, B., & Robins, N. (2015). Proyecto de Remediación del Mercurio. *The Environmental Health Council*, 1–45.

UPN. (2019). *Amaranthus hybridus* L. Herbario de La Universidad Pública de Navarra. [https://www.unavarra.es/herbario/htm/Amar\\_hybr.htm](https://www.unavarra.es/herbario/htm/Amar_hybr.htm)

Yarto, M., Gavilán, A., & Castro, J. (2009). La contaminación por mercurio en Mexico. *Gaceta Ecologica*, 72, 21–34.



## APÉNDICE

**Apéndice 1**

**Tabla 23**

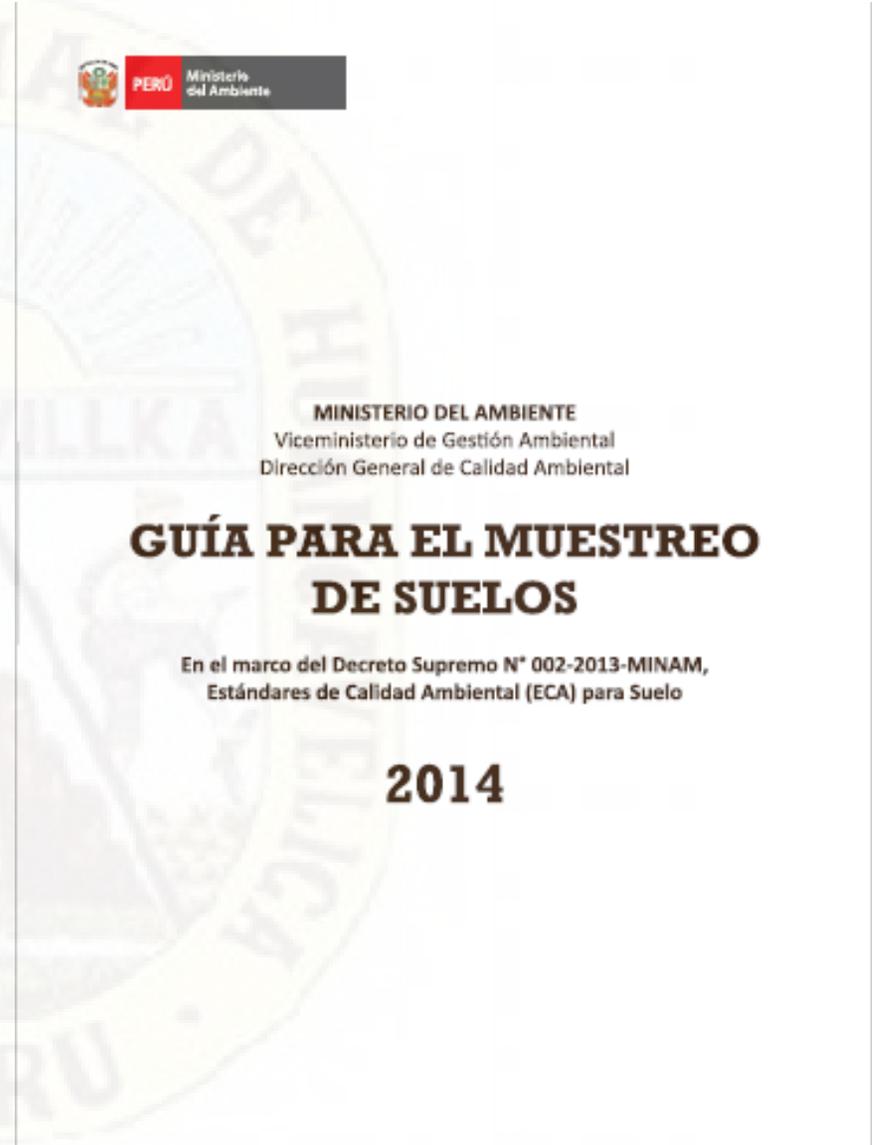
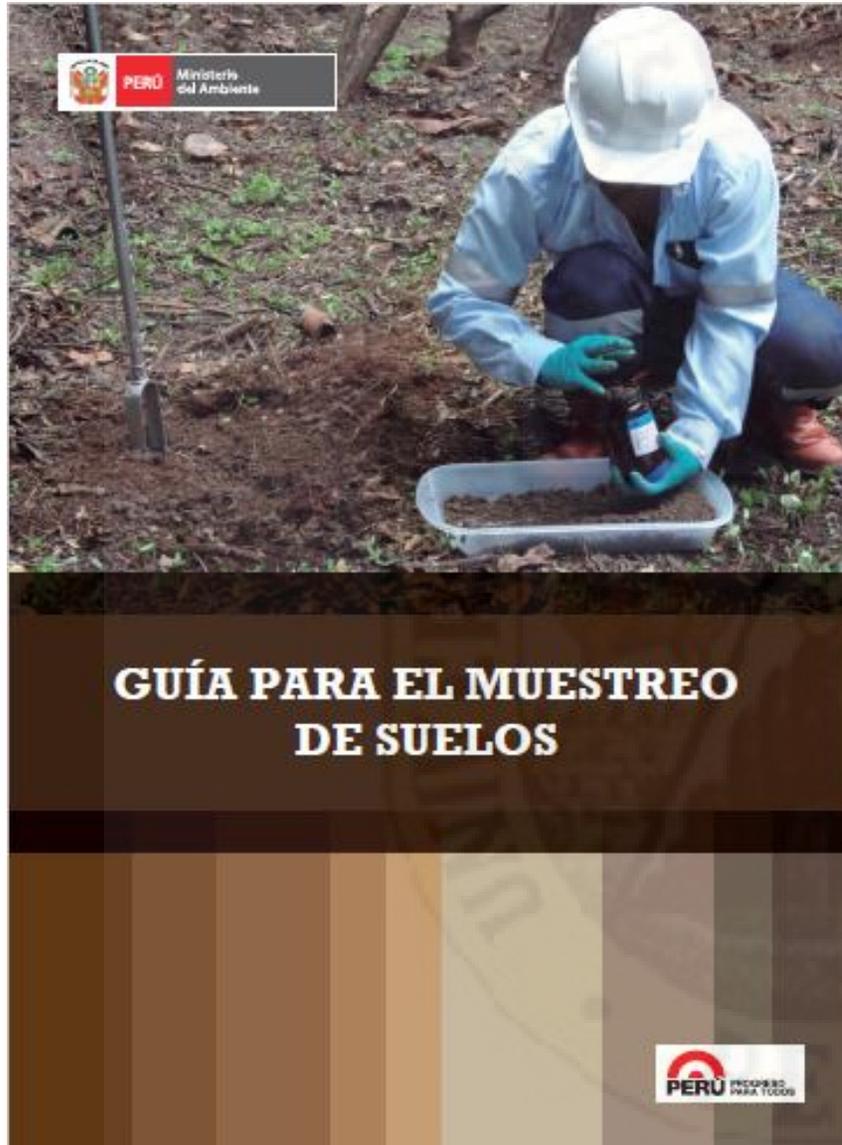
*Matriz de Consistencia*

**TITULO: EFICACIA FITORREMIADORA DE LAS ESPECIES *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* EN LA REMOCIÓN DE MERCURIO EN SUELOS DEL PASIVO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BÁRBARA-HUANCAVELICA-2021**

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables y Dimensiones	Método
<p><b>General</b> ¿Cuál es la eficacia fitorremediadora de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021?</p>	<p><b>General</b> Evaluar la eficacia fitorremediadora de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.</p>	<p><b>General</b> Las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> son eficaces con un porcentaje de remoción mayor a 60% en la fitorremediación de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.</p>	<p><b>Variable independiente</b> Eficacia fitorremediadora de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio.</p> <p><b>Variable dependiente</b> Concentración de mercurio en suelos en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.</p>	<p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo o experimental</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <hr/> <p><b>Población y muestra:</b> La población de estudio será los suelos contaminados por el pasivo ambiental minero de Santa Bárbara.</p> <p>La muestra será representada por 45 puntos de muestreo dentro del área de estudio (población).</p>

<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Especificas</b>
a. ¿Cuál es el mejor tratamiento en la fitorremediación de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica - 2021?	a. Determinar el mejor tratamiento en la fitorremediación de las especies <i>Urtica urens</i> y <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.	a. La especie <i>Urtica urens</i> es el mejor tratamiento en la fitorremediación en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.
b. ¿Cuál es la variación de altura del tallo de la <i>Urtica urens</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021?	b. Determinar la variación en la altura del tallo de la <i>Urtica urens</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.	b. La altura del tallo de la <i>Urtica urens</i> varía por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.
c. ¿Cuál es la variación de altura del tallo del <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021?	c. Determinar la variación en la altura del tallo del <i>Amaranthus hybridus</i> en la remoción de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021.	c. La altura del tallo del <i>Amaranthus hybridus</i> varía por la presencia de mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, respecto a un suelo sin mercurio.
d. ¿Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación?	d. Determinar si los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.	d. Los suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara – Huancavelica – 2021, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM) para mercurio luego de la fitorremediación.

