

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA**



Capacidad fitorremediadora del *Schoenoplectus americanus* y *Eichhornia crassipes* sobre la concentración de cianuro en el efluente de la Mina Paltarumi S.A.C., Barranca, 2020

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES**

Angelica Grisela Murillo Advíncula

María Flor Montañez Machco

**ASESORES**

Máximo Cisneros Tejeira

Honorio Eloy Munive Jáuregui

Huaura, Perú

2022

**METADATOS COMPLEMENTARIOS****Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Autor 2**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Autor 3**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Autor 4**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Datos de los Asesores****Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

**Asesor 2**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

### Datos del Jurado

#### Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

### Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

**\*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 023 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 02:00 p. m. del día 22 de julio de 2022 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- |                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Segundo Octavio Zegarra Aliaga | presidente      |
| 2. Narda Stella Fajardo Vidal     | primer Miembro  |
| 3. Humberto Rivera Calle          | segundo Miembro |
| 4. Máximo Cisneros Tejeira        | asesor          |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Capacidad fitorremediadora del *Schoenoplectus americanus* y *Eichhornia crassipes* sobre la concentración de cianuro en el efluente de la Mina Paltarumi S.A.C., Barranca, 2020** que presentan las bachilleres en Ciencias Ambientales, **Angélica Grisela Murillo Advíncula y María Flor Montañez Machco** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 22 de julio de 2022.



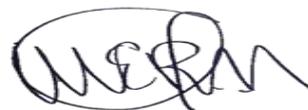
Segundo Octavio Zegarra Aliaga  
PRESIDENTE



Narda Stella Fajardo Vidal  
1° MIEMBRO



Humberto Rivera Calle  
2° MIEMBRO



Máximo Cisneros Tejeira  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A nuestro Dios, por estar con nosotras en los momentos más difíciles, por levantarnos y guiarnos a ser valientes para afrontar nuevos retos.

A nuestros padres, con todo nuestra estima y amor, por apoyarnos en cada etapa de nuestra vida, por enseñarnos y guiarnos para trazarnos metas y lograrlas a pesar de la falta económica, por darnos su apoyo incondicional e impulsarnos a terminarla. Así mismo, de manera especial a nuestros hermanos, por ser nuestra inspiración y ejemplo. para ser perseverantes a lo largo de nuestros estudios universitarios.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros estimados asesores de tesis Dr. Máximo Cisneros Tejeira y Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui, por tomarse su tiempo en la ejecución, revisión, corrección y enseñarnos cada detalle de nuestro proyecto.

Al Licenciado Ronal Caldas, compañeros y amigos de la “Promoción 2020” de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae Filial Huaura.

Al programa Nacional de Becas y Crédito Educativo por brindarnos la oportunidad de estudiar una carrera profesional, por estar pendiente de nosotras y hacernos el seguimiento en nuestro rendimiento académico.

A nuestra Universidad Católica Sedes Sapientiae por acogernos como nuestra alma mater, brindarnos maestros excelentes, hacernos parte de ella y escucharnos durante nuestra formación académica.

A las familias Felles Alejandro y Vera Zúñiga por el apoyo incondicional brindado para culminar esta meta añorada como estudiantes.

A nuestros estimados profesores el Ing. Segundo Octavio Zegarra y la Ing. Bertha Ruiz Jange por el apoyo brindado a lo largo de la estructuración de nuestro trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE APÈNDICE.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÒN.....	1
OBJETIVOS .....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	12
1.2.1. Minería.....	12
1.2.2. La minería a nivel mundial y nacional .....	13
1.2.3. Efluentes mineros y sus características .....	15
1.2.4. El cianuro en la minería .....	16
1.2.5. Clasificación del cianuro .....	18
1.2.6. Procesos de degradación natural del cianuro.....	19
1.2.7. Usos del cianuro .....	23
1.2.8. Contaminación con cianuro.....	24
1.2.9. Biorremediación .....	26
1.2.10. Fitorremediación.....	27
1.2.11. Fases de acumulación de metales pesados por organismos vegetales .....	29
1.2.12. Tolerancia y detoxificación de los metales contaminantes en la vegetación .....	30
1.2.13. “Jacinto de agua” .....	32
1.2.14. “Junco” .....	34

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
2.1. Diseño de la investigación.....	36
2.2. Lugar y fecha .....	36
2.3. Materiales .....	37
2.4. Descripción del experimento.....	38
2.4.1. Etapa preliminar .....	38
2.4.2. Etapa de campo .....	38
2.4.3. Etapa de laboratorio .....	41
2.4.4. Etapa de gabinete .....	43
2.5. Tratamientos en estudio.....	43
2.6. Unidades experimentales.....	43
2.7. Identificación de las variables y su mensuración.....	44
2.8. Diseño estadístico del experimento.....	44
2.9. Análisis estadísticos de los datos.....	44
CAPÍTULO III. RESULTADOS .....	46
3.1. Evaluación de la coloración, altura, longitud y mortandad de las plantas .....	46
3.1.1. Evaluación de la coloración foliar.....	46
3.1.2. Evaluación de la coloración radicular.....	47
3.1.3. Evaluación de la altura del área foliar.....	47
3.1.4. Evaluación de la longitud del sistema radicular .....	51
3.1.5. Evaluación de la mortandad de las plantas acuáticas .....	56
3.2. Evaluación de las características químicas y físicas.....	56
3.2.1. Resultados de la evaluación del pH en la fase de intoxicación.....	56
3.2.2. Resultados de la conductividad eléctrica en la fase de intoxicación .....	58
3.3. Resultados del análisis del cianuro, agua del humedal, remanente en el agua y la evaluación final del cianuro absorbido por la planta.....	59
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES.....	64

4.1. Evaluación del color, altura, mortandad de las plantas .....	64
4.1.1. Color del sistema foliar .....	64
4.2.2. Color del sistema radicular.....	64
4.2.3. Evaluación de la altura foliar .....	65
4.2.4. Evaluación de la longitud del sistema radicular .....	66
4.2.5. Evaluación de la mortandad de plantas.....	67
4.3. Evaluación de las características físico-químicas.....	68
4.4. Análisis del efluente cianurado, agua del humedal, concentración final del cianuro remanente en el agua y en las plantas .....	69
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....	71
REFERENCIAS.....	76
TERMINOLOGÍA.....	83
APÉNDICES .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Clasificación de los efluentes residuales mineros según su pH</i> .....	15
<b>Tabla 2.</b> <i>Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos mineros</i> .....	16
<b>Tabla 3.</b> <i>Reacciones comunes del cianuro</i> .....	21
<b>Tabla 4.</b> <i>Clasificación taxonómica del jacinto de agua</i> .....	33
<b>Tabla 5.</b> <i>Clasificación taxonómica del junco</i> .....	35
<b>Tabla 6.</b> <i>Ubicación geográfica de la empresa minera, laboratorio y humedal</i> .....	37
<b>Tabla 7.</b> <i>Ubicación de los puntos de muestreo del “junco”</i> .....	40
<b>Tabla 8.</b> <i>Ubicación de los puntos de muestreo del “jacinto de agua”</i> .....	40
<b>Tabla 9.</b> <i>Tratamientos en estudio</i> .....	43
<b>Tabla 10.</b> <i>Variables en estudio</i> .....	44
<b>Tabla 11.</b> <i>Esquema del análisis de la varianza</i> .....	45
<b>Tabla 12.</b> <i>Resultados del color del área foliar de las plantas</i> .....	46
<b>Tabla 13.</b> <i>Resultados de la coloración en el sistema radicular en las plantas</i> .....	47
<b>Tabla 14.</b> <i>Resultados de la altura de las plantas en la fase de adaptación</i> .....	48
<b>Tabla 15.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la altura de planta (cm) en la fase de adaptación</i> .....	48
<b>Tabla 16.</b> <i>Resultados de la altura de planta (cm) en la fase de nutrición</i> .....	49
<b>Tabla 17.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la altura de planta (cm) en la fase de nutrición</i> .....	49
<b>Tabla 18.</b> <i>Análisis de variancia para la altura de planta (cm) en la fase de nutrición</i> .....	49
<b>Tabla 19.</b> <i>Resultados de la altura de plantas en la fase de intoxicación</i> .....	50
<b>Tabla 20.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la altura de planta en la fase de intoxicación</i> .....	51
<b>Tabla 21.</b> <i>Análisis de variancia para la altura de planta (cm) en la fase de intoxicación</i> ..	51
<b>Tabla 22.</b> <i>Resultados de la longitud de raíz en la fase de adaptación</i> .....	52

<b>Tabla 23.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la longitud de raíz en la fase de adaptación.....</i>	52
<b>Tabla 24.</b> <i>Análisis de variancia para la longitud de raíz (cm) en la fase de adaptación.....</i>	52
<b>Tabla 25.</b> <i>Resultados de la longitud de raíz en la fase de nutrición.....</i>	53
<b>Tabla 26.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la longitud de raíz en la fase de nutrición.....</i>	54
<b>Tabla 27.</b> <i>Análisis de varianza para la longitud de raíz (cm) en la fase de nutrición.....</i>	54
<b>Tabla 28.</b> <i>Resultados de la longitud de raíz en la fase de intoxicación.....</i>	55
<b>Tabla 29.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la longitud de raíz en la fase de intoxicación.....</i>	55
<b>Tabla 30.</b> <i>Análisis de variancia para la longitud de raíz (cm) en la fase de intoxicación ...</i>	55
<b>Tabla 31.</b> <i>Resultados del porcentaje de mortandad de las macrófitas acuáticas.....</i>	56
<b>Tabla 32.</b> <i>Resultados del pH en la fase de intoxicación.....</i>	57
<b>Tabla 33.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el pH en la fase de intoxicación ...</i>	57
<b>Tabla 34.</b> <i>Análisis de variancia para el pH en la fase de intoxicación.....</i>	57
<b>Tabla 35.</b> <i>Resultados de la CE en la fase de intoxicación.....</i>	58
<b>Tabla 36.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la CE en la fase de intoxicación ...</i>	59
<b>Tabla 37.</b> <i>Análisis de variancia para la CE en la fase de intoxicación.....</i>	59
<b>Tabla 38.</b> <i>Resultados de pH, conductividad eléctrica y contenido de cianuro en el efluente y el agua del humedal.....</i>	60
<b>Tabla 39.</b> <i>Resultados de la concentración final de cianuro en el agua.....</i>	60
<b>Tabla 40.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la concentración final en agua.....</i>	61
<b>Tabla 41.</b> <i>Análisis de variancia para la concentración final en agua.....</i>	61
<b>Tabla 42.</b> <i>Resultados de la cantidad de cianuro absorbida por la planta.....</i>	62
<b>Tabla 43.</b> <i>Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la cantidad de cianuro absorbida por la planta.....</i>	62
<b>Tabla 44.</b> <i>Análisis de variancia para la cantidad absorbida por la planta.....</i>	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Clasificación de cianuro</i> .....	18
<b>Figura 2.</b> <i>Proceso de la degradación natural del cianuro</i> .....	20
<b>Figura 3.</b> <i>Reciclamiento de cianuro antropogénico mediante el ciclo natural</i> .....	21
<b>Figura 4.</b> <i>Usos del cianuro de hidrógeno</i> .....	24
<b>Figura 5.</b> <i>Morfología de la macrófita acuática E. crassipes</i> .....	34
<b>Figura 6.</b> <i>Toma de muestras del “junco” (A) y el “jacinto de agua (B)</i> .....	40
<b>Figura 7.</b> <i>Coloración foliar del junco (A) y el jacinto de agua (B) al final del estudio</i> .	46
<b>Figura 8.</b> <i>Coloración radicular del “junco” (A) y el “jacinto de agua” (B) al final del estudio</i> .....	47
<b>Figura 9.</b> <i>Prueba de Shapiro-Wilks para la altura de planta en la fase de adaptación.</i>	48
<b>Figura 10.</b> <i>Prueba de Duncan para la altura de planta en la fase de nutrición</i> .....	50
<b>Figura 11.</b> <i>Prueba de Duncan para la altura de planta en la fase de intoxicación</i> .....	51
<b>Figura 12.</b> <i>Test de Duncan para la longitud radicular en la fase adaptativa</i> .....	53
<b>Figura 13.</b> <i>Test de Duncan en la longitud radicular para la fase nutritiva</i> .....	54
<b>Figura 14.</b> <i>Prueba de Duncan para la longitud de raíz en la fase de intoxicación</i> .....	56
<b>Figura 15.</b> <i>Prueba de Duncan para el pH en la fase de intoxicación</i> .....	58
<b>Figura 16.</b> <i>Prueba de Duncan para la CE en la fase de intoxicación</i> .....	59
<b>Figura 17.</b> <i>Prueba de Duncan para la concentración final en el agua</i> .....	61
<b>Figura 18.</b> <i>Prueba de Duncan para la cantidad absorbida por la planta</i> .....	63

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
<b>Apéndice 1.</b> Plaño de ubicación de la zona relavera de la Mina Paltarumi S.A.C .....	85
<b>Apéndice 2.</b> Plano de ubicación y puntos de muestreo del humedal Carquín-Hualmay ....	86
<b>Apéndice 3.</b> Certificado de calibración del multiparámetro (peachímetro y conductímetr	87
<b>Apéndice 4.</b> Resultados obtenidos de las muestras analizadas .....	88
<b>Apéndice 5.</b> Vistas fotográficas del proceso de la investigación .....	92
<b>Apéndice 6.</b> Formato de acta de entrega de Residuos Peligrosos .....	95

## RESUMEN

El estudio fue realizado en el laboratorio de la Empresa Felles, para conocer si las macrófitas acuáticas *Schoenoplectus americanus* “junco” y *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua”, tienen la capacidad para absorber cianuro. Las muestras del efluente contaminado fueron proporcionadas por la minera aurífera Paltarumi. El ensayo fue ejecutado en macetas considerándose cuatro tratamientos: cultivo del “junco”, “jacinto de agua”, “junco” + “jacinto” y tratamiento control. En los tres primeros fue utilizado 3 900 mL de agua del humedal Carquín más 100 mL del efluente cianurado ( $22,012 \text{ mg.L}^{-1}$  de cianuro) y en el tratamiento control fue utilizado 4 L de agua del humedal. Los tratamientos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, sumando un total de 16 unidades experimentales. Las medias fueron comparadas a través de la prueba de significación de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). Los resultados mostraron que el color de los tallos, hojas y raíces viró a coloraciones más oscuras con puntos necróticos. Además, se evidenció que el cianuro afectó al crecimiento de las plantas, destacando el “junco” que logró una mayor altura. En la longitud radicular el “jacinto de agua” tuvo raíces más extensas. El pH fue más alto en los tratamientos cianurados, variando desde ligeramente a moderadamente básicos. La conductividad fue variable, siendo los tratamientos cianurados de mayor riesgo para las plantas acuáticas. En el cianuro remanente en la solución acuosa la macrófita “jacinto de agua” fue el que retuvo mayor cantidad de cianuro y con relación a la absorción fue el tratamiento “junco” + “jacinto” el que absorbió mayor cantidad del cianuro con  $18,673 \text{ mg.L}^{-1}$  equivalente al 84,8 %, seguidos por el “junco” y “jacinto de agua” con 80,5 % y 78,3 %, aceptándose que el “junco” y el “jacinto de agua” son fitoextractoras.