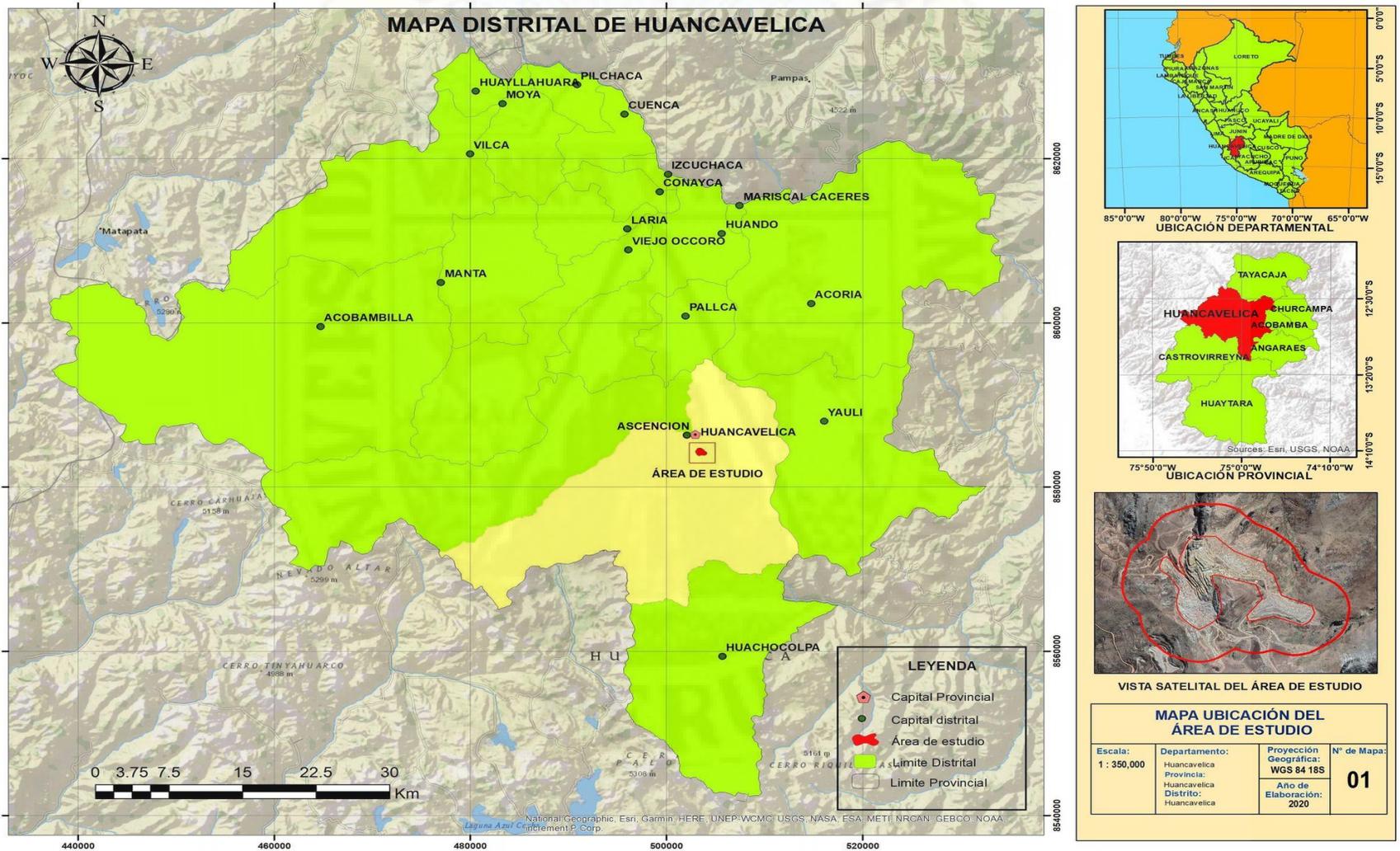
**Apéndice 2.** Guía para el muestreo de suelos 2014-Ministerios Nacional del Ambiente



### Apéndice 3. Mapas temáticos

Figura 57

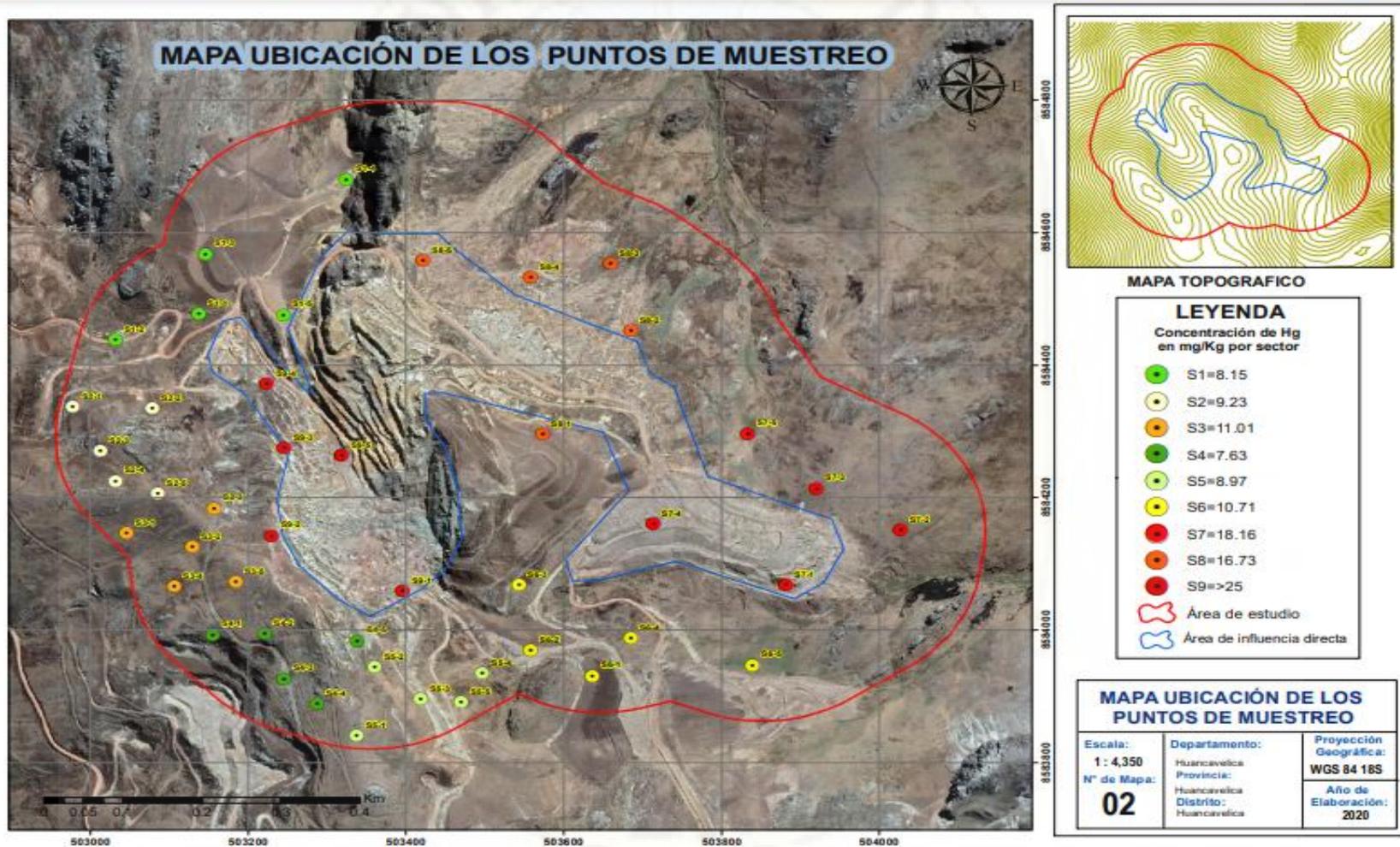
Mapa de Ubicación del Área de Estudio; La Mina de Santa Bárbara



Fuente: Elaboración propia

Figura 58

Mapa de Ubicación de los Puntos de Muestreo dentro del Área de Influencia Directa e Indirecta



Fuente: Elaboración propia

Figura 59

Distribución de Celdas de Tratamiento



Fuente: Elaboración propia

## Apéndice 4. Fichas de campo

Tabla 24

Guía de Observación, Recojo de Información Básica del Área de Intervención

<b>Ubicación</b>					
<b>Departamento:</b>	Huancavelica	<b>Provincia:</b>	Huancavelica	<b>Distrito:</b>	Huancavelica
<b>Fecha:</b>	19 de mayo del 2021		<b>Hora:</b>	9.00hrs, 12:00hrs, 16:00hrs	
<b>Responsable de recojo de información:</b>	✓ Silvia Maria Sedano Areche ✓ Armando Rafael Zanabria Mallqui				
<b>Guía:</b>	Ing. Santos Silvestre Responsable de la Unidad minera de santa Bárbara-Empresa Sociedad Minera El Brocal SAA.				