Palabras clave: Fitorremediación, macrófitas acuáticas, cianuro, efluente, junco, jacinto de agua.

## ABSTRACT

The study was carried out in the laboratory of the Felles Company, to find out if the aquatic macrophytes *Schoenoplectus americanus* "junco" and *Eichhornia crassipes* "water hyacinth" have the capacity to absorb cyanide. Samples of the contaminated effluent were provided by the Paltarumi gold mining company. The trial was carried out in pots considering four treatments: "junco" cultivation, "water hyacinth", "junco" + "hyacinth" and control treatment. In the first three, 3 900 mL of water from the Carquín wetland was used plus 100 mL of cyanide effluent (22,012 mg.L<sup>-1</sup> of cyanide) and in the control treatment, 4 L of water from the wetland was used. The treatments were analyzed under a completely randomized design with four repetitions, adding a total of 16 experimental units. Means were compared using Duncan's significance test ( $p \leq 0.05$ ). The results showed that the color of the stems, leaves and roots changed to darker colorations with necrotic spots. In addition, it was evidenced that cyanide affected plant growth, highlighting the "junco" that modified a greater height. In root length, the "water hyacinth" had more extensive roots. The pH was higher in the cyanide treatments, ranging from slightly to moderately basic. The conductivity was variable, being the cyanide treatments of greater risk for aquatic plants. In the remaining cyanide in the aqueous solution, the macrophyte "water hyacinth" was the one that retained the highest amount of cyanide and in relation to absorption, it was the "junco" + "hyacinth" treatment that absorbed the highest amount of cyanide with 18,673 mg. L<sup>-1</sup> equivalent to 84,8 %, followed by "junco" and "water hyacinth" with 80,5 % and 78,3 %, accepting that "junco" and "water hyacinth" are phytoextractors.

Keywords: Phytoremediation, aquatic macrophytes, cyanide, effluent, rush, water hyacinth.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas mineras son una de las principales fuentes de contaminación de los ecosistemas, debido al desarrollo de sus actividades extracción, transporte, construcción y procesamiento de los minerales; durante su etapa de beneficio los efluentes cianurados de estas empresas mineras son vertidos a los suelos y a las fuentes hídricas, generando áreas contaminadas con altas concentraciones en metales tóxicos (Gallardo, 2007). En el Perú las industrias mineras auríferas usan el cianuro en los procesos de lixiviación, por lo que a lo largo de los años se ha observado la contaminación de los recursos naturales poniendo en riesgo la salud de las personas (Álvarez, 2016).

Durante años se han utilizado diversos tipos de tecnologías para recuperar suelos y aguas contaminadas, pero en los últimos tiempos se están utilizando técnicas con organismos vivos para absorber e inhibir el efecto de los contaminantes, como sucede con la fitorremediación a través de plantas verdes para eliminar los contaminantes expuestos en un área, remediándola a su estado natural en el que se encontraba. Esta tecnología de la remediación requiere de un tiempo prolongado de recuperación a largo plazo, sobre todo cuando es aplicada para recuperar superficies de grandes extensiones (Gallardo, 2007). Al emplear este tipo de fitotecnología se contribuye a disminuir el uso de métodos biológicos y químicos, como el uso de cepas microbianas *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas sp.* nativo, bacterias sulfato reductoras (BSR), fotocatalisis solar y la oxidación con peróxido de hidrógeno; generando ventajas ambientales como la reducción de productos peligrosos que contaminan los ecosistemas y económicas porque optimizan gastos de transporte de materiales, siendo una técnica *in situ* que sólo requiere de prácticas agrícolas para el desarrollo de las plantas biorremediadoras logrando la limpieza y recuperación del área alterada (Jaramillo y Flores, 2012).

Por otro lado, los procesos de lixiviación practicada por las empresas mineras que radican en la costa, sierra y selva generan efluentes altamente tóxicos, los cuales al ser vertidos a los canales llegan a contaminar las capas subterráneas del suelo, generando daños en los acuíferos y aguas subterráneas. El uso de grandes cantidades de químicos para mitigar dicha acción genera a su vez más contaminación afectando a la biodiversidad y a la población

aledaña (Ramírez, 2015). Ante los efectos enumerados, la importancia de esta investigación plantea evaluar la capacidad fitorremediadora del *Schoenoplectus americanus* “junco” y *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua” sobre la concentración de cianuro proveniente del efluente de la mina Paltarumi, para disminuir los impactos ambientales y socio-económicos en las zonas contaminadas con cianuro. Por lo tanto, con este trabajo se dará a conocer el potencial fitorremediador de las plantas acuáticas “junco” y “jacinto de agua” para remediar áreas contaminadas con efluentes cianurados permitiendo su restauración y el desarrollo de la agricultura.

El motivo es el cuidado del medio ambiente y la salud de los seres humanos de los daños negativos producidos por la contaminación de las empresas mineras que eliminan sus efluentes con niveles elevados de cianuro, esto puede remediarse con el uso de especies fitorremediadoras como el “junco” y “jacinto de agua” que tienen la capacidad de absorber mediante su tallo, hoja y raíz los contaminantes. Por esta razón, se tuvo en cuenta la caracterización del efluente contaminado y los niveles de cianuro extraídos por las macrófitas medidos en la fase de intoxicación.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Evaluar la capacidad fitorremediadora del “junco” *Schoenoplectus americanus* (Pers Volkart ex Schinz & R. Keller) y “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes* (Mart.) sobre la concentración de cianuro proveniente del efluente de la mina Paltarumi S.A.C., Barranca, 2020.

### Objetivos Específicos

- Describir los cambios externos (altura, coloración, mortandad, otros) en las especies “junco” y “jacinto de agua” por efecto del efluente cianurado de la mina Paltarumi S.A.C., Barranca, 2020.
- Analizar la variación de los parámetros fisicoquímicos en los efluentes contaminados por la empresa minera Paltarumi S.A.C., antes y después de la aplicación del tratamiento fitorremediador con el “junco” y “jacinto de agua”.
- Determinar los niveles de extracción del cianuro del efluente contaminado en la empresa minera Paltarumi, con el propósito de conocer la capacidad fitorremediadora del “junco” y del “jacinto de agua” en condiciones de un ensayo preliminar en macetas.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

#### Internacionales

Gómez y Guarín (2020) hicieron la investigación para “Evaluar el efecto del proceso de fitorremediación con *E. crassipes* “jacinto de agua” en agua cianurada mediante la cromatografía de gases” (p. 1) en la ciudad de Manizales, Caldas Colombia. El objetivo de la investigación fue evaluar en un humedal artificial la eficacia de absorción del cianuro y el perfil volátil producido con el *E. crassipes* “jacinto de agua” en las aguas cianuradas producidas por la empresa minera la Cascada. Este estudio tuvo un enfoque cuantitativo básico con un alcance transversal, explicativo y aplicativo. Para el estudio emplearon 14 plantas del vivero los Cerezos que fueron sometidas a los siguientes tratamientos; en agua potable, en agua potable más efluente cianurado y en la última solo agua cianurada en un 100 %. Para la cuantificación de cianuro usaron la metodología ASTM D751109 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, Dudley Charles-1898) y con la técnica de inyección de flujo segmentado, mientras que para los componentes volátiles fue usado la técnica de la cromatografía. Los resultados obtenidos arrojaron 8 mg CN.L<sup>-1</sup> antes del tratamiento y 0,381 mg CN.L<sup>-1</sup> después del tratamiento removiendo un 95,23 % del cianuro, mientras que en la volatilización de la planta antes del tratamiento fue 100 volátiles y después 257 volátiles. Los autores del estudio concluyeron que el agua contaminada después de que fue tratada con la especie acuática *E. crassipes* “jacinto de agua” pudo introducirse dentro de los estándares establecidos en la norma. Además, los aumentos de compuestos volátiles en la planta demuestran la gran capacidad de absorción de dicha macrófita frente al efluente cianurado expuesto con altos niveles de contaminantes.

Montesdeoca (2019) investigó sobre la “Evaluación de *Cyperus luzulae*, en la remoción de cianuro en condiciones de laboratorio en la ciudad de Quito, Ecuador” (p. 1). El objetivo fue analizar la absorción del cianuro a través de las raíces de la planta fitorremediadora. En la etapa experimental los vegetales acuáticos estuvieron expuestos a concentraciones de 5,7 y 10 mg.kg<sup>-1</sup> de cianuro bajo condiciones controladas de intensidad de la luz, temperatura, humedad y aireación, mensurándose diariamente el rango de pH y cuantificando la concentración del cianuro absorbido por los rizomas usando la metodología del análisis de extracción fotométrica, mientras que para el diseño estadístico usó la correlación de Pearson y el análisis de varianza (ANOVA) no paramétrica de Kruskal Wallis al 0,05 % de probabilidad procesados en el programa SPSS versión 19. Los resultados mostraron una absorción entre 0,0134 y 0,0410 mg.kg<sup>-1</sup> de cianuro, también quedó demostrado que a mayor tiempo entre las especies y el contaminante hubo mayor remoción, en tanto el pH cambió desde un medio ácido a un medio neutro, demostrándose que las plantas usadas ayudaron a conseguir un ambiente óptimo. Al final del proceso el autor concluyó que la especie “Cabezónita” fue capaz de almacenar el cianuro en sus rizomas pese a que dicho compuesto es altamente nocivo para cualquier organismo vivo, por lo que la especie fue clasificada como oclusora de los metales usados.

Domínguez *et al.* (2016) realizaron estudios de “Fitorremediación de mercurio oriundo de las aguas residuales procedentes de la minera artesanal de Cisneros en la ciudad de Antioquia (Colombia)” (p.1). La finalidad de dichos estudios fue estimar la eficiencia fitorremediadora del *E. crassipes* sobre las aguas contaminadas de la industria minera, que llegaban a concentraciones 0,325 mg.L<sup>-1</sup> de Hg superando los límites máximos permisibles (LMP). Este estudio utilizó como extractora de contaminantes al “jacinto de agua” a través de dos etapas, la primera fue adaptativa para incorporar plantas al humedal de flujo sub-superficial durante 24 días, mientras que la segunda etapa correspondió a la fitorremediación con el *E. crassipes* por un periodo de siete meses. Para la investigación usaron instrumentos como colorímetro, turbidímetro, conductímetro y pH-metro para analizar los parámetros de color, turbiedad, conductividad y pH. Los análisis estadísticos fueron determinados basados en la estadística descriptiva no experimental usando el programa Office Excel. Los resultados de la investigación mostraron una remoción de mercurio con el “jacinto de agua” en un 71 %, cabe aclarar que evidenciaron una mayor remoción del metal durante el primer mes, aunque no fue posible reducirlo a los estándares establecidos para el agua potable. Los autores

concluyeron que la macrófita acuática *E. crassipes* fue eficiente absorbiendo el mercurio de aguas contaminadas por industrias mineras.

Calle y Coello (2015) ejecutaron el estudio experimental sobre la “Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes industriales del efluente minero que desemboca en el río Calera, usando humedales artificiales, Guayaquil (Ecuador)” (p. 1). El estudio experimental tuvo como objetivo verificar la remoción de los contaminantes del río Calera mediante el uso de humedales artificiales. Para esta investigación analizaron previamente el agua contaminada, seleccionando a los metales en estudio: arsénico (As), cadmio (Cd), cianuro (CN<sup>-</sup>) y mercurio (Hg), luego fueron expuestas las especies a cada reactor “bambú de la suerte” *Dracaena sanderiana* Hort., “lenteja de agua” *Lemna minor* L. y “jacinto de agua” *E. crassipes* por un periodo de 15 días, realizando mediciones cada tres días para verificar la variación en la remoción. Para el análisis de los resultados usaron la regresión y el coeficiente de correlación lineal, constante de velocidad de reacción K procesados en el programa informático Minitab 15. Los resultados finales fueron de 65,51 %, 95,21 %, 63,38 % y 99,97 % respectivamente de la absorción del arsénico, cadmio, mercurio y cianuro siguiendo también el mismo orden para la constante de velocidad de reacción K; -0,04378. día<sup>-1</sup>; 0,1539. día<sup>-1</sup>; 0,000081. día<sup>-1</sup> y 0,5286. día<sup>-1</sup> datos que luego fueron comparados con los límites máximos permisibles (LMP), testiguando que algunos si llegaron a cumplir con los estándares establecidos. La fitorremediación de contaminantes por cadmio y arsénico presentó una mayor descontaminación en el humedal artificial que contuvo “bambú de la suerte”, seguida del mercurio que mostró eliminación de contaminantes en el reactor con “lenteja de agua” y en el caso del cianuro la efectividad de la remoción con la especie acuática “jacinto de agua”. El estudio concluyó que los humedales artificiales presentan una opción novedosa ya que aparte de su eficiencia en remoción de los metales solo requiere de plantas que abundan en el ecosistema.