<b>1. Medio físico</b>	
<b>1.1. Topografía y geomorfología</b>	
Elevación	El área de intervención se encuentra entre los 3680 y 4090 msnm
Descripción de la topografía y geomorfología	El área de intervención muestra una típica geografía de valles interandinos con pendientes pronunciadas y suaves, originadas por la acción erosiva de los cursos de aguas de ríos y quebradas provenientes de las partes más altas.
<b>1.2. Clima</b>	
Clima	El clima es frío seco
Dirección y velocidad del viento	La velocidad del viento en promedio es de 11 km/h.
Temperatura	10 °C
Precipitación	La precipitación se da en los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero. El promedio anual es de 885 mm/m <sup>2</sup> .
<b>1.3. Suelo</b>	
Tipo de suelo	Suelo limo arcilloso
Capacidad de uso mayor de los suelos	tierra de protección, en el área de intervención, la mayor parte es el relave minero en el tajo abierto, pero existen zonas pequeñas que son consideradas suelos agrícolas.
Uso actual de suelo	Pasivo ambiental minero.
<b>2. Medio biológico</b>	
Flora	En el área de intervención se hallan las siguientes variedades de flora: Ichu en su mayoría, ortiga, gramas, etc.
Fauna	En el área de intervención se hallan las siguientes variedades de fauna: Zorros andinos, vizcachas, roedores, aves, reptiles.
<b>3. Medio Socioeconómico</b>	
Población	CCPP de Santa Bárbara con 50 comuneros aproximadamente.
Transporte, red vial y comunicaciones	Carretera afirmada que conecta Huancavelica con Pueblo libre
Agricultura	Dentro del área de intervención se encuentran indicios (surcos) de la existencia en algún momento de agricultura, pero en la actualidad toda el área está administrada por la Empresa Sociedad Minera El Brocal SAA.
Ganadería	La población cercana de Santa Bárbara se dedica a la ganadería de alpacas y ovejas que son pastadas en las inmediaciones y dentro del área de intervención.

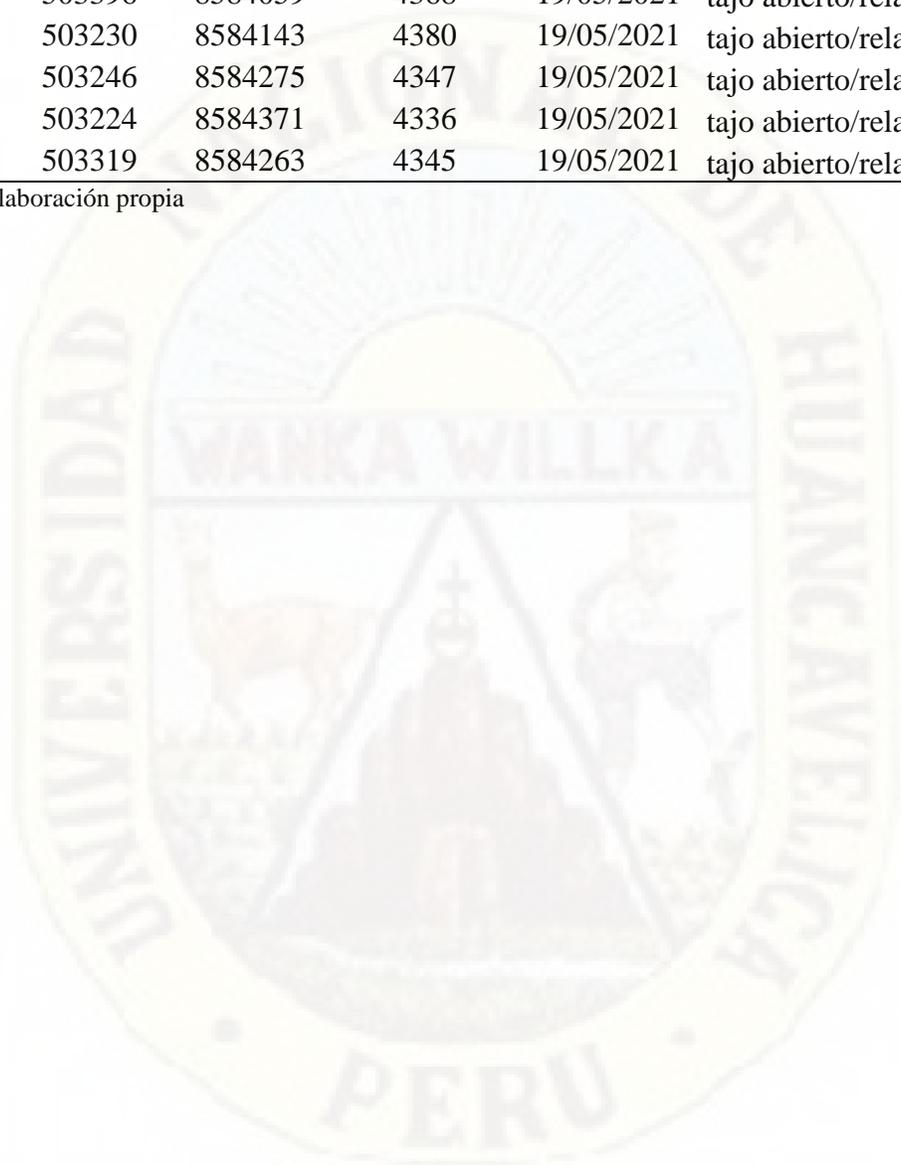
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25***Ficha de Campo de Puntos de Muestreo de Suelo*

<b>Sector</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Fecha</b>	<b>Observación</b>
S1-1	503138	8584477	4275	19/05/2021	Suelo agrícola
S1-2	503032	8584438	4299	19/05/2021	Suelo orgánico
S1-3	503146	8584568	4315	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S1-4	503325	8584681	4317	19/05/2021	Suelo orgánico
S1-5	503245	8584476	4310	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S2-1	502978	8584337	4321	19/05/2021	suelo orgánico
S2-2	503079	8584334	4339	19/05/2021	suelo agrícola
S2-3	503013	8584271	4347	19/05/2021	suelo orgánico
S2-4	503032	8584226	4314	19/05/2021	suelo orgánico
S2-5	503086	8584206	4313	19/05/2021	suelo agrícola
S3-1	503046	8584146	4318	19/05/2021	suelo agrícola
S3-2	503129	8584125	4358	19/05/2021	suelo agrícola
S3-3	503157	8584184	4380	19/05/2021	suelo inorgánico
S3-4	503106	8584065	4350	19/05/2021	suelo inorgánico
S3-5	503184	8584073	4394	19/05/2021	suelo orgánico
S4-1	503156	8583994	4358	19/05/2021	suelo orgánico
S4-2	503221	8583995	4398	19/05/2021	suelo orgánico
S4-3	503246	8583927	4396	19/05/2021	suelo inorgánico
S4-4	503288	8583889	4362	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S4-5	503339	8583985	4378	19/05/2021	suelo orgánico
S5-1	503338	8583841	4393	19/05/2021	suelo orgánico
S5-2	503361	8583944	4390	19/05/2021	suelo inorgánico
S5-3	503419	8583896	4384	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S5-4	503497	8583935	4367	19/05/2021	suelo orgánico
S5-5	503471	8583892	4375	19/05/2021	suelo orgánico
S6-1	503636	8583931	4348	19/05/2021	suelo orgánico
S6-2	503558	8583970	4355	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S6-3	503543	8584068	4360	19/05/2021	suelo orgánico
S6-4	503685	8583988	4335	19/05/2021	suelo orgánico
S6-5	503839	8583948	4310	19/05/2021	suelo orgánico
S7-1	503881	8584069	4315	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S7-2	504027	8584151	4292	19/05/2021	suelo agrícola
S7-3	503920	8584214	4315	19/05/2021	suelo agrícola
S7-4	503713	8584160	4333	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S7-5	503833	8584297	4298	19/05/2021	suelo agrícola
S8-1	503573	8584295	4354	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero

S8-2	503685	8584452	4276	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S8-3	503659	8584553	4245	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S8-4	503558	8584532	4280	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S8-5	503422	8584558	4314	19/05/2021	suelo inorgánico/relave minero
S9-1	503396	8584059	4368	19/05/2021	tajo abierto/relave minero
S9-2	503230	8584143	4380	19/05/2021	tajo abierto/relave minero
S9-3	503246	8584275	4347	19/05/2021	tajo abierto/relave minero
S9-4	503224	8584371	4336	19/05/2021	tajo abierto/relave minero
S9-5	503319	8584263	4345	19/05/2021	tajo abierto/relave minero

Fuente: Elaboración propia



## Apéndice 5. Base de datos

**Tabla 26**

*Ficha de control de parámetros de control de pH y C.E.*

FECHA	PARAMETROS																																
	PH												CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (uS/cm)																				
	MATRIZ A						MATRIZ B						MATRIZ C						MATRIZ A					MATRIZ B					MATRIZ C				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3			
04/06/2021	6.8	6.5	6.4	7.02	6.9	6.5	7.56	8.02	7.62	7.78	7.8	8.04	6.5	6.21	6.3	884	845	857	867	854	848	652	654	650	654	656	654	931	995	967			
02/07/2021	6.75	6.48	6.31	7.05	6.74	6.37	7.36	8.08	7.62	7.78	7.8	8.04	6.5	6.21	6.3	860	835	845	854	834	840	650	650	650	651	652	650	975	994	960			
06/08/2021	7.35	7.12	7.02	7.26	7.14	7.21	7.5	7.97	7.67	7.3	7.87	7.59	6.58	6.24	6.41	847	331	828	838	821	828	647	646	645	648	648	647	946	990	954			
03/09/2021	7.35	7.12	7.02	7.26	7.14	7.21	7.5	7.97	7.67	7.3	7.87	7.59	6.58	6.24	6.41	840	828	810	827	813	822	645	642	643	642	645	641	950	992	951			
15/10/2021	7.35	7.12	7.02	7.26	7.14	7.21	7.5	7.97	7.67	7.3	7.87	7.59	6.58	6.24	6.41	837	825	792	824	808	817	640	638	635	638	640	636	925	992	944			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27**

*Ficha de Registro de Temperatura*

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TEM AMB(°C)</b>	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TEM AMB(°C)</b>
	07:00	7.1		07:00	5
<b>04/06/2021</b>	12:00	14.2	<b>28/06/2021</b>	12:00	17.2
	16:00	11.8		16:00	12.1
	07:00	4		07:00	4.1
<b>06/06/2021</b>	12:00	15	<b>60/06/2021</b>	12:00	14.4
	16:00	12.4		16:00	8.4
	07:00	5		07:00	6.3
<b>08/06/2021</b>	12:00	12.6	<b>02/07/2021</b>	12:00	8.6
	16:00	11.6		16:00	9.1
	07:00	5.6		07:00	4.8
<b>10/06/2021</b>	12:00	16.1	<b>04/07/2021</b>	12:00	11.5
	16:00	16		16:00	4.4
	07:00	4.9		07:00	4
<b>12/06/2021</b>	12:00	14.5	<b>06/07/2021</b>	12:00	11.9
	16:00	12.7		16:00	10.4
	07:00	6.7		07:00	3
<b>14/06/2021</b>	12:00	16.6	<b>08/07/2021</b>	12:00	14.5
	16:00	11.5		16:00	12.1
	07:00	6		07:00	2
<b>16/06/2021</b>	12:00	14.5	<b>10/07/2021</b>	12:00	15.5
	16:00	5.5		16:00	16.5
	07:00	1.9		07:00	6
<b>18/06/2021</b>	12:00	14.1	<b>12/07/2021</b>	12:00	14.7
	16:00	11.1		16:00	14
	07:00	7		07:00	6.8
<b>20/06/2021</b>	12:00	16.1	<b>14/07/2021</b>	12:00	15
	16:00	8.5		16:00	12.6
	07:00	5.5		07:00	2.7
<b>22/06/2021</b>	12:00	14.9	<b>16/07/2021</b>	12:00	12.7
	16:00	12.4		16:00	8.9
	07:00	4.3		07:00	5
<b>24/06/2021</b>	12:00	15.5	<b>18/07/2021</b>	12:00	16.2
	16:00	11.1		16:00	9.9
	07:00	3		07:00	5
<b>26/06/2021</b>	12:00	15.1	<b>20/07/2021</b>	12:00	12.1
	16:00	12.6		16:00	11.2

FECHA	HORA	TEM AMB(°C)	FECHA	HORA	TEM AMB(°C)
	07:00	2.7		07:00	6.7
<b>22/07/2021</b>	12:00	16.7	<b>15/08/2021</b>	12:00	15.1
	16:00	10.7		16:00	14.6
	07:00	3		07:00	3.6
<b>24/07/2021</b>	12:00	16.7	<b>17/08/2021</b>	12:00	16.2
	16:00	9.4		16:00	16.8
	07:00	7		07:00	2.2
<b>26/07/2021</b>	12:00	14	<b>19/08/2021</b>	12:00	15
	16:00	11.1		16:00	11.5
	07:00	1.6		07:00	6.1
<b>28/07/2021</b>	12:00	16.9	<b>21/08/2021</b>	12:00	16
	16:00	10.7		16:00	12
	07:00	1.4		07:00	4.5
<b>60/07/2021</b>	12:00	14.2	<b>26/08/2021</b>	12:00	12
	16:00	16.2		16:00	5.8
	07:00	4		07:00	5.4
<b>01/08/2021</b>	12:00	14.8	<b>25/08/2021</b>	12:00	11.4
	16:00	11.6		16:00	8.4
	07:00	4		07:00	2.2
<b>06/08/2021</b>	12:00	15.2	<b>27/08/2021</b>	12:00	11.5
	16:00	11.7		16:00	11
	07:00	3		07:00	3.6
<b>05/08/2021</b>	12:00	15.2	<b>29/08/2021</b>	12:00	16.7
	16:00	11.4		16:00	12.6
	07:00	2.4		07:00	5.4
<b>07/08/2021</b>	12:00	16.1	<b>61/08/2021</b>	12:00	14.1
	16:00	11.9		16:00	11.5
	07:00	6.7		07:00	3
<b>09/08/2021</b>	12:00	12.8	<b>02/09/2021</b>	12:00	15
	16:00	16.9		16:00	12.7
	07:00	6.1		07:00	6
<b>11/08/2021</b>	12:00	16.8	<b>04/09/2021</b>	12:00	14.8
	16:00	16.5		16:00	16.6

	07:00	6.3		07:00	5
<b>16/08/2021</b>	12:00	14.7	<b>06/09/2021</b>	12:00	14.5
	16:00	14.1		16:00	16.6

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TEM AMB(°C)</b>	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TEM AMB(°C)</b>
	07:00	5		07:00	6
<b>08/09/2021</b>	12:00	14.6	<b>02/10/2021</b>	12:00	15.8
	16:00	12.8		16:00	14.9
	07:00	6.6		07:00	4.2
<b>10/09/2021</b>	12:00	11.9	<b>04/10/2021</b>	12:00	15.6
	16:00	12.5		16:00	12.5
	07:00	5.8		07:00	-1.1
<b>12/09/2021</b>	12:00	16.9	<b>06/10/2021</b>	12:00	14
	16:00	16.4		16:00	12.4
	07:00	4		07:00	1.6
<b>14/09/2021</b>	12:00	15.2	<b>08/10/2021</b>	12:00	14.1
	16:00	12.7		16:00	12.5
	07:00	4		07:00	6.4
<b>16/09/2021</b>	12:00	15	<b>10/10/2021</b>	12:00	14.9
	16:00	11.8		16:00	14.5
	07:00	3.8		07:00	6.6
<b>18/09/2021</b>	12:00	12.9	<b>12/10/2021</b>	12:00	14.2
	16:00	8.2		16:00	11.4
	07:00	6.6		07:00	2.6
<b>20/09/2021</b>	12:00	12.5	<b>14/10/2021</b>	12:00	14
	16:00	12.6		16:00	14
	07:00	4.2		07:00	5.7
<b>22/09/2021</b>	12:00	11.4	<b>16/10/2021</b>	12:00	14.2
	16:00	8.2		16:00	6.7
	07:00	4.1			
<b>24/09/2021</b>	12:00	16.1			
	16:00	9.9			
	07:00	5			
<b>26/09/2021</b>	12:00	12.1			
	16:00	12.6			
<b>28/09/2021</b>	07:00	4.2			