## **Nacionales**

Alaya *et al.* (2019) estudiaron la “Fitorremediación de aguas residuales domésticas en Chachapoyas, Amazonas (Perú) utilizando las especies *E. crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*” (p. 1); con el objetivo de estimar la eficiencia de remoción de contaminantes presentes en el agua de la quebrada Santa Lucía en el que es

vertida las aguas residuales de la población, con las plantas acuáticas “jacinto de agua” *E. crassipes*, “camalotito” *N. humboldtiana* y “berro” *N. officinale*. La investigación utilizó una estructura piloto integrado por cuatro sistemas de tratamiento de flujo discontinuo. En los tres primeros fueron cultivados el “jacinto de agua”, “camalotito” y el “berro” mientras que el cuarto tratamiento solo tuvo agua residual sin ninguna planta al que denominaron tratamiento control. Para cuantificar la remoción de contaminantes fisicoquímicos, microbiológicos fueron evaluadas cuatro veces cada 15 días. El método usado fue la desalación con membranas de polímeros usando instrumentos como: colorímetro, turbidímetro, conductímetro y pH-metro para analizar los parámetros de color, turbiedad, conductividad y pH determinando la presencia de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos. El estudio usó un análisis estadístico a través de un ANOVA y la prueba de comparación múltiple de Duncan procesados con el software RX64 3.4.1. Los resultados evidenciaron que la calidad del efluente tratado al final del experimento cumplió con los límites máximos permisibles (LMP). Los autores concluyeron que la especie “camalotito” fue eficiente para la remoción de contaminantes en parámetros físicos y microbiológicos; el “berro” para parámetros con DBO, DQO, materia orgánica, mientras que la planta fitorremediadora “jacinto de agua” presentó con mayor éxito la absorción de aguas residuales contaminadas de todos los parámetros analizados.

Carrero y Tapia (2019) realizaron un estudio sobre el “Incremento de pH en el agua miel de “cafeto” *coffea sp* L., utilizando para ello especies vegetales como “jacinto de agua” *E. crassipes* para atenuar su nivel de contaminación” en la localidad de Huarango, Jaén (Perú)” (p. 1). El objetivo fue emplear a la especie acuática “jacinto de agua” para mitigar los niveles de acidez del producto derivado procedente del beneficio húmedo de café. El estudio empleó cinco tratamientos con tres repeticiones en diferentes cantidades de la especie acuática “jacinto de agua”, recolectadas en recipiente de 600 mL y 20 L del caserío Laguna Azul en el distrito de Huarango sobre 15 L de miel de “cafeto” en contenedores con capacidad de 20 L. Los métodos de la investigación usados fueron el nefelométrico, electrométrico y potenciométrico, para analizar los parámetros como la turbidez, la conductividad eléctrica y el pH. En cuanto al análisis estadístico fue evaluado mediante un ANOVA con un nivel de confianza del 95 % y a través de la prueba de Tukey para comparar si existen diferencias significativas entre los tratamientos, procesados en el programa SPSS versión 19. Entre los resultados encontraron que el pH fue de 4,6 en la muestra sin el “jacinto de agua” y con la

adición de la macrófita a una biomasa del 25 % el pH fue 7,936, para el 50 % fue 8,051, para el 75 % fue 8,042 y al 100 % que correspondió al tratamiento 4 donde obtuvieron los mejores resultados con un pH de 8,147 debido a la superficie de contacto entre el área radicular de la especie y el agua contaminada, llegando alcanzar los valores óptimos señalados por la normativa de los estándares de calidad ambiental (ECA). Los autores concluyeron que, a mayor bioenergía de dicha especie mayor nivel potencial de hidrógeno (pH), permitiendo una remoción de los contaminantes en el agua miel del “cafeto”.

Sandoval (2019) realizó un estudio de la “Capacidad del “jacinto de agua” *E. crassipes* y “lenteja de agua” *L. minor* en la eliminación de cadmio en aguas residuales en la ciudad de Lima (Perú)” (p. 1); cuyo objetivo fue evaluar la capacidad de las macrófitas flotantes en la remoción de cadmio en las aguas residuales que provinieron desde el sector industrial. El estudio usó un enfoque cuantitativo básico con un alcance correlacional, explicativo y aplicativo. Usó dos macrófitas acuáticas, la “lenteja de agua” y “jacinto de agua” colocadas en dos equipos piloto con agua simulada de cadmio a una concentración de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$ , circulando el agua simulada en los módulos de control durante un periodo de 11 días, tiempo en la que fue registrado interdiario la temperatura, la conductividad eléctrica, el pH y la concentración de cadmio. Empleó el método de ensayo de rizofiltración para cuantificar el cadmio absorbido por el “jacinto de agua” y “lenteja de agua”. Para el diseño experimental usó el diseño completamente al azar (DCA), y los datos estadísticos fueron tratados en el programa office Excel. Los resultados indicaron que el “jacinto de agua” tuvo un mayor grado de remoción de este metal con un valor de 83,57 % a una concentración de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  en comparación de la “lenteja de agua” que fue en un 39,35 %. En su aspecto morfológico el cambio de color reportado fue el paso de un verde brillante a un verde oscuro-marrón en el caso del “jacinto de agua” y de un verde amarillento en la “lenteja de agua”, manifestándose, así como un signo de necrosidad. El autor concluyó que la especie acuática “jacinto de agua” en sus características físicas y en su grado de absorción tiene una mayor adaptación en condiciones de contaminación con cadmio.

Paredes y Ñique (2015) realizaron el estudio sobre la “Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo, empleando *E. crassipes* “jacinto de agua” en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Tingo María, Huánuco (Perú)”

(p. 1). El objetivo fue analizar en tres ambientes de pH bivalentes la remoción de mercurio (Hg) con la especie “jacinto de agua” sometiéndola a diferentes concentraciones de este metal. El estudio usó como muestra a la macrófita acuática “jacinto de agua” colocadas en 18 recipientes correspondientes a diez tratamientos con tres repeticiones. Emplearon el método experimental colorimétrico de la ditizona en un espectroscopio ultravioleta visible a una longitud de onda de 520 nm, preparando 10 L de disoluciones a diferentes concentrados del nitrato de potasio (0, 50, 100, 150 y 200 mg.kg<sup>-1</sup>) evaluándose por un tiempo de 10 días el crecimiento (cm) de la raíz, pH, temperatura, número de hojas y para conocer el porcentaje de remoción del mercurio añadieron distintos rangos de pH (ácido, neutro y básico) a una concentración de 0,05 a 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>, determinadas en un espectrofotómetro ultravioleta. En el trabajo de investigación utilizaron la prueba de ANOVA comparando las medias a través de la prueba de Tukey procesados mediante el software estadístico Minitab. Los resultados indicaron que el “jacinto de agua” tuvo una gran capacidad de amortiguamiento del pH en el rango ácido y básico, pero presenta una mayor remoción del metal Hg en un medio básico (94,68 %) y en intervalos de tiempo durante 11 horas la remoción fue en 180 minutos (min). Al culminar el experimento la remoción del metal Hg en un sistema de fitodepuración en condiciones de laboratorio fue de un 99,5 %. La investigación concluyó que la especie acuática “jacinto de agua” tiene la capacidad de adaptarse en distintos medios de pH y extraer el metal Hg. Sin embargo, presentó mucho mayor porcentaje de absorción en un sistema continuo en condiciones de laboratorio que en un modo tipo batch.

Vera (2016) realizó una investigación sobre la “Eficacia de la fitorremediación de las aguas residuales del dren 2210 utilizando lenteja de agua (*L. minor*) (p. 1), ubicado en la ciudad de Chiclayo, Lambayeque (Perú). El objetivo fue conocer la capacidad fitorremediadora de la “lenteja de agua” en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales del dren 2210. Este estudio empleó un solo recipiente con una muestra de 15 L tomadas a la entrada de la red de saneamiento del dren 2210 y una cantidad indefinida de la especie acuática “lenteja de agua”, recolectados de una piscigranja en la ciudad de Chiclayo, llevándose las muestras a un ambiente hermético que simulaba determinadas condiciones ambientales, siendo evaluadas cada siete días por un periodo de tres semanas, usando la técnica de fitoestabilización para minimizar la disponibilidad del contaminante. El diseño estadístico de la remoción de estos contaminantes presentes en las aguas residuales, fueron determinados basados en la estadística no experimental, descriptiva, transversal usando para el análisis de

estos el programa Office Excel. Los resultados reportados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos determinaron que el potencial de hidrógeno (pH), demanda biológica de oxígeno (DBO<sup>5</sup>), coliformes totales y termotolerantes encontrados cumplieron con los estándares de calidad ambiental (ECA). Sin embargo, la conductividad eléctrica y la demanda química de oxígeno (DQO) llegaron al término de la investigación con valores de 3,75 Us.cm<sup>-1</sup> y 35 mg.L<sup>-1</sup> superando los estándares de calidad ambiental establecidos, en consecuencia a esto fue aplicado un tratamiento con la macrófita acuática “lenteja de agua” para lograr obtener una buena calidad de agua residual en el dren 2210. Al final de la investigación los resultados mostraron una reducción de turbidez (46,8 %) y DBO<sup>5</sup> (60 %) indicando que los análisis realizados cumplían con los estándares de calidad ambiental para la subcategoría restringida en el riego de vegetales. Por lo tanto, el autor concluyó que la especie “lenteja de agua” es eficiente en la remoción de aguas residuales por su bajo costo y adaptación para realizar el proceso de fotosíntesis, al punto de que puedan ser usadas para el riego de los cultivos bajo diferentes rangos de contaminación.

## **Regionales**

Mendoza (2020) realizó un estudio experimental sobre la “Suficiencia de absorción de la alfalfa en dos periodos de crecimiento en los suelos contaminados de plomo” (p. 1) ubicado en Végueta, Lima (Perú). El objetivo fue reconocer la capacidad de absorción de la alfalfa en los suelos contaminados con plomo en dos fases de crecimiento a diferentes concentraciones. Esta investigación experimental de enfoque descriptivo con un alcance correlacional, empleó a la especie de la “alfalfa” para conocer la capacidad de remoción de contaminantes en suelos con 3 niveles de plomo (70,140,210 mg.kg.L<sup>-1</sup>). El estudio usó cuatro tratamientos incorporado el control y tres repeticiones siendo evaluadas en dos etapas correspondientes a 45 y 90 días. Utilizó la técnica instrumental propuesta por Schoeneberger mediante tablas de valores críticos para la interpretación de las propiedades del suelo y para la conocer la capacidad de extracción del plomo por la planta y el remanente de plomo en el suelo usó las tablas con los límites máximos permisibles MINAN (2017). Esta investigación utilizó un diseño de bloques completamente al azar comparados con la prueba de significancia Duncan de acuerdo a Little y Hills (2002), procesados mediante el software Minitab 18. Los resultados comprobaron una mayor absorción de plomo en el sistema radicular de la “alfalfa” y una menor extracción en el área foliar en las dos fases en estudio y con una concentración alta en el tratamiento de 210 mg.kg.L<sup>-1</sup>. La autora concluyó que el

pH tiene un suelo ligeramente básico con salinidad, materia orgánica media y las concentraciones de plomo influyen en el crecimiento de la especie fitoestabilizadora porque tienen valores menores que uno calificando a la “alfalfa” como excluyente de plomo.

Hurtado y Berastain (2012) hicieron un estudio experimental sobre la “Optimización de la biorremediación en efluentes de relave con cianuro adicionando nutrientes y microorganismos” (p. 1) realizada en el laboratorio de la Universidad Cayetano Heredia-Lima (Perú). El objetivo fue conocer las características más favorables para la biorremediación del relave cianuro usando bacterias. Esta investigación empleó tres muestras de relave proporcionadas por la empresa BH Consultores, para el relave 1 usaron la prueba de adaptación en la cual colocaron bacterias, protozoos, algas, hongos y bacterias sulfato reductoras (BSR) para la producción de sulfuros organismos con la habilidad de absorber cianuro (BC). Así mismo, el ensayo a nivel de columnas mediante experimentos factoriales aplicó lactato (1 y 10 mM) para ampliar el desarrollo de las bacterias sulfato reductoras, acetato de sodio (0,1 mM) y fosfórico (1 mM) para remover cianuro, y la interacción de los dos cultivos en estudio (BSR-BC) con una mezcla de lactato y acetato en concentraciones de 1 y 10 mM, finalmente en la muestra del relave 2 y 3 sólo añadieron el nutriente lactato de sodio. Los análisis obtenidos fueron desarrollados mediante el método gravimétrico de ignición de residuos 4500-SO<sub>4</sub>-C (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, Dudley Charles-1999) y la técnica colorimétrica 4500 CN-N para el cianuro total (Federación ambiental del agua- Lawrence Farber-1999). Esta investigación utilizó un análisis estadístico descriptivo para cuantificar los valores de varianza, promedios, desviaciones estándar y la determinación de normalidad de la distribución de medias con la prueba de Kolmogorov- Smirnov, Levene y ANOVA factorial para las concentraciones de cianuro y sulfato, procesados mediante el programa SPSS versión 14. Los resultados mostraron que en la muestra del relave 1 los nutrientes aumentaron la disminución de sulfatos en un 48 % y con la adición del inóculo un 42 % y en la biorremediación de cianuro permaneció en el 12 %. Comprobaron también que en la adición de un cultivo mixto (BSR-BC) con lactato y acetato en concentraciones de (1 y 10 mM) el efecto fue inmediato para las bacterias sulfato reductoras y en el relave 2 y 3 presentaron en un 5 % la presencia de bacterias sulfato reductoras. Concluyeron en el sentido que la incorporación de un inóculo de microorganismos degradadores de cianuro no tiene un resultado relevante en la reducción de este compuesto natural biodegradable en la solución.

## **1.2. Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1. Minería**

Desde el siglo XVI se incrementó el desarrollo industrial minero, por lo que conllevó a utilizar distintos métodos como la amalgamación usada por los españoles, pero como no era eficiente para la recuperación del material precioso, se mejoró en el siglo XIX con la aplicación del cianuro para la lixiviación del oro y la plata (Misari, 2010). Pero a su vez con la constante expansión del sector minero en siglo XXI, se observa la degradación de los ecosistemas y la contaminación de los recursos, así como daños en la población volviéndose indispensable aplicar el criterio de sostenibilidad para el cuidado del ambiente y de las generaciones presentes y futuras (Gudynas, 2001). Una de las actividades donde se hace mayor uso del recurso agua es la minería, principalmente en procesos de operaciones porque genera contaminación debido a la manipulación de ciertas sustancias (Tamayo, 2017).

Existe controversia en el tema de la actividad minera, por ejemplo, es considerada una actividad muy importante debido a que esta tiene la capacidad de aportar en el desarrollo de los países a un nivel social, económico y cultural en las diferentes localidades con escasos recursos económicos, logrando convertir pueblos pequeños en ciudades grandes, con una tasa alta de calidad de vida aceptable; por otro lado también existe un enfoque sobre los impactos negativos e irreversibles que pueden generar estos en el medio ambiente. Es decir, la extracción de los recursos no renovables que es suministrado a los seres humanos tiene un impacto sobre las diversas formas en el aspecto económico, pero no de manera sustentable, muy a pesar de los esfuerzos para mejorar dichos problemas (Misari, 2010).

Según Idárraga *et al.* (2010) mencionan que los problemas observados en la contaminación agua, aire y suelo en las áreas mineras, generan grandes intereses de los empresarios dedicados a este sector a nivel mundial para explotar los depósitos auríferos, haciendo inversiones y fomentando investigaciones por especialistas como geólogos y geoquímicos que puedan ubicar los depósitos auríferos y predecir mediante técnicas como la cacerola (pan), que consiste en el análisis por activación del neutrón y por el espectrofotómetro de absorción atómica, brindando resultados eficientes y de bajo costo en la detección de

posibles fuentes de deposición sobre la distribución del oro (Au), de acuerdo con las zonas de localización, como es el caso de la costa terrestre que tiene un promedio por tonelada métrica de 0,35 hasta 10 a 12 partes por billón (ppb).

Según Álvarez (2016), la actividad minera aurífera ayuda a mejorar la calidad de vida de la población en un ámbito económico; es por ello que el Estado dispone de un marco legal permanente para las distintas empresas mineras que quieran invertir, consistiendo en realizar la suscripción de convenios para una firme estabilidad tributaria y jurídica, aplicándose la fiscalización de cargos de forma uniforme y los cobros por vigilancia. Por otra parte, es inevitable dejar de mencionar los grandes daños irreversibles que produce esta actividad en el entorno ambiental; ya que los procesos de producción generan la contaminación de las masas de agua, de los suelos y de la salud de las personas, quienes están siendo afectadas notoriamente por la exposición al cianuro. Uno de los principales problemas de contaminación se aprecia en la Libertad, en sus provincias y caseríos como sucede en el sector del Toro ubicado en Huamachuco, donde operan empresas formales y artesanales puesto que, el cianuro es traficado de manera ilegal sin tener en cuenta que este compuesto al ser usado provoca grandes cantidades de afectación de la biodiversidad (Chagua y Tardío, 2015).

### **1.2.2. La minería a nivel mundial y nacional**

A nivel mundial los depósitos de oro más grandes son los llamados “Paleo-placeres”, que son conglomerados de guijo de cuarzo, zonas donde se produce aproximadamente el 60 % de oro mundial en los últimos 50 años, teniendo como ejemplos a las tres más grandes productoras del mundo, la empresa de Witwatersrand en Sudáfrica con una producción anual de 30 millones de onzas donde la ley del oro asciende de 0,3 hasta 0,8 onzas/tonelada, seguida de la minera Jacobina en Brasil con la producción de oro y uranio con un ley de oro entre 0,25 y 0,45 onzas/tonelada y finalmente, está la empresa minera Elliot lae y Blind river en Canadá (Rimarachín y Huaranga, 2015). Además, es conocido los dos yacimientos auríferos de Bolivia, teniendo en primer lugar el de la cordillera oriental de los Andes, en el cual sobresale la antigua mina de Sucre con vetas de antimonio, oro, pirita y cuarzo, con una producción mensual de 2 300 g de oro y como segundo lugar la región de los Llanos Orientales, donde se ubica la mina de Tipuani, rica en depósitos auríferos (Alguacil, 1995).

Asimismo, el autor Gudynas (2001) menciona que a nivel mundial la importancia del sector minero en los países de exportación de minerales como Canadá, Australia, Estados Unidos, Suecia, Nueva Zelanda y Perú, ha sido y seguirá siendo gracias a la riquezas de sus minerales una de las principales fuentes de crecimiento económico, demostrando que es posible lograr un elevado desarrollo económico cuando los proyectos en este rubro conllevan a los principales agentes a mejorar en los sistemas de producción, comercialización y financiamiento, buscando un equilibrio entre las dimensiones de la sostenibilidad como en el aspecto social, ambiental y económico. Además, el crecimiento económico emergente de países como China donde ha generado como efecto una mayor exportación de materia prima para un número relevante de países productores, provocando que se enfrenten a nuevos retos y desafíos en el sector minero (Garzón, 2008).

En consecuencia a la explotación masiva del oro por los países desarrollados y subdesarrollados del mundo, generan una gran preocupación a la población mundial por los efluentes que descartan algunas empresas, eliminando sus aguas contaminadas con pequeñas cantidades de oro, siendo procesadas por mineros informales llegando a contaminarse como, por ejemplo, el agua de las minas de Jacut (URSS) y del Colorado (U.S.A.) donde los efluentes eliminados contienen cantidades de oro entre 0,7 a 0,15 partes por billón (Gallardo, 2007).

A nivel nacional se considera que el Perú es rico en recursos mineros y metales, atractivo para posibles inversiones de carácter internacional con ganancias crecientes. A lo largo de la historia se viene realizando la extracción de estos recursos desde la época prehispánica siendo un importante productor a nivel internacional con minas de gran nivel como Buenaventura S.A.A., Volcán S.A.A., Minsur S.A., Milpo S.A.A., Antamina S.A., entre otras de mediana minería como la empresa minera Paltarumi S.A.C. y Coriland S.A.C. Por otro lado, Benavides (2012) menciona que la actividad relacionada a la minería es una fuente principal generadora de ingresos e inversiones al Perú, centrados en su mayoría de estos recursos mineros en los Andes o en la región de la sierra que continuamente se generan conflictos sociales entre los pobladores de las zonas rurales y los exploradores del mineral cuando incumplen con los límites máximos permisibles (LMP) (Armendáriz, 2016).

### 1.2.3. Efluentes mineros y sus características

Aduvire (2006) menciona que el tipo de efluentes de una empresa minera dependerá principalmente de las condiciones y el medio en que se encuentre: (a) alcalina, se produce cuando las aguas superficiales o subterráneas entran en contacto con materia caliza, produciendo carbonato de calcio gracias a la presencia del dióxido de carbono en el agua. También, estos drenajes alcalinos pueden llegar a ser muy dañinos, especialmente si lo encontramos con fuerte presencia de fierro ferroso y (b) ácidos, correspondientes a los líquidos producidos por lixiviaciones de minerales sulfurosos más la presencia de agua, oxígeno y bacteria catalizadoras. Estos presentan un pH bajo, alta cantidad de sólidos disueltos, algunos elementos trazas y compuestos inorgánicos. Asimismo, este tipo de drenajes puede aumentar el nivel de acidez en el medio debido a que el sulfuro entra en contacto con el aire generando una oxidación física química. Los parámetros que participan en la creación de estos efluentes ácidos son: pH, temperatura, oxígeno (en sulfuro), humedad, dióxido de carbono, microorganismos y nutrientes. La Tabla 1 muestra la clasificación de los efluentes residuales mineros de acuerdo al rango de pH.

**Tabla 1**

*Clasificación de los efluentes residuales mineros según su pH*

<b>Clase</b>	<b>Ph</b>
Altamente ácidas	1,5 – 4,5
Blandas, ligeramente ácidas	6,0 – 3,0
Duras, neutras a alcalinas	7,0 – 8,5
Blandas alcalinas	7,5 – 11,0
Muy salinas	6,0 – 9,0
Blandas ácidas	3,5 – 5,5

*Nota:* Gallardo (2007).

Los efluentes residuales mineros son aquellos flujos estacionales o regulares contaminados procedentes de una actividad minera que contienen metales pesados, los cuales son depositados en cualquier área. Sin embargo, al no ser manejados de forma adecuada generan impactos ambientales de alto potencial, es decir, contienen sulfuros metálicos que al oxidarse en la atmósfera generan drenajes ácidos (Rimarachín y Huaranga, 2015). Las empresas mineras en sus operaciones minero metalúrgicas aplican distintos procesos; físicos, químicos, mecánicos y eléctricos para la extracción de minerales a partir de la roca

mineralizada, generando emisiones de gases, residuos sólidos y efluentes líquidos que contienen minerales disueltos y sólidos en suspensión que no cumplen con los estándares indicados por las autoridades ambientales. En las operaciones mineras, los efluentes líquidos más importantes son; el drenaje ácido minero, aguas infiltradas, efluentes provenientes de procesos metalúrgicos, gases de fundiciones y soluciones residuales gastadas en los procesos de lixiviación (Armendáriz, 2016).

#### 1.2.4. El cianuro en la minería

Según Akinpelu *et al.* (2014) del 100 % del cianuro que se produce a nivel mundial, el 10 % es utilizado para fabricar químicos orgánicos como el nitrilo, plásticos, telas sintéticas, productos químicos farmacéuticos y agrícolas para controlar plagas, venenos para eliminar roedores e insectos que pueden ser portadores de cepas o virus patógenos a los organismos vivos; el 90 % de la producción de cianuro restante es usada en la industria minera en sus procesos de producción. En la Tabla 2 se observa los parámetros máximos a los que pueden llegar las empresas mineras para eliminar sus efluentes líquidos contaminados y así evitar los daños a nivel ambiental a nivel de la salud de las personas (Ministerio del ambiente [MINAM], 2010).

**Tabla 2**

*Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos mineros*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite en cualquier momento</b>	<b>Límite para el promedio anual</b>
pH	Rango de pH	6 – 9	6 – 9
Cianuro total	mg.L <sup>-1</sup>	1	0,8
Arsénico total	mg.L <sup>-1</sup>	0,1	0,08
Cadmio total	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,008
Cobre total	mg.L <sup>-1</sup>	0,05	0,04
Zinc total	mg.L <sup>-1</sup>	1,5	1,2

*Nota: tomado de MINAM (2010).*

### **a. Lixiviación en pilas de cianuro**

En inicios del siglo XIX implementaron técnicas para la lixiviación en pilas de oro y plata, empleando de 1 a 4 libras (lb) de cianuro por tonelada de solución, equivalente a 250 galones de agua, aplicando diariamente de 4 a 75 gal/ft<sup>2</sup> del área superficial por el sistema de rociado, percolándose la solución preparada a través de la pila fluyendo por todos los canales hasta llegar al tanque de almacenamiento (Velásquez y Reveles, 2017). Para comprobar que el contenido de cianuro tenga un pH de 11 se agrega cal y cianuro a la solución estéril, hasta que los valores de oro y plata hayan sido lixiviados y recuperados por los diferentes métodos existentes como el Merrill-Crowe que se realiza a partir de soluciones de cianuro convencional, purificando la solución del compuesto con la adición de zinc en polvo conllevando a la precipitación del oro y la plata del carbón activado (Gallardo, 2007).

### **b. Cianuración del oro**

La cianuración del oro es conocido también con el nombre de MacArthur-Forrest, esta técnica es utilizada en el proceso de lixiviación para extraer oro insoluble en agua, convirtiéndola en aniones metálicos, siendo muy usada por la industria minera, pero como el cianuro es tóxico desde su forma natural, está prohibida la comercialización en varios países (Rupay, 2016). De acuerdo con Castillón (2015) el cianuro está dentro de la familia de compuestos químicos formada por átomos de carbono y enlazados por átomos de nitrógeno, formando un triple enlace o cadena ( $C\equiv N$ ). Por lo tanto, el cianuro podría encontrarse en forma gaseosa, como cianuro de hidrógeno (HCN), cianuro de potasio (KCN) y cianuro de sodio (NaCN). Este compuesto tiene la cualidad de ser percibida por las personas mediante el sentido del olfato describiéndola como un olor amargo de almendras, emitiendo toxicidad y causando problemas en la salud.