	12:00	15.1
	16:00	16.1
	07:00	2.7
<b>60/09/2021</b>	12:00	16.6
	16:00	14.9

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28**

*Ficha de Control de la Variación de Altura de las Especies Fitorremediadoras*

FECHA	ALTURA											
	MATRIZ A (cm)						MATRIZ B (cm)					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
<b>04/06/2021</b>	3.3	3.5	3.4	2.4	2.3	2.4	3.4	3.2	3.6	2.4	2.6	2.5
<b>11/06/2021</b>	3.5	3.6	3.4	2.5	2.4	2.5	3.5	3.4	3.7	2.6	2.7	2.6
<b>18/06/2021</b>	4	4.1	3.8	2.9	3	3.1	4.2	4.4	4	3.3	3.5	3.4
<b>25/06/2021</b>	4.9	5.3	4.8	4.4	4.2	4.7	5.8	6.4	6.1	4.5	4.7	4.6
<b>02/07/2021</b>	6.4	6.6	6.3	5.3	5	5.5	7	7.5	7.2	5.2	5.6	5.3
<b>09/07/2021</b>	6.7	7.3	7	5.9	5.9	6.2	8.2	8.8	8.5	6.4	6.6	6.1

16/07/2021 7.8 7.9 7.5 7.5 7.3 8.5 10.4 10.8 10.2 8.1 8.5 8.4

23/07/2021 8.4 8.8 8.5 8.9 9.2 8.8 13 13.4 13.1 10 10.6 10.3

30/07/2021 9.8 10.2 9.6 9.7 10.1 9.8 15 15.7 15.3 12.3 12.7 12.4

06/08/2021 11 12.4 10.8 10.9 11.4 10.6 17.5 18 17.8 13 13.5 13.1

13/08/2021 13.7 14.7 14.2 12.4 13.1 12.8 19.3 19.7 19.5 14.1 14.3 14.3

20/08/2021 15.4 16 15.9 14.8 15.4 14.9 20.2 20.6 20.4 15.4 15.6 15.8

27/08/2021 17.6 18.1 17.8 16 16.8 16.4 21.9 22.3 22 16.8 17.6 17.3

03/09/2021 20.2 22.3 20.5 18.4 18.6 18.2 23.1 23.5 23 17.9 18.5 18

10/09/2021 22.4 24.1 21.8 18.9 19.4 19.3 25.4 25.8 25 19.8 20.1 19.6

17/09/2021 24.8 25.3 24.5 20.6 20.4 21.5 27.6 28 27.9 20.4 21.3 20.8

**24/09/2021** 25.4 26.5 25.9 22.8 22.6 22.1 28.2 28.8 28.6 22 22.5 22.8

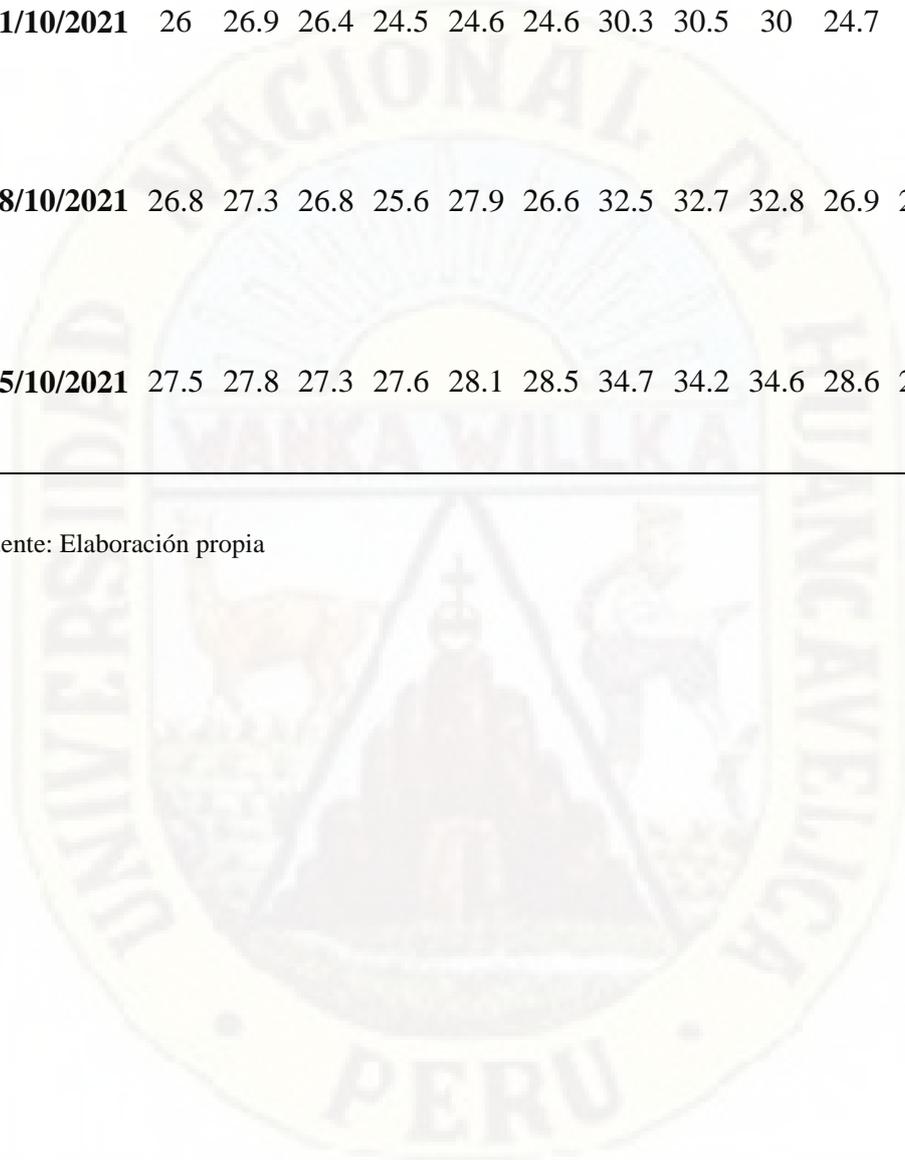
**01/10/2021** 26 26.9 26.4 24.5 24.6 24.6 30.3 30.5 30 24.7 25 25.6