Cuando la cantidad de minerales de cobre presentes en la mena corresponden a un porcentaje menor del 0,10 %, generan de manera perjudicial efectos en la disolución y precipitación del oro, conllevando a dificultades en el proceso de cianuración. Por otro lado, otras prácticas permiten que la solución de cianuro se ponga en contacto con las partículas disueltas de oro eficazmente, provocando una excelente recuperación mediante un tipo de molienda que puede reducir su tamaño hasta mallas 48, teniendo en cuenta que si la mena presenta ganga

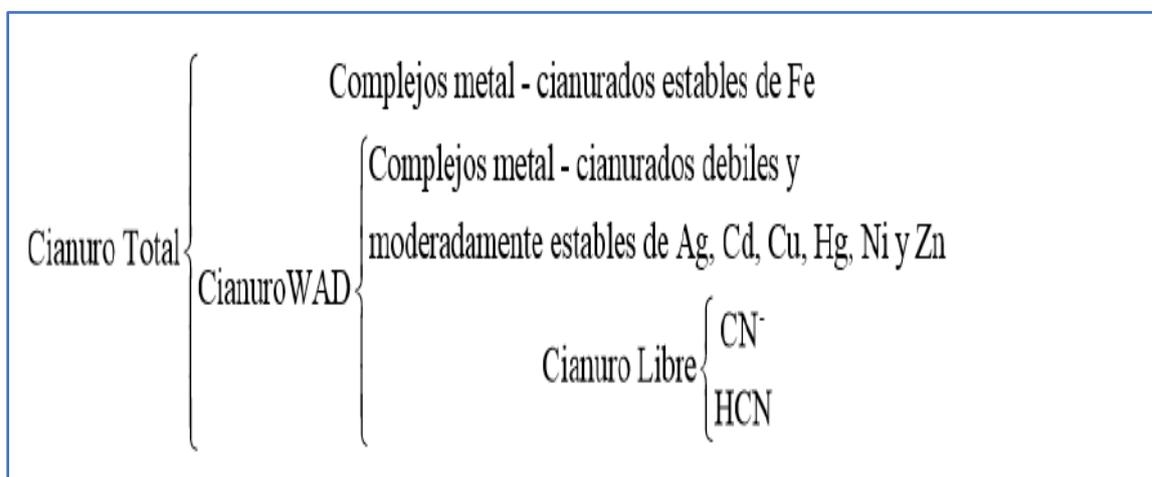
es más densa a la solución de cianuro, siendo necesario molerla hasta un tamaño de grano menor de mallas 200 (Gallardo, 2007).

### 1.2.5. Clasificación del cianuro

Según Castellón (2015) el cianuro puede presentarse de diferentes formas, para entender mejor se clasifica en cianuro total, wad y libre (Figura 1). El cianuro libre es la suma del ión cianuro ( $\text{CN}^-$ ) y el cianuro de hidrógeno (HCN), encontrando entre sus compuestos al cianuro en su forma más sencilla como las sales de los ácidos cianhídricos (cianuro de potasio y sodio). Es necesario mencionar que el cianuro libre se encuentra en una de sus formas como en el cianuro de hidrógeno que tiene un alto potencial tóxico siendo usada como veneno y nombrado de forma negativa ya que puede ser letal en concentraciones pequeñas causando la muerte en un tiempo de 10 segundos hasta 10 minutos, teniendo como efecto convulsiones y presencia de músculos tensos y duros. Éste actúa inhibiendo la proteína mitocondrial del ciclo de Krebs que cumple la función del sistema central del proceso de respiración celular. El cianuro Wad describe a los compuestos de cianuro que se relacionan a rangos de un ácido débil con un pH de 4 a 6, tiene la capacidad de trabajar en conjunto con el cianuro libre como, por ejemplo, el cianuro de níquel (Ni), zinc (Zn), mercurio (Hg), plata (Ag), cadmio (Cd), cobre (Cu). El cianuro total, incluye a la suma del cianuro orgánico, libre, simple (WAD) y todos los complejos del cianuro con excepción del compuesto de cianuro de cobalto y tiocianatos.

### Figura 1

*Clasificación de cianuro*



Nota: Tomado de Castellón (2015).

### **1.2.6. Procesos de degradación natural del cianuro**

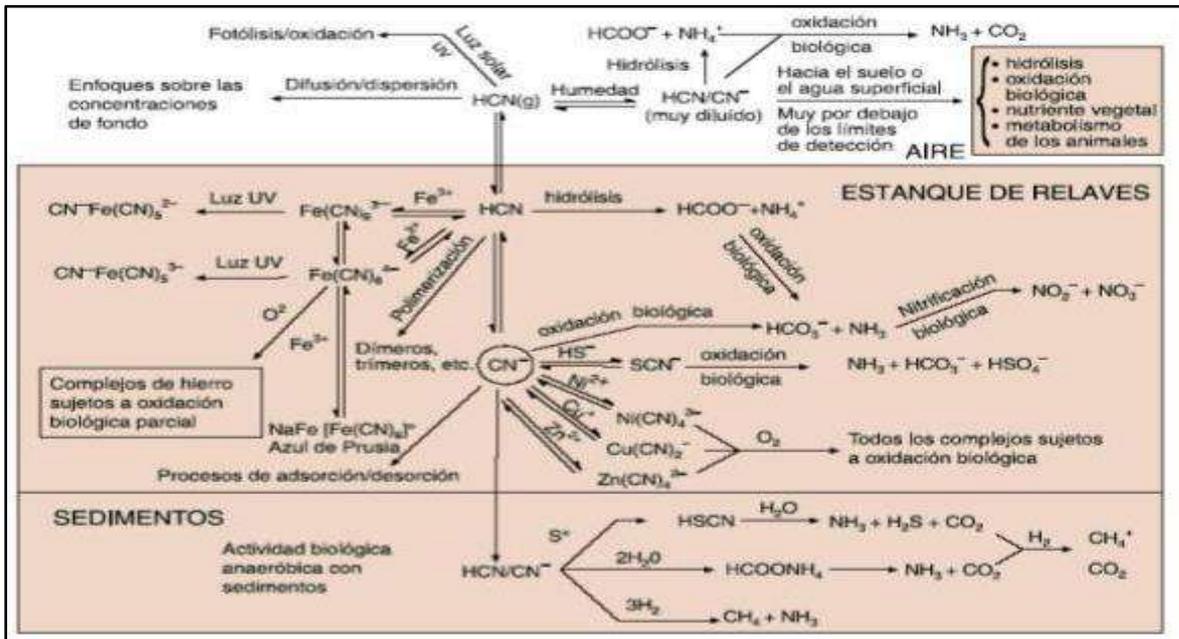
Misari (2010) señala que la degradación natural del cianuro es un proceso simple y de bajo costo en el que no se forman productos tóxicos y el éxito de este método se basa en tres aspectos: (a) las especies de cianuro presentes, (b) el tiempo de retención en las pozas, porque si es ilimitado se generarían productos tóxicos que atentarían contra los ecosistemas, y (c) por último depende de los resultados esperados en la reducción de los niveles de cianuro contaminado. Díaz (2019):

La degradación de forma natural en la poza de tratamientos se realiza por medio de procesos como la precipitación, disociación, foto-degradación, oxidación, hidrólisis y volatilización, aunque en ocasiones es influenciada por diversas componentes como: las soluciones de cianuro en diferentes concentraciones, bacterias, temperatura, aireación, pH, profundidad y tamaño. (p.41)

Para poder estudiar más detalladamente los principales factores que afectan los procesos de la degradación del cianuro en una relavera tenemos en cuenta que se llevan a cabo por la interacción de varios procesos que se forman a partir del cianuro libre. Por lo tanto, el más importante mecanismo de los procesos de degradación natural del cianuro es la volatilización, seguida de la oxidación química, bacteriológica, hidrólisis, fotodegradación, disociación, precipitación y los efectos de la luz solar, permitiendo reducir las altas concentraciones de cianuro en sustancias químicas con un menor grado de toxicidad ambiental. En la Figura 2 observamos el uso de bacterias aeróbicas que utilizan el oxígeno estableciendo este ciclo microbiano para oxidar los complejos de cianuro metálico, iones DAD y los subproductos intermediarios del proceso, tratando en su totalidad los compuestos del cianuro. Así mismo, visualizamos las estructuras de estanques de relaves con una grande extensión de espacio en donde el uso de bacterias aeróbicas y anaeróbicas permiten que la mitad del cianuro pueda eliminarse en 21 días y totalmente en 100 días (Mudder, 1996), citado por (Rupay, 2016, p. 28).

**Figura 2**

*Proceso de la degradación natural del cianuro*

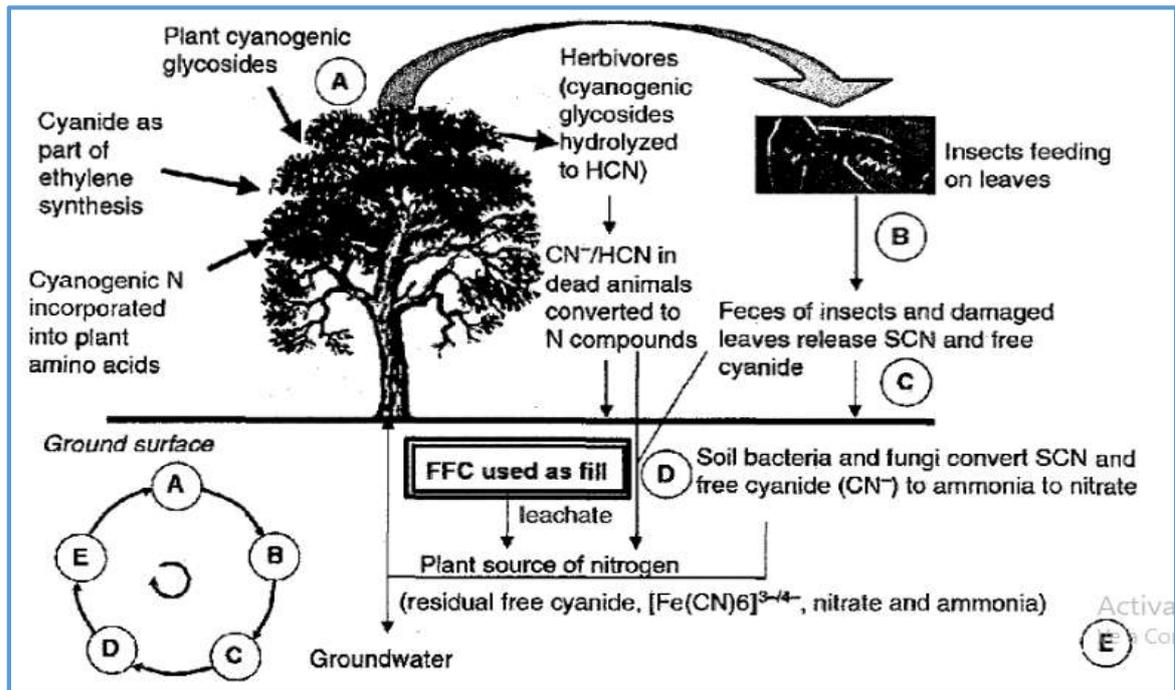


Nota: Tomado de Smith y Mudder (1996) citado por Rupay (2016, p. 28).

Las concentraciones en altas proporciones y en la forma tóxica del cianuro se pueden reducir a valores bajos a lo largo del tiempo por los procesos de degradación natural, ya que es un compuesto natural biodegradable. Los principales mecanismos para la degradación del cianuro es la volatilización con transformaciones atmosféricas que reducen considerablemente los niveles de toxicidad, seguido de la oxidación biológica, la hidrólisis, la precipitación y los efectos de la luz solar. También se disponen de referencias de los datos que cuando se combinan estos mecanismos son suficiente para satisfacer los límites máximos permisibles de la descarga de efluentes. A pesar de que estos procesos de mecanismos de degradación son eficientes, al ser usados individual o colectivamente, no siempre tienen una cinética rápida como para ser considerados dentro de los procesos industriales, siendo necesario añadir otros sistemas de desintoxicación para acelerar su proceso degradativo de esta manera habrá una respuesta inmediata para la restauración de un área, así como se muestra en la Figura 3 (Samata, 2015).

**Figura 3**

*Reciclamiento de cianuro antropogénico mediante el ciclo natural*



Nota: Tomado de Samata (2015).

**a. Reacciones comunes del cianuro**

Castillón (2015) reporta que las reacciones comunes del cianuro originan muchas propiedades beneficiosas, por lo que es usado en el sector industrial para la fabricación de fibras acrílicas elaboradas a partir del acrilonitrilo y en el área minera para la hidrometalurgia en el proceso de lixiviación, consistiendo en la extracción y recuperación de metales como el oro y la plata, convirtiéndola en aniones metálicos complejos solubles en agua, reemplazando al antiguo método conocido como amalgamación de metales con mercurio (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Reacciones comunes del cianuro*

Reacciones	Formula química
	$\text{NaCN} \rightarrow \text{Na}^{2+} + \text{CN}^{-}$
Disociación	$\text{HCN} \rightarrow \text{H}^{+} + \text{CN}^{-}$
Complejos	$\text{Zn}^{2+} + 4\text{CN}^{-} \rightarrow \text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$

## Continuación

---

Volatilización	$\text{HCN (aq)} \text{ ---- } \text{HCN(I)}$
Oxidación	$2\text{CN}^- + \text{O}_2 \text{ ----- } 2\text{CNO}$
Fotólisis	$\text{Fe (CN)}_6^{4-} \text{ ---- } \text{Fe}^{2+} + 6(\text{CN})^-$
Tiocianato	$\text{S} + \text{CN} \text{ ----- } \text{SCN}^-$

---

*Nota:* Elaboración propia con base en Castellón (2015).