**08/10/2021** 26.8 27.3 26.8 25.6 27.9 26.6 32.5 32.7 32.8 26.9 27.7 27

**15/10/2021** 27.5 27.8 27.3 27.6 28.1 28.5 34.7 34.2 34.6 28.6 29.3 28.5

---

Fuente: Elaboración propia



# Apéndice 6. Reporte de laboratorio

## Figura 60

### Cadena de Custodia

R-LAB		CADENA DE CUSTODIA		F-RTM-04 Revisión: 05 Fecha: 22-01-2021 Página 1 de 1					
DATOS DEL CLIENTE Y FACTURACION				N° Cadena de Custodia: 2110158	N° Plan de Muestras: --				
Cliente:	SEDANO ARECHE SILVIA MARIA			Presentante					
Descripción del Cliente:	JR CORIPACCHA S/N - SAN CRISTOBAL - HUANCAYELLA								
RUC:	10747076373	Teléfono:	957 429 515						
Atención a:	ING. SILVIA SEDANO			Correo: silvia.sedano@r-lab.com					
DATOS PARA EJECUCIÓN DEL MUESTREO									
Lugar de Muestreo:	PASEO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BARBARA / HUANCAYELLA - HUANCAYELLA			Tipo de frasco / envase (2)					
Muestreo realizado por:	SEDANO ARECHE SILVIA MARIA			Analista de Cargo: 02					
Lugar de Muestreo:	PASEO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BARBARA / HUANCAYELLA - HUANCAYELLA			ENSAJO (S) SOLICITADO (S)					
Procedimiento del Muestreo:	SUELO								
Contacto de Campo:	ING. SILVIA SEDANO			Correo: silvia.sedano@r-lab.com					
Contacto R-LAB:	ANTHONY SEMINARIO			Correo: antonio@r-lab.com					
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	CODIGO DEL LABORATORIO	FECHA DE MUESTREO (D/M/A)	HORA DE MUESTREO (H:MM)	TIPO DE MUESTRO PRODUCTO (T)	N° DE ENVASES FRASCO (E)	ESTADO DE CONSERV. (S)	DESCRIPCION DEL PUNTO DE MUESTREO		
A1	2110158-01	12/10/21	4:00	S	1.02	R		X	
A2	2110158-02	12/10/21	4:25	S	1.02	R		X	
A3	2110158-03	12/10/21	4:45	S	1.02	R		X	
A4	2110158-04	12/10/21	9:35	S	1.02	R		X	
A5	2110158-05	12/10/21	9:45	S	1.02	R		X	
A6	2110158-06	12/10/21	9:55	S	1.02	R		X	
OBSERVACION:									
Denotación de Items de Ensayo				SI ( ) NO (X)		(1) TEMPERATURA AMBIENTE (T); PRESERVADO (P); REFRIGERADO (R)			
(1) MATRIZ: AGUA NATURAL: Superficie Lago (ANSI); Superficie Laguna (ANLS); Río (ANER); Subterránea Manual (ANSM) / Pozo (ANSP); Tierra (ANST); AGUA SALINA: Mar (ASAM); Salina (ASAO); AGUA RESIDUAL: Doméstico (ARSD); Industrial (ARI); Municipal (ARM); AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: Redes Potable (ACHP); Masa (ACHM); Envasada (ACHE); Placa (ACHPL); Laguna Artificial (ACHLA); AGUA DE PROCESO: Circulación o enfriamiento (APC); Alimentación para Calderas (APAC); Calderas (APCL); Lavación (APL); Purificada (APP); Inyección y recuperación (APRI); Aire: (1) SOLUCION CAPTADORA: (SC); Filtro: (F); TUBO ADSORVENTE (TA); METEOROLOGÍA: (MT); EMISIONES EN FUENTES ESTACIONARIAS: (EM); SUELO: Suelo (S); Lodo (L); Sedimentos (SEED); BIODIVERS: (BS); SEDIMENTOS: Epilimnetal (SEDEE); Substrato (SEDES); Muecos (SESDM); SUPERFICIES: Inertes regulares (SR); Inertes irregulares (SI); Vivos (SV); RUIDO: (RU); OTROS (O)				CONFORMIDAD DEL SERVICIO POR EL CLIENTE (EN CAMPO)					
				NOMBRE:		SILVIA MARIA SEDANO ARECHE			
				CARGO:		TESISTA			
				FIRMA:					
SOLO PARA SER LLENADO POR COORDINADOR DE RECEPCION DE MUESTRAS									
Entregado por:		Firma:		Recibido por:		Firma:		CONDICIÓN DE RECEPCION DE MUESTRAS	
SILVIA MARIA SEDANO ARECHE				Deyzy Lutz Arauco				En buen estado: SI X NO	
								Recipiente apropiado: SI X NO	
								Dentro del tiempo de conservación: SI X NO	
								Correctamente preservadas: SI X NO	
								CONFORME: X NO CONFORME	
Sedes en Lima: Calle Roma #1100, Urb Portales de Jirón Prado, 3ra Etapa Ate / Av. de Victoria Cruz de Motupe, MZ B, 1104-Villa el Salvador / Teléfono: 675533 / E-mail: laboratorio1@gmail.com / Visitarnos en: www.r-lab.com				Página 01 de 02					

R-LAB		CADENA DE CUSTODIA		F-RTM-04 Revisión: 05 Fecha: 22-01-2021 Página 1 de 1					
DATOS DEL CLIENTE Y FACTURACION				N° Cadena de Custodia: 2110158	N° Plan de Muestras: --				
Cliente:	SEDANO ARECHE SILVIA MARIA			Presentante					
Descripción del Cliente:	JR CORIPACCHA S/N - SAN CRISTOBAL - HUANCAYELLA								
RUC:	10747076373	Teléfono:	957 429 515						
Atención a:	ING. SILVIA SEDANO			Correo: silvia.sedano@r-lab.com					
DATOS PARA EJECUCIÓN DEL MUESTREO									
Lugar de Muestreo:	PASEO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BARBARA / HUANCAYELLA - HUANCAYELLA			Tipo de frasco / envase (2)					
Muestreo realizado por:	SEDANO ARECHE SILVIA MARIA			Analista de Cargo: 02					
Lugar de Muestreo:	PASEO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BARBARA / HUANCAYELLA - HUANCAYELLA			ENSAJO (S) SOLICITADO (S)					
Procedimiento del Muestreo:	SUELO								
Contacto de Campo:	ING. SILVIA SEDANO			Correo: silvia.sedano@r-lab.com					
Contacto R-LAB:	ANTHONY SEMINARIO			Correo: antonio@r-lab.com					
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	CODIGO DEL LABORATORIO	FECHA DE MUESTREO (D/M/A)	HORA DE MUESTREO (H:MM)	TIPO DE MUESTRO PRODUCTO (T)	N° DE ENVASES FRASCO (E)	ESTADO DE CONSERV. (S)	DESCRIPCION DEL PUNTO DE MUESTREO		
C1	2110158-07	12/10/21	10:00	S	1.02	R		X	
C2	2110158-08	12/10/21	10:10	S	1.02	R		X	
C3	2110158-09	12/10/21	10:20	S	1.02	R		X	
B	2110158-10	12/10/21	08:00	S	1.02	R		X	
OBSERVACION:									
Denotación de Items de Ensayo				SI ( ) NO (X)		(1) TEMPERATURA AMBIENTE (T); PRESERVADO (P); REFRIGERADO (R)			
(1) MATRIZ: AGUA NATURAL: Superficie Lago (ANSI); Superficie Laguna (ANLS); Río (ANER); Subterránea Manual (ANSM) / Pozo (ANSP); Tierra (ANST); AGUA SALINA: Mar (ASAM); Salina (ASAO); AGUA RESIDUAL: Doméstico (ARSD); Industrial (ARI); Municipal (ARM); AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: Redes Potable (ACHP); Masa (ACHM); Envasada (ACHE); Placa (ACHPL); Laguna Artificial (ACHLA); AGUA DE PROCESO: Circulación o enfriamiento (APC); Alimentación para Calderas (APAC); Calderas (APCL); Lavación (APL); Purificada (APP); Inyección y recuperación (APRI); Aire: (1) SOLUCION CAPTADORA: (SC); Filtro: (F); TUBO ADSORVENTE (TA); METEOROLOGÍA: (MT); EMISIONES EN FUENTES ESTACIONARIAS: (EM); SUELO: Suelo (S); Lodo (L); Sedimentos (SEED); BIODIVERS: (BS); SEDIMENTOS: Epilimnetal (SEDEE); Substrato (SEDES); Muecos (SESDM); SUPERFICIES: Inertes regulares (SR); Inertes irregulares (SI); Vivos (SV); RUIDO: (RU); OTROS (O)				CONFORMIDAD DEL SERVICIO POR EL CLIENTE (EN CAMPO)					
				NOMBRE:		SILVIA MARIA SEDANO ARECHE			
				CARGO:		TESISTA			
				FIRMA:					
SOLO PARA SER LLENADO POR COORDINADOR DE RECEPCION DE MUESTRAS									
Entregado por:		Firma:		Recibido por:		Firma:		CONDICIÓN DE RECEPCION DE MUESTRAS	
SILVIA MARIA SEDANO ARECHE				Deyzy Lutz Arauco				En buen estado: SI X NO	
								Recipiente apropiado: SI X NO	
								Dentro del tiempo de conservación: SI X NO	
								Correctamente preservadas: SI X NO	
								CONFORME: X NO CONFORME	
Sedes en Lima: Calle Roma #1100, Urb Portales de Jirón Prado, 3ra Etapa Ate / Av. de Victoria Cruz de Motupe, MZ B, 1104-Villa el Salvador / Teléfono: 675533 / E-mail: laboratorio1@gmail.com / Visitarnos en: www.r-lab.com				Página 02 de 02					

Fuente: Elaboración propia

Figura 61

Primer Informe de Laboratorio (Concentración inicial de Hg en Muestras de Suelo)



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

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



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° LE -103

## INFORME DE ENSAYO N° 2105118S

Cliente	: SEDANO ARECHE SILVIA MARIA
Dirección del cliente	: JR. CCORIPACCHA S/N - SAN CRISTOBAL - HUANCAVELICA
Usuario	: NO APLICA
Lugar de Muestreo	: PASIVO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BARBARA Y CHUÑURANRA - HUANCAVELICA
Tipo de Matriz y/o Producto	: SUELO
Muestreo Realizado por	: SEDANO ARECHE SILVIA MARIA
Procedimiento de Muestreo	: NO APLICA
Referencia al Plan de Muestreo	: NO APLICA
Número de Muestras	: 06
Fecha de Recepción	: 22-05-2021
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	22-05-2021 al 29-05-2021

\*Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio\*.

Fecha de emisión: 31-05-2021



Celso Roberto Chujimayo Arellano  
Jefe de Laboratorio de FQ  
CQP-779

El presente informe de ensayo no podrá ser reproducido parcialmente, excepto en su totalidad y con la aprobación escrita de R-LAB S.A.C. Los resultados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizado. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo" Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima - Perú / Telf.: +51 677 6533 / Móviles: 972 733 385 / 913 012 298 Correo: riaboratorio1@gmail.com / Visitenos en www.rlabsac.com

F-IE-01; Revisión: 04; Fecha: 24-01-2019 Página 1 de 2

Fuente: R-lab



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



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

Registro N° LE-103

### INFORME DE ENSAYO N° 2105118S

Código de Laboratorio	2105118S-01	2105118S-02	2105118S-03	2105118S-04	2105118S-05	2105118S-06			
Identificación de la Muestra	A1	A2	A3	A4	A5	A6			
<sup>(1)</sup> Descripción del Punto de Muestreo	No indica	No indica	No indica	No indica	No indica	No indica			
<sup>(2)</sup> Fecha y hora de muestreo	19-05-2021 (08:35)	19-05-2021 (09:30)	19-05-2021 (10:20)	19-05-2021 (11:00)	19-05-2021 (11:50)	19-05-2021 (12:35)			
<sup>(3)</sup> Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: 8584443.57 E: 503052.38	N: 8584289 E: 502916	N: 8584083 E: 502996	N: 8583807 E: 509192	N: 8583699 E: 503382	N: 8583890 E: 503613			
Tipo de Matriz y/o Producto	SUELO								
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados					
Mercurio	mg/Kg	0,50	0,16	8,15	9,23	11,1	7,63	8,97	10,71
	mg/Kg	Incertidumbre de la Medición ±		0,49	0,37	1,07	0,44	1,48	0,80

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron en buen estado al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en bolsa hermética cerrada.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendario luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del método; L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ Los resultados están expresados en Masa Seca (MS).
- ✓ Los resultados se aplican a las muestras como se recibió, habiendo sido suministradas por el cliente.
- ✓ <sup>(1)</sup> Datos proporcionados por el cliente.

Tipo Ensayo	Norma de Referencia		Año de versión o Edición
	Código	Título	
Mercurio	EPA METHOD 7471B Revision 2 February	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)	2007

Fin de documento

Celso Roberto Chuquimayo Arellano  
Jefe de Laboratorio de FQ  
CQP-179

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



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



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

Registro N° LE-103

## INFORME DE ENSAYO N° 2105119S

Cliente	: SEDANO ARECHE SILVIA MARIA
Dirección del cliente	: JR. CCORIPACCHA S/N – SAN CRISTOBAL - HUANCAMELICA
Usuario	: NO APLICA
Lugar de Muestreo	: PASIVO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BARBARA Y CHUÑURANRA - HUANCAMELICA
Tipo de Matriz y/o Producto	: SUELO
Muestreo Realizado por	: SEDANO ARECHE SILVIA MARIA
Procedimiento de Muestreo	: NO APLICA
Referencia al Plan de Muestreo	: NO APLICA
Número de Muestras	: 04
Fecha de Recepción	: 22-05-2021
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	22-05-2021 al 29-05-2021

"Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio".

Fecha de emisión: 31-05-2021

  
Celso Roberto Cusquimayo Arellano  
Jefe de Laboratorio de FQ  
CQP-779

El presente informe de ensayo no podrá ser reproducido parcialmente, excepto en su totalidad y con la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.  
Los resultados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizada.  
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
 Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo"  
Asoc. de Viviendas Cruz de Motupe, MZ. B, Lote 04 - Villa el Salvador, Lima - Perú / Telf.: +51 677 6533 / Móviles: 972 733 385 / 913 012 298  
Correo: riaboratorio1@gmail.com / Visítenos en www.riabsac.com



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



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

Registro N° LE-103

INFORME DE ENSAYO N° 2105119S

Código de Laboratorio	2105119S-01	2105119S-02	2105119S-03	2105119S-04			
Identificación de la Muestra	C1	C2	C3	B			
<sup>(1)</sup> Descripción del Punto de Muestreo	No Indica	No Indica	No Indica	No Indica			
<sup>(2)</sup> Fecha y hora de muestreo	19-05-2021 (14:05)	19-05-2021 (15:30)	19-05-2021 (16:25)	20-05-2021 (09:05)			
<sup>(3)</sup> Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: 8584079 E: 503965	N: 8584408 E: 503545	N: 8584000 E: 503332	N: 8585865 E: 495865			
Tipo de Matriz y/o Producto	SUELO						
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados			
Mercurio	mg/Kg	0,50	0,16	18,16	16,73	>25	3,85
	mg/Kg	Incertidumbre de la Medición ±		1,73	0,34	N/A	0,46

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron en buen estado al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en bolsa hermética cerrada.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendario luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ L.C.M.: Límite de cuantificación del método; L.D.M.: Límite de detección del método.
- ✓ N/A: No Aplica, por ser resultado mayor al rango de trabajo.
- ✓ Los resultados están expresados en Masa Seca (MS).
- ✓ Los resultados se aplican a las muestras como se recibió, habiendo sido suministradas por el cliente.
- ✓ <sup>(1)</sup> Datos proporcionados por el cliente.

Tipo Ensayo	Norma de Referencia		Año de versión o Edición
	Código	Título	
Mercurio	EPA METHOD 7471B Revision 2 February	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)	2007

Fin de documento

Celso Roberto Chiquimayo Arellano  
 Jefe de Laboratorio de FQ  
 CQP-779

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

Figura 62

Segundo Informe de Laboratorio (Concentración Final de Hg en Muestras de Suelo)



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

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



Registro N° LE-103

## INFORME DE ENSAYO N° 2110158S

Ciente	: SEDANO ARECHE SILVIA MARIA
Dirección del cliente	: JR CCORIPACCHA S/N - SAN CRISTOBAL - HUANCAMELICA
Usuario	: NO APLICA
Lugar de Muestreo	: PASIVO AMBIENTAL MINERO DE SANTA BARBARA Y CHUÑURANRA - HUANCAMELICA
Tipo de Matriz y/o Producto	: SUELO
Muestreo Realizado por	: SEDANO ARECHE SILVIA MARIA
Procedimiento de Muestreo	: NO APLICA
Referencia al Plan de Muestreo	: NO APLICA
Número de Muestras	: 10
Fecha de Recepción	: 16-10-2021
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	20-10-2021 al 25-10-2021

"Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio".

Fecha de emisión: 26-10-2021

  
Victor Erick Caso Cueva  
JEFE RTM  
CIP: 112971

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

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

Página 1 de 3

Fuente: R- lab



INFORME DE ENSAYO N° 2110158S

Código de Laboratorio		2110158S-01	2110158S-02	2110158S-03	2110158S-04		
Identificación de la Muestra		A1	A2	A3	A4		
<sup>(1)</sup> Descripción del Punto de Muestreo		NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA		
<sup>(2)</sup> Fecha y hora de muestreo		12-10-2021 (09:00)	12-10-2021 (09:25)	12-10-2021 (09:15)	12-10-2021 (09:35)		
<sup>(3)</sup> Ubicación Geográfica (WGS-84)		NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA		
Tipo de Matriz y/o Producto		SUELO					
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados			
Mercurio	mg/Kg	0,50	0,16	5,24	6,12	7,85	3,10
	mg/Kg	Incertidumbre de la Medición ±		0,35	1,01	0,71	0,56

Código de Laboratorio		2110158S-05	2110158S-06	2110158S-07	2110158S-08		
Identificación de la Muestra		A5	A6	C1	C2		
<sup>(1)</sup> Descripción del Punto de Muestreo		NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA		
<sup>(2)</sup> Fecha y hora de muestreo		12-10-2021 (09:45)	12-10-2021 (09:55)	12-10-2021 (10:00)	12-10-2021 (10:10)		
<sup>(3)</sup> Ubicación Geográfica (WGS-84)		NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA	NO INDICA		
Tipo de Matriz y/o Producto		SUELO					
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados			
Mercurio	mg/Kg	0,50	0,16	3,05	5,57	17,97	16,58
	mg/Kg	Incertidumbre de la Medición ±		1,00	0,28	0,48	1,74

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron refrigeradas al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en bolsa ziploc.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendarios luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ Los resultados se aplican a las muestras como se recibió, habiendo sido suministradas por el cliente.
- ✓ <sup>(1)</sup> Datos proporcionados por el cliente.
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del método; L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ N/A: No Aplica por ser resultado mayor al rango de trabajo.