Según Misari (2010, p. 57), “la ecuación de la disolución de cianuro es la reacción de oxidación y reducción del oxígeno disuelto, resultante de dos reacciones electroquímicas producidas en sitios anódicos de carga polares positivas y negativas”. La reacción que tiene lugar para la disolución consta de procesos sencillos de oro, mostrados a continuación  $4\text{Au} + 8\text{NaCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{NaAu (CN)}_2 + 4\text{NaOH}$ , teniendo como único requerimiento que el oro esté libre y limpio y si hay presencia de minerales de cobre en la mena los contenidos de absorción pueden ser menores. Por lo tanto, recomienda que esté libre de impurezas y que se mantengan en condiciones estables con cantidades proporcionadas de oxígeno para la solución durante todo el proceso (Beltrán y Gómez, 2016).

El método más usado por la industria minera es la cianuración donde la sustancia primordial es el cianuro, pero a su vez representa una preocupación, discusión y controversia debido a los efectos e impactos negativos que causa en el medio ambiente y debido a la toxicidad relacionada a la salud humana; sin embargo, sigue siendo elegido por sus bajos costos y su fácil realización. Entre los principales compuestos que están involucrados en el cianuro tenemos: (a) Al cianuro libre, referido al ion cianuro y el ácido cianhídrico, (b) Cianuro total, que representa en la solución incluida en todas sus formas, (c) Complejos metálicos del cianuro, representadas por aquellas sustancias solubles del compuesto natural biodegradable, las cuales pueden clasificarse según su estabilidad de fuerza, describiendo como ejemplos al oro, cobalto zinc, cobre, y (d) Tiocianato, esta sustancia es biodegradable en forma química o biológica, por lo que tiene como subproducto a los iones amonio, sulfato, carbonato y cianuro. En las soluciones de cianuro también podemos encontrar restos de tiocianato debido a las reacciones en horas de aireación o lixiviación con el azufre de forma inestable. En los efluentes cianurados, el tiocianato requiere mayor consumo de oxidante debido a que esta

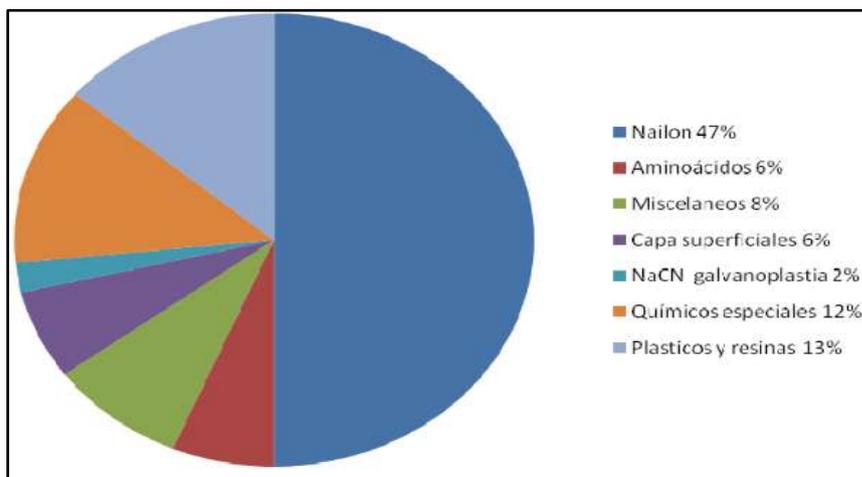
sustancia es más fácil de oxidarse generando como consecuencia, un mayor costo en el tratamiento de estos efluentes contaminados. Esta sustancia no representa un peligro para la salud humana ni para el ambiente; sin embargo, si añadimos cloro puede generarse cloruro de cianógeno como producto de la hidrólisis del cianato lo cual sí es altamente dañino (Samata, 2015).

### **1.2.7. Usos del cianuro**

La demanda de oro fue incrementada en los últimos años debido a sus diversos usos; tanto en joyería, tecnología, arte y medicina para el tratamiento del cáncer. Así mismo, por su característica de aleación resistente es empleada por los dentistas y en la industria fotográfica para la visualización de imágenes que emplean como cloruros de oro en cantidades de 49,5 y 51,5 (Gallardo, 2007). Consecuente, el uso del cianuro aumentó en la industria metalúrgica para obtener oro por lixiviación química, siendo éste compuesto biodegradable uno de los principales utilizados por la industria química debido a su fácil reacción con otras sustancias equivalente al 80 % de la producción anual en químicos orgánicos como nitrilo, nylon, plásticos acrílicos, galvanoplastia, procesamiento de metales, producción de goma sintética, endurecimiento del acero y las aplicaciones fotográficas, lo podemos identificar en la Figura 4 (Muñoz, 2015). Así mismo, podemos encontrar en sus usos del cianuro a los compuestos de hierro que son utilizados para fundir el hielo en superficies de carreteras, aceras y caminos de acceso gracias a su propiedad anti aglutinante para la sal. El cianuro de hidrógeno que es usado en la agricultura para exterminar plagas que han desarrollado resistencia a otros pesticidas, en la ciudades urbanas y rurales es empleado para eliminar roedores y depredadores grandes (Muñoz, 2015). También es consumida en gran medida para productos químicos, como vendas quirúrgicas que ayudan a la cicatrización de heridas, el laetril para tratar el cáncer y como nitroprusiato para reducir la presión arterial. Una buena proporción restante es consumida para fabricar cianuro de sodio y para la extracción minero metalúrgica, aunque la producción se esté concentrando en mayor medida para América del Sur y en países como Australia con minas a cielo abierto y lixiviación en pilas (Ramírez, 2010).

**Figura 4**

*Usos del cianuro de hidrógeno*



Nota: Muñoz (2015).

### 1.2.8. Contaminación con cianuro

Gallardo (2007) enfatiza que el cianuro es un subproducto residual de hierro-cianuro que se encuentra en fase sólida y al pasar por el proceso de lixiviación puede dar lugar a la contaminación de las aguas subterráneas que circula en los acuíferos. La polución del cianuro a nivel industrial depende del lugar y el proceso en el que se desarrolla en la extracción del oro y lixiviación de galvanoplastia, este último representa a la deposición de metales mediante la electricidad conocido como electrodeposición porque al producir diferentes fuentes pueden formarse otros compuestos de metal-cianuro generando otros metales como Cu y Ni.

Entre las sustancias tóxicas más peligrosas conocidas y usadas por el hombre se encuentra el cianuro constituido fundamentalmente por un mecanismo de acción llamado enzima mitocondrial citocromo oxidasa A-3 con un alto grado de letalidad en la forma en que se encuentra como cloruro de cianógeno (ClCN) y cianuro de potasio (KCN). Además, se halla de manera artificial en el humo del cigarrillo y la combustión de los materiales plastificados, que emiten en forma de gas incoloro en forma de HCN. En la actividad minera se emplea al cianuro en el proceso de lixiviación para extraer el oro y de forma natural es absorbido por plantas por medio de las raíces; de esta manera actúa contaminando a los seres bióticos y

abióticos que habitan el planeta tierra. Así mismo, los efluentes residuales de los procesos mineros, se encuentran compuestos por sintéticos y sales de cianuro que a un pH bajo son altamente tóxicos, es decir, se introducen en el plasma celular, combinándose con otros metales como el cobre y el hierro formando enzimas y proteínas que bloquean la respiración celular, impidiendo que se produzcan las reacciones de oxidación del fósforo, contaminando exponencialmente las aguas vertidas a las relaveras para su posterior tratamiento (Sandoval, 2019).

Misari (2010) señala que la minería es una actividad que está asociado a la riqueza, más no a la deforestación, guerras, pobreza, desigualdad o violación del derecho, pero esconde en su marketing las consecuencias ambientales y sociales que generan, concluyéndose que en la actualidad es el hombre el responsable de los impactos señalados que son el origen de la insostenibilidad y degradación del ambiente. Por tales razones, la contaminación cianurada es determinada mediante dos aspectos principales: (a) La ubicación del lugar afectado con las fuentes de producción de cada industria, y (b) Las condiciones ambientales que presenta el lugar a lo largo de los años al utilizar otras técnicas para la extracción del oro.

#### **a. El cianuro y la salud**

Logsdon *et al.* (2001) comentan que las personas por lo general pueden quedar contaminadas al inhalar el aire ambiental contaminado con cianuro y al consumir agua contaminada especialmente cuando está presente en glucósidos cianogénicos que al metabolizarse liberan el núcleo funcional  $C\equiv N^-$ , por lo tanto, explica la preocupación que existe para las empresas industriales al momento de manipular el cianuro, ya que produce la muerte instantánea del operador provocada al no cumplir con las medidas de precaución usando los equipos de protección personal (EPP).

En un estudio similar, Rupay (2016) menciona que los seres humanos a lo largo del desarrollo de sus actividades cotidianas pueden absorber cianuro emanados por los escapes de gases de los automóviles, humo del tabaco, incendios naturales o antropogénicos y por compuestos cianurados que son absorbidos por la piel causando problemas en los tejidos,

defectos congénitos, depresión del sistema nervioso central o paros cardiacos; esto debido a que son transformados por el cuerpo humano en una sustancia menos tóxica como el tiocianato que es un veneno menos nocivo eliminado por nuestra excreta, impidiendo de esta manera cualquier efecto adverso para la salud corporal. Además, nos dice que el ser humano también puede intoxicarse con cianuro por inhalación impidiendo la entrada del oxígeno hacia los tejidos generando una hipoxia, acumulándose el lactato en la sangre, ocurriendo una reacción conjunta entre estas dos fases, causando en concentraciones altas de cianuro el envenenamiento de varios órganos como el corazón, sistema nervioso central y respiratorio, conduciendo a la muerte del individuo expuesto a esta sustancia.

Según los investigadores Logsdon *et al.* (2001) el cianuro de hidrógeno posee una mayor toxicidad al grado de generar una afectación en las personas. En la Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales se estableció que el límite máximo permisible del cianuro de hidrógeno en la atmósfera es de  $4,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ , observándose un pequeño malestar en la persona cuando los niveles se encuentran en concentraciones que fluctúan entre  $20$  a  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ , causando la muerte cuando la concentración de cianuro en la atmósfera es mayor a  $250 \text{ mg.kg}^{-1}$ . La toxicidad del cianuro de hidrógeno gaseoso para un hombre está expresada en su concentración o dosis letal ( $LC_{50}$ ) que es de  $100$  a  $300 \text{ mg.kg}^{-1}$  por lo cual, al ser inhaladas causan la muerte de las personas en un tiempo de  $10$  a  $60$  minutos y si la concentración letal inhalada es de  $2\ 000 \text{ mg.kg}^{-1}$  entonces ocasiona la muerte inmediata de una persona en un tiempo de  $60$  segundos, es decir, cuanto haya una mayor concentración de cianuro más rápida será la muerte de una persona. En el caso del cianuro libre la concentración letal por absorción es de  $50$  a  $200 \text{ mg}$  que es equivalente de  $1-3$  miligramos de cianuro por kilogramos por trabajador y en el caso de la absorción del cianuro por la piel la dosis letal es de  $100$  miligramos por kilogramos de peso corporal.

### **1.2.9. Biorremediación**

La biorremediación es una técnica que tiene principio hacer uso de organismos vivos como plantas, algas, hongos y bacterias para absorber y transformar los contaminantes presentes en agua, suelo y aire, recuperando el área degradada. Diversos estudios muestran que la biorremediación es usada *in situ* o *ex situ* en condiciones aeróbicas y anaeróbicas para el

tratamiento de suelos, lodos y sedimentos que han sido contaminados con hidrocarburos, efluentes líquidos de cianuros, pesticidas, explosivos, entre otros; empleando para la remoción organismos autóctonos o de otros lugares que han sido desarrollados mediante condiciones de laboratorio (Leahy y Colwell, 1990; Dott *et al.*, 1995).

La biorremediación se usa en los siguientes casos: (a) relacionado a los plaguicidas, siendo ideal para reducir la contaminación de los suelos por pesticidas, fungicidas, insecticidas, herbicidas, acaricidas y otros. Esto gracias a su capacidad de eliminar y degradar sustancias extrañas en un área natural; (b) contaminantes atmosféricos, la contaminación de los aires es muy frecuente y los resultados de estas son vistas en la vegetación y en los suelos cultivados esta tecnología fitorremediadora ayudará a eliminar sustancias dañinas y restaurar dichos lugares; (c) relacionado al petróleo, dentro de la rama de biorremediación existe la electrobiorremediación la cual es ideal para la restauración de suelos dañados por petróleo, hidrocarburos, biodiesel y otros; (d) relacionado a metales pesados, esta técnica generalmente se aplica *in situ*, es decir, en el suelo o el agua alterada través de la fitoestabilización; (e) relacionado a los elementos potencialmente tóxicos, perteneciendo al rol de la simbiosis micorrízico arbuscular, y (f) de las enmiendas orgánicas en la tolerancia a elementos tóxicos (Gallardo, 2007).

#### **1.2.10. Fitorremediación**

Este término fue propuesto en 1991, proviene de dos vocablos, *phyto* que viene del griego vegetal y *remedium* del latín remediar un daño ocasionado, siendo una tecnología sustentable basada en el uso de plantas para la limpieza *in situ* porque remedia, transforma, mineraliza, volatiliza y estabiliza los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua, suelo y el aire (Jaramillo y Flores, 2012). En los últimos tiempos están utilizando técnicas con organismos vivos para absorber e inhibir los metales contaminantes, como la fitorremediación que hace el uso sólo de plantas verdes con el objetivo de eliminar los contaminantes expuestos en un área, restaurándola a su estado natural en el que se encontraba, enfatizando que para el uso de esta tecnología tendrá un tiempo de recuperación a largo plazo porque es usada para superficies de grandes extensiones con contaminantes inmóviles o en otros casos en lugares con contaminantes con bajos niveles. Esta

fitotecnología disminuye el uso de productos químicos peligrosos que contaminan el suelo y el agua (Tuesta, 2010). Con respecto al tema, Montesdeoca (2019):

Las plantas presentan una respuesta a la toxicidad por metales pesados, debido a que están en contacto directo con los ambientes contaminados, la importancia de la interacción con el ecosistema radica en los mecanismos de resistencia o tolerancia que pueden desarrollar algunas plantas con valor adaptativo frente a la toxicidad del metal como los mecanismos de absorción, transporte, y acumulación de los metales por las plantas. (p.11)

Delgadillo *et al.* (2011) señalan que la fitorremediación aprovecha la capacidad que tienen las plantas para absorber, metabolizar y estabilizar metales presentes en el suelo, agua y aire, como metales tóxicos, radioactivos, compuestos orgánicos y derivados del petróleo. Esta fitotecnología al relacionarse con los métodos fisicoquímicos ofrece una amplia aplicabilidad y bajo costo para la recuperación de áreas contaminadas siendo utilizadas a lo largo del tiempo en áreas con alta toxicidad para captar metales pesados conocidos con el nombre de hiperacumuladoras, absorbiendo al menos  $100\mu\text{.g}^{-1}$  de cadmio, arsénico y  $1\ 000\ \mu\text{.g}^{-1}$  de metales como el cobre, cromo, níquel, plomo y cobalto (Watanabe, 1997).

Según Murillo *et al.* (2010) hoy en día se considera a la flora terrestre y acuática como uno de los recursos para mitigar la contaminación, a este proceso de limpiar el ambiente través de vegetales se le denomina fitorremediación. Además, su popularidad aumenta por la variedad de usos en los cosméticos y alimentos. La variable principal para la elección de una adecuada especie para que pueda ser usada como remediadora es la concentración del elemento potencialmente tóxico (EPT) que está presente en las raíces radiales y en la parte aérea del vegetal, finalizando con la bioacumulación.

#### **a. Tipos de fitorremediación mediante el uso de plantas acuáticas**

Para Jaramillo y Flores (2012) existen cuatro tipos de fitorremediación que son los más utilizados en los procesos de remediación con metales pesados estos son: (a) Fitoextracción que consiste en usar plantas que puedan concentrar en sus hojas y raíces metales pesados como Cd, Co, Cr, Ni, Hg y Zn; es decir, tienen la cualidad de ser cosechables; (b) Rizofiltración que se utiliza para tratar efluentes procedentes de empresas mineras con

cadmio, plomo, níquel, mercurio, isótopos radiactivos y zinc permitiendo la degradación de los compuestos orgánicos con la utilización de las raíces de las plantas captando los metales tóxicos; (c) Fitoestabilización que puede ser utilizado en el caso de las lagunas de desechos de un yacimiento minero; para este caso es necesario tomar como precaución que los efluentes no pasen a la napa freática o sean volatilizados en forma de gases generando contaminación en el aire, por lo que es necesario utilizar plantas que sean tolerantes a metales pesados; par(d) Fitovolatilización a la captación de metales pesados por la plantas para luego transformarlo y eliminarlo a la atmósfera mediante el proceso de la transpiración, en este caso las plantas son usadas principalmente para remover mercurio (Hg), selenio (Se) y solventes clorados, y (e) Fitodegradación es utilizado en el caso de encontrar solventes clorados, pesticidas fosfatados, dicloro difenil tricloroetano (DDT), fenoles y nitrilos; por lo tanto es recomendable usar plantas acuáticas ya que pueden captar con mayor facilidad a estos compuestos orgánicos generando la degradación de los productos en subproductos e inhibiendo casi todo el nivel de toxicidad y en otros completamente diferentes.

#### **b. Ventajas y desventajas de la fitorremediación**

Una de las ventajas que presentan estas plantas es la alta capacidad de remoción de terrenos contaminados en un tiempo de recuperación a largo plazo. Su desarrollo demanda bajos costos. El uso de las macrófitas acuáticas permite realizar procesos degradativos más rápidos en comparación del tratamiento con bacterias (Paredes y Ñique, 2015). Entre las limitaciones se puede mencionar a la escasa profundidad de crecimiento que presentan sus raíces, las cuales deben proveer una significativa absorción de los nutrientes. Además, en las áreas que contienen altos niveles de metales pesados, las plantas se exponen a una mayor mortalidad. El tiempo para la fitorremediación de amplias zonas contaminado puede ser extenso debido a la duración del crecimiento de las plantas empleadas. La cantidad de contaminantes que contienen los lugares contaminados es un factor limitante para la recuperación y la captación de los metales pesados por las plantas o macrófitas acuáticas usadas (Vílchez, 2019).

#### **1.2.11. Fases de acumulación de metales pesados por organismos vegetales**

Los mecanismos de acumulación de los metales pesados en plantas fitorremediadoras, se basa en dos fases principales: (a) la Fase I: que consiste en la adsorción rápida o la interacción con la superficie biológica, implicando el transporte de los contaminantes,

principalmente por la raíz de las plantas, ingresando al interior de la macrófita por intercambio catiónico o la bioacumulación que consiste en el transporte por difusión al interior de la membrana celular que lleva el proceso de traslado por una proteína transportadora hasta llegar a la célula, y (b) Fase II: que lleva el secuestro o antagonismo de metales pesados, por ácidos orgánicos (ácido oxálico y cítrico), aminoácidos (cisteína) y péptidos (fitoquelatinas y metaloteínas) que están presentes en la membrana celular de los vegetales (Paredes y Ñique, 2015). Para Jaramillo y Flores (2012) en las macrófitas acuáticas como la *E. crassipes*, *Hydrilla verticillata* y *Ipomoea aquatica*, la mayor acumulación de metales como cianuro y mercurio se encuentran en raíces, seguido por los brotes.

#### **a. Criterios selectivos de las plantas para la fitorremediación**

Para Jaramillo y Flores (2012) la remoción eficiente de los metales pesados por una planta, dependerá del tipo de planta a utilizar y de la cantidad de metales que se encuentren en un área, pero para poder obtener buenos resultados es importante considerar las características siguientes: las especies escogidas tienen que ser acumuladoras de metales pesados y tolerantes a elevados niveles de contaminantes, ser especies nativas y representativas de la zona y tener un desarrollo vegetativo rápido con altos niveles de productividad y que puedan ser fácilmente cosechables.

#### **1.2.12. Tolerancia y detoxificación de los metales contaminantes en la vegetación**

Según Porras (2017) existen seis instrumentos celulares respecto a la tolerancia y a la detoxificación en la vegetación, los cuales son:

#### **Micorrizas**

La interacción de ciertos hongos con las raíces de los vegetales se logra cuando las plantas pueden unirse con las hifas de ciertos hongos en particular, generando la inmovilización de los metales, logrando mantenerlos en la raíz impidiendo el pase de los contaminantes a los apoplastos obteniendo nutrientes y aguas provenientes del suelo, mientras que el hongo absorbe del aire carbohidratos y sustratos energéticos. Un causante de este proceso es gracias a la pared celular de los hongos que se encuentran cargadas con iones negativos y pueden

absorber cationes de la superficie con carga positiva. Por efecto en las micorrizas también se visualiza la absorción y translocación de metales en el vegetal.

### **Pared celular y exudados de raíz**

Los metales contaminados llegan a través de procesos de difusión hasta la raíz, esta representa la entrada principal para que pueda esparcirse por toda la plántula. Las células de la rizodermis poseen ácidos péptidos que contienen grupos de carboxilo permitiendo que la raíz se cargue de forma negativa, logrando equilibrio con los metales pesados ya que estos presentan cargas positivas, una vez unidos, los metales logran ingresar al interior de la célula y transportarse con mucha facilidad. Los exudados se dividen en dos clases de sustancias eliminadas por las raíces, las cuales van a ayudar a una mayor absorción de los metales, esto son: (a) La sustancia que tiene masa molecular (M) baja y que son liberadas a favor de la gradiente de concentración, en estas sustancias se encuentran el azúcar, aminoácido, fenol, ácido orgánico y etileno en gas; y (b) Sustancias con una masa molecular alta y que son liberadas por transporte activo, son encontrados en las secreciones de productos lisados y los mucílagos.

### **Membrana plasmática**

Es usada para mantener los gradientes iónicos y para equilibrar el volumen de las células. Si ésta es dañada se produce la entrada de iones de calcio y por ende la salida del potasio, ocasionando un aumento en el volumen celular debido al ingreso excesivo del agua. Los metales pesados son tan agresivos que generan rápidamente daños contra la membrana plasmática, impidiendo la llegada de las proteínas esenciales a la membrana y produciendo cambios drásticos en la permeabilidad, la fluidez y la composición de los lípidos de la membrana, pese a ello la membrana plasmática puede tolerar a los metales pesados reduciendo la captación del metal debido a la presencia del citosol.

### **Quelación**

Este proceso se inicia cuando el ion metálico se convierte en aceptador de electrones formando un compuesto complejo; sin embargo, si el ion metálico logra unirse con dos o más donadores formará un compuesto denominado quelado. Mencionado mecanismo de

complejación es usado por las plantas en su interior para amortiguar al metal pesado, acogiendo a ellos unos ligandos para posteriormente formar sus complejos. Los metales pesados muestran mayor atracción por algunos grupos funcionales como los carboxilos, ligandos, sulfhidrilo, fosfato, aminos e hidroxilos.

### **Compartimentación de vacuolas**

Las vacuolas son consideradas como el espacio de mayor acumulación de metales pesados en los vegetales; el transporte de los iones por el interior de la vacuola tiene la principal meta de reducir la toxicidad del metal en el citoplasma, de tal manera que queden inmovilizadas para evitar la translocación hacia la parte superior de la planta y de esa manera a otras partes de las células que no podrán entrar en contacto con los contaminantes peligrosos, evitándose así que la planta sea afectada.

### **Biotransformación**

Es el proceso de polaridad que se produce por medio de los tejidos en relación con los tóxicos, debido a que este proceso aumenta la difusividad del tóxico y la velocidad de excreción. Para que una sustancia no sea tóxica hay que minimizar su grado de afectación y la permanencia en el lugar de acción.

#### **1.2.13. “Jacinto de agua”**

Según Robles y Madsen (2015) la macrófita acuática *E. crassipes* es comúnmente llamada “jacinto de agua”, “lechuguín”, “lirio de agua” y “camalote”, esta especie forma rosetas que aumentan de tamaño a medida que incrementa la densidad de la planta acuática, además, están soportadas por pecíolos largos con inclinación perpendicularmente hacia el agua, desarrollándose desde el ápice de un tallo denominado rizoma. El sistema de raíces se encuentra sumergido bajo el agua de manera flotante, representando el 20 - 50 % de biomasa de la planta. Mientras que sus hojas son fibrosas, ovadas de pigmentación verde oscuro, algunas veces esto varía en función a la especie y a las condiciones medio ambientales. Producen inflorescencia de espiga vistosa de hasta ocho flores violáceas con manchas amarillas, las cuales se convierten en cápsulas que comprenden semillas de forma ovoide. La diseminación está dada por el rompimiento de rosetas unidas a la colonia principal que

son facilitadas por corrientes de viento, polinización, olas y flujo de agua. Además, el hombre facilita la diseminación debido a que el jacinto de agua es bien cotizado y utilizado como planta ornamental. La planta acuática *E. crassipes* se encuentra dentro de la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Clasificación taxonómica del jacinto de agua*

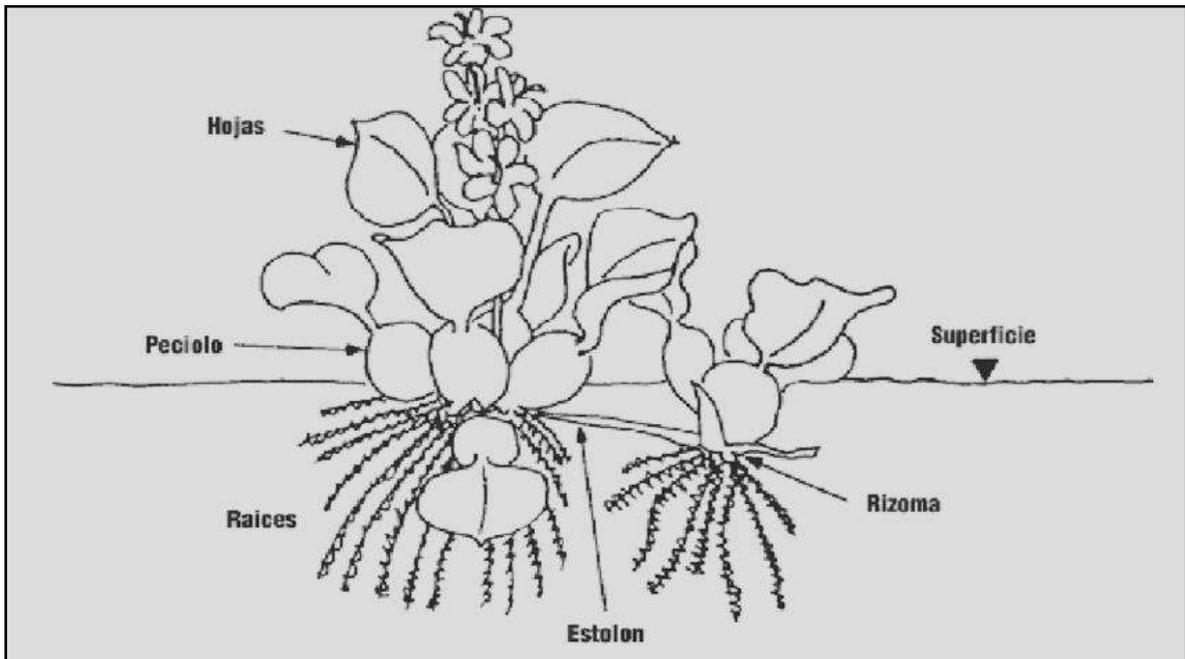
<i>Eichhornia crassipes</i>	
Orden	Commelinales
Familia	Pontederiaceae
Género	<i>Eichhornia</i>

*Nota:* El sistema de clasificación APG IV (2016).