Victor Erick Caso Cueva  
JEFE RTM  
CIP: 112971

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



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



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

Registro N° LE-103

INFORME DE ENSAYO N° 2110158S

Código de Laboratorio	2110158S-09			2110158S-10	
Identificación de la Muestra	C3			B	
<sup>(1)</sup> Descripción del Punto de Muestreo	NO INDICA			NO INDICA	
<sup>(2)</sup> Fecha y hora de muestreo	12-10-2021 (10:20)			12-10-2021 (08:00)	
<sup>(3)</sup> Ubicación Geográfica (WGS-84)	NO INDICA			NO INDICA	
Tipo de Matriz y/o Producto	SUELO				
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M.	Resultados	
Mercurio	mg/Kg	0,50	0,16	>25,00	0,13
	mg/Kg	Incertidumbre de la Medición		N/A	0,78

Notas:

- ✓ Condición y estado de la Muestra (s) Ensayada (s): Las muestras llegaron refrigeradas al laboratorio.
- ✓ La (s) muestra(s) llegaron en bolsa ziploc.
- ✓ La (s) muestra (s) se mantendrán guardadas en condiciones controladas por un periodo de 10 días calendarios luego que haya sido entregado el Informe de Ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- ✓ Los resultados se aplican a las muestras como se recibió, habiendo sido suministradas por el cliente.
- ✓ <sup>(1)</sup> Datos proporcionados por el cliente.
- ✓ L.C.M: Límite de cuantificación del método; L.D.M: Límite de detección del método.
- ✓ N/A: No Aplica por ser resultado mayor al rango de trabajo.

Tipo Ensayo	Norma de Referencia		Año de versión o Edición
	Código	Título	
Mercurio	EPA METHOD 7471B Revision 2. February	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)	2007

Fin de documento

Victor Erick Caso Cueva  
JEFE RTM  
CIP: 112971

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

## Apéndice 7. Panel fotográfico



**Fotografía N° 01:** Implementación del lugar de ejecución del proyecto de investigación.



**Fotografía N° 02:** Acondicionamiento y diseño de las celdas y/o matrices para la investigación (masetero).



**Fotografía N° 03:** Recojo de la especie de *Amaranthus hybridus*.



**Fotografía N° 04:** Recojo de la especie de *Urtica urens*.



**Fotografía N° 05:** Almacigo de la especie de *Amaranthus hybridus* para su posterior trasplante.



**Fotografía N° 06:** Almacigo de la especie de *Urtica urens* para su posterior trasplante.



**Fotografía N° 07:** Equipo de trabajo para el muestreo de suelo en el pasivo ambiental minero de Santa Bárbara.



**Fotografía N° 08:** Muestreo de suelo en el sector 1 del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara.



**Fotografía N° 09:** Recojo de información de los puntos de muestro y caracterización del lugar.



**Fotografía N° 10:** Traslado de muestras de suelo recolectado hacia el lugar de ejecución del proyecto de investigación.



**Fotografía N° 11:** Trasplante de la especie *Amaranthus hybridus* y *Urtica urens* almacenados a los maseteros correspondientes Matriz A y B.



**Fotografía N° 12:** Acondicionamiento de la Matriz C (testigo) sin especies vegetales.



**Fotografía N° 13:** Desarrollo en su etapa mediana de las especies vegetales de la Matriz A



**Fotografía N° 14:** Desarrollo en su etapa mediana de las especies vegetales de la Matriz B.



**Fotografía N° 15:** Control de la temperatura ambiental en el lugar de estudio.



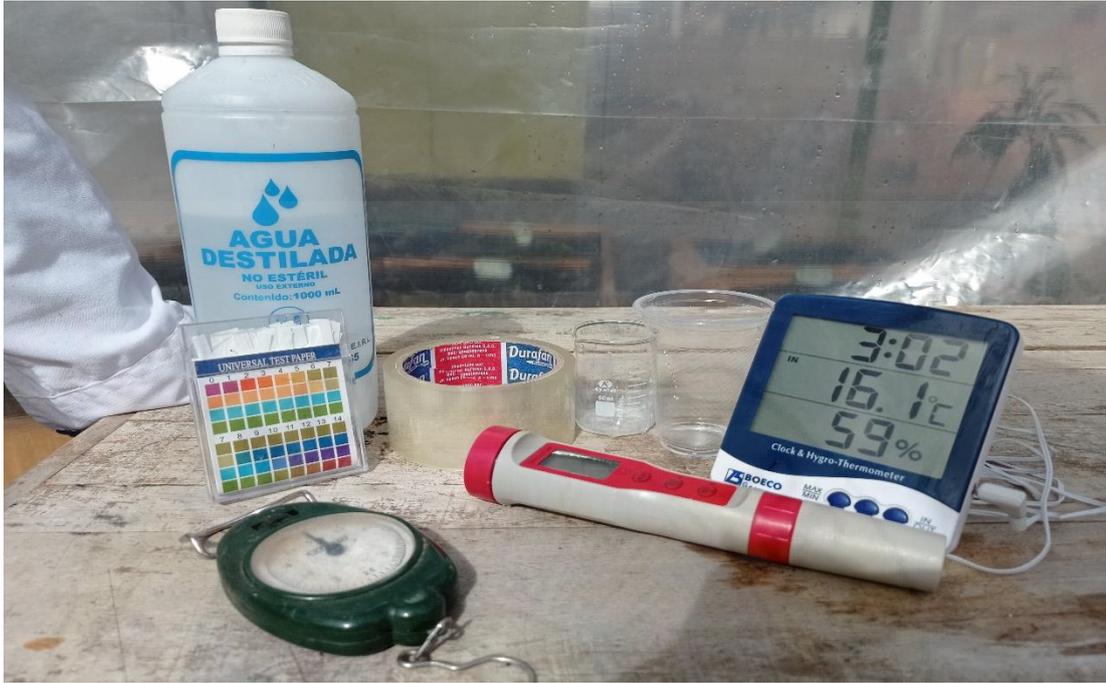
**Fotografía N° 16:** Riego de las especies vegetales para su desarrollo óptimo.



**Fotografía N° 17:** Control de la variación de la altura de la especie *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en matriz A y B en su etapa mediana de desarrollo.



**Fotografía N° 18:** Control de la variación de la altura de la especie *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en matriz A y B en su etapa final de tratamiento.



Fotografía N° 19: Instrumentos, equipos y materiales para la medición de parámetros fisicoquímicos.



Fotografía N° 20: Control del buen desarrollo de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus*.



**Fotografía N° 21:** Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos (pH y conductividad eléctrica) de suelo de las matrices A, B y C en una relación de 1:1 de agua destilada y muestra de suelo.



**Fotografía N° 22:** Medición de los parámetros fisicoquímicos como pH y conductividad.



**Fotografía N° 23:** Desarrollo en su etapa final del tratamiento de las especies vegetales de la Matriz A.



**Fotografía N° 24:** Desarrollo en su etapa final del tratamiento de las especies vegetales de la Matriz B.



**Fotografía N° 25:** Muestreo de suelo al final del tratamiento de fitorremediación de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus*.



**Fotografía N° 26:** Pesaje y embolsamiento de las muestras de suelo en bolsas ziploc.



**Fotografía N° 27:** Muestreo de suelo en la Matriz C (testigo) al final del tratamiento de fitorremediación.



**Fotografía N° 28:** Pesaje y embolsamiento de las muestras de suelo en bolsas ziploc.



Fotografía N° 29: Etiqueta de las muestras de suelo.



Fotografía N° 30: Muestras de suelo para envío a laboratorio.