La macrófita acuática jacinto de agua posee la función principal de fotosíntesis y transpiración a nivel de las células superficiales. Dentro de los sistemas depurativos las raíces poseen pelos radicales que a través de ellas absorben los elementos necesarios para su metabolismo como agua y minerales. Su hábitat necesario es el agua dulce como lagunas, lagos, embalses, ríos y pantanos altamente alcalinos, sin embargo, en un medio neutro se presentan en forma más numerosa; por otro lado, estas plantas requieren de temperaturas altas como zonas tropicales y subtropicales. La morfología de la macrófita acuática *E. crassipes* se muestra en la Figura 5 (Lagos, 2005). Posee un crecimiento óptimo a una temperatura de 20 a 30 °C, esta planta fitorremediadora contiene rizóforas en la cual habitan microorganismos que cumplen la función de degradación y depuración de algunos compuestos orgánicos como sólidos totales, DBO, DQO y fenoles. Por otro lado, sus tejidos poseen la propiedad de absorber o capturar ciertos metales pesados como Hg, CN<sup>-</sup>, Cd, Pb y As (Coronel, 2016). Su ciclo de vida es hasta los dos años, por lo que es considerada como una planta perenne esta crece en forma de maleza en las aguas lentas y dulces, su reproducción se lleva a cabo sexualmente dando frutos capsulados con marchitez de forma natural en estaciones favorables colonizando en poco tiempo (Porrás, 2017).

## Figura 5

Morfología de la macrófita acuática *E. crassipes*



Nota: Tomado de Lagos (2005).

### 1.2.14. “Junco”

El *S. americanus*, llamado comúnmente “junco”, presenta rizomas rígidos que crecen con tallos alargados y lisos de aproximadamente 1,5 metros (m). Posee vainas foliares inferiores con un limbo de dos centímetros (cm), mientras que las vainas foliares superiores son lisas con una lámina de 13 - 20 cm. Su inflorescencia pseudo-lateral son de múltiples espiguillas sésiles. Las glumas de 4 x 3 mm, son sostenidas por la raquilla la cual tiene tres estambres y dos estigmas. Así mismo, tiene dos tipos de diseminación; clonal basado en la replicación de rizomas que generan nuevos gametos, y sexual a través de la fusión de los gametos masculino y femenino que presenta las flores. Tiene una distribución cosmopolita, debido a que esta planta perenne puede encontrarse presente en áreas abiertas, húmedas, inundadas, cerca del mar, alrededor de manantiales, pantanos y en áreas salobres. Además, para su adaptación requiere regiones templadas y cálidas. La región Lima es el departamento con mayor cantidad de colectas y Cajamarca es el único departamento andino que registra esta especie. En los últimos años, se están haciendo trabajos de investigación acerca de la biología, distribución, fisiología, propiedades y conservación de esta especie debido a que es muy adaptable a los hábitats de los humedales costeros, gramadales, totorales y zonas

arbustivas, además puede formar grandes comunidades llamadas vegas de ciperáceas. Asimismo, son características de humedales con una gran capacidad de resistir cambios de estrés salino sobre otras especies características de humedales. Según Aponte (2009) la planta acuática *S. americanus* se encuentra dentro de la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Clasificación taxonómica del junco*

<i>Shoenoplectus americanus</i>	
Orden	Poales
Familia	Cyperaceae.
Género	<i>Schoenoplectus</i>

*Nota:* Sistema de clasificación APG IV (2016).

La planta acuática junco en sus raíces absorbentes, se desarrollan biopelículas de microorganismos que actúan purificando el agua mediante procesos aeróbicos degradativos y en su tejido vegetal asimilan nutrientes y metales pesados haciendo que estas se adhieran a los rizomas de dicha planta, para luego ser metabolizado o volatilizado, retirando los contaminantes del efluente (Bedoya, 2014). Su ciclo de vida muchas veces depende de las condiciones climáticas donde se encuentren, posee un hábitat halófilo enraizado, crece en lugares de intensidad de luz, soporta aguas a intermedia salinidad y puede adaptarse a cualquier lugar que haya humedad, su reproducción de frutos es gracias a su inflorescencia permitiendo su distribución por la corriente de agua, logrando de esa forma crecer en diferentes lugares. Su etapa final llega muchas veces a través de la población aledaña debido a que realizan las cosechas o cortes de dicho vegetal (Aponte, 2007).

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño de la investigación

La investigación siguió un diseño experimental no probabilístico de tipo cuantitativo y un alcance correlacional para conocer la relación entre las variables se sometieron dos plantas fitorremediadoras como fueron el “junco” y el “jacinto de agua” sobre una sola concentración de cianuro, permitiendo establecer grupos comparativos de la muestra testigo con los tratamientos y repeticiones, para determinar resultados que permitan validar o rechazar la hipótesis planteada (Jaramillo y Flores 2012).

### 2.2. Lugar y fecha

El estudio se realizó en el laboratorio de la Empresa Importaciones y Exportaciones Felles E.I.R.L. ubicada en el distrito de Santa María, provincia de Huaura. El proceso de la investigación tuvo un periodo de duración de siete meses, iniciándose en el mes de setiembre de 2020 con la fase preliminar, seguida de la fase de campo, laboratorio y gabinete; culminando con el procesamiento de los datos y la redacción del informe final en el mes de febrero de 2021. Sin embargo, por problemas sanitarios de covid-19 culminó en el mes de diciembre del 2021. Las muestras de los efluentes líquidos contaminados provienen de la empresa Paltarumi S.A.C., localizada en el distrito de Barranca y las macrófitas acuáticas “junco” *S. americanus* y “jacinto de agua” *E. crassipes* usados en el tratamiento del humedal de Carquín-Hualmay de la provincia de Huaura en la región Lima.

En la Tabla 6 se muestra la ubicación geográfica tanto de la empresa minera Paltarumi S.A.C., así como del laboratorio de la empresa Felles E.I.R.L. y del humedal Carquín-Hualmay.

**Tabla 6**

*Ubicación geográfica de la empresa minera, laboratorio y humedal*

LUGAR	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
	ESTE	NORTE	ALTITUD
Empresa Minera Paltarumi S.A.C.	186848,1 m	8827782,1 m	100 m s.n.m.
Laboratorio	217758 m	8774168 m	111 m s.n.m.
Humedal Carquín-Hualmay	214013,5 m	8771093,2 m	4,57 m s.n.m.

### **2.3. Materiales**

Los materiales utilizados en la investigación fueron los siguientes:

#### **Materiales de campo**

Palas, bandejas, botas de jebe, guardapolvo, mascarillas, etiquetas para la identificación de muestras, bolsas de plástico de un kg de capacidad, lápices, plumones, borrador, mapa de la zona en estudio, GPS, cuadro de PVC para la toma de muestras, cámara fotográfica, etiquetas para la identificación de las muestras, calculadora, cinta métrica.

#### **Materiales de laboratorio**

Arena, recipientes de 6 L, pintura de color azul, etiquetas, guantes, guardapolvo, mascarilla, potenciómetro, conductímetro, guantes de látex, jeringas, libreta de apuntes, plumón indeleble de color negro, calculadora, embudos, vasos de plástico descartables, vaso de precipitación, escobilla, tamiz, gel refrigerante, nutrientes, frascos oscuros de 500 mL con NaOH (hidróxido de sodio), cooler, ácido nítrico, gasa, cinta métrica y agua destilada.

#### **Material de gabinete**

Equipo de computación, programas *estadísticos Excel, word, power point, Minitab*, impresora, escáner, USB, papeles bond A4, lapiceros y calculadora.

## **2.4. Descripción del experimento**

El trabajo experimental se realizó en cuatro etapas: etapa preliminar, de campo, de laboratorio y etapa de gabinete, en cada una de ellas se desarrollaron diversas actividades que se pueden visualizar en el Apéndice 5.

### **2.4.1. Etapa preliminar**

Comprendió la recopilación de información y la elaboración del mapa base mediante la descarga de imágenes satelitales usando el programa informático Google Earth Pro, procesados en el programa ArcGIS de la Empresa Minera Paltarumi S.A.C. (ver Apéndice 1) y del humedal Carquín-Hualmay (ver Apéndice 2). También se hizo el acopio de la información básica y especializada relacionada con el tema del trabajo experimental (Jaramillo y Flores, 2012).

### **2.4.2. Etapa de campo**

En esta etapa se desarrollaron las siguientes actividades:

#### **a. Recolección del efluente cianurado**

Para la recolección de las muestras del efluente cianurado y asegurar la calidad de la muestra, se solicitó el monitoreo y supervisión del jefe de laboratorio de la empresa CERTIFICAL S.A.C., siguiendo estrictamente los protocolos de muestreo como para la toma de muestra los envases fueron limpiados y desinfectados previo a la toma de muestra para evitar interferencias en el análisis de la misma, la localización del punto de muestreo fue registrada mediante un GPS para evitar tomar otra muestra en el mismo punto, los recipientes que contenían las muestras fueron etiquetados con claridad de forma indeleble añadiendo un código de identificación de la fecha y el punto de muestreo de la muestra cianurada. Se tomó un total de 2 L para la ejecución del ensayo preservada en el laboratorio de la empresa Felles E.I.R.L y 500 mL para el laboratorio del análisis CERTIFICAL S.A.C., permitiendo obtener un conocimiento de la concentración inicial de cianuro en el efluente. La metodología

utilizada para el análisis del cianuro por el laboratorio CERTIFICAL S.A.C. es el SM 4500-CN que consiste en analizar mediante un procedimiento de electrodo de ion selectivo titrimétrico utilizando un destilado alcalino permitiendo cuantificar los complejos de cianuro en una muestra. Y para el traslado de las muestras se utilizó un cooler y geles refrigerantes a una temperatura de 5 °C, con el objetivo de mantener las características y evitar cualquier pérdida o alteración del efluente cianurado, también se le identificó visiblemente con una etiqueta y fue enviado al laboratorio CERTIFICAL S.A.C para su análisis (Jaramillo y Flores, 2012).

#### **b. Recolección del agua del humedal Carquín-Hualmay**

Después de realizar el reconocimiento general del humedal de Carquín-Hualmay desarrollado en base al plano de ubicación, fueron ubicados los puntos representativos de muestreo considerando la proveniencia y la salida de las aguas. Luego se prosiguió con la toma de muestras para la cuantificación del cianuro total, transportados 500 mL hasta el laboratorio CERTIFICAL S.A.C., mientras que 64 L fueron transportados al laboratorio de ensayo Felles E.I.R.L para el estudio. Los resultados del análisis fueron de gran ayuda para verificar en que cantidades el humedal se encontraba contaminado con metales o compuestos cianurados (Montesdeoca, 2019).

#### **c. Obtención de las macrófitas acuáticas**

Luego del reconocimiento del área ocupada por el humedal de Carquín-Hualmay y de ubicar los puntos de muestreo fijadas en las coordenadas de cada punto obtenidas mediante el sistema de navegación *Polaris Navegación GPS*, fueron recolectadas las plantas de “junco” y de “jacinto de agua” teniéndose en cuenta los siguientes criterios en la recolección de las macrofitas: coloración, juventud, homogeneidad en el tamaño radicular y foliar. Las coordenadas geográficas de los cuatro puntos de muestreo están indicadas en la Tabla 7 y 8 (Calle y Coello, 2015).

**Tabla 7**

Ubicación de los puntos de muestreo del “junco”

ID	PUNTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
		ESTE	NORTE	ALTITUD (m s.n.m.)
1	1,10	213311,0	8771790,3	4,57
2	1,20	213502,2	8771587,1	4,57
3	1,30	213722,9	8771380,0	4,57
4	1,40	213938,0	8771134,6	4,57

**Tabla 8**

Ubicación de los puntos de muestreo del “jacinto de agua”

ID	PUNTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
		ESTE	NORTE	ALTITUD (m s.n.m.)
1	1,10	213212,7	8771822,6	4,57
2	1,20	213253,2	8771803,8	4,57
3	1,30	213209,6	8771827,1	4,57
4	1,40	210221,4	8771794,0	4,57

Para la extracción de las macrófitas acuáticas se empleó la metodología de parcelas de muestreo permanente (PMP), utilizando una cuadrícula construida con tubos de polietileno de 1 x 1 m (Figura 6). En las zonas de muestreo aparte del “junco” y el “jacinto de agua” se encontraron otras especies como: *Torulinium odoratum*, *Sesuvium portulacastrum*, *Amaranthus quitensis*, y *ludwigia peploides*.

**Figura 6**

Toma de muestras del “junco” (A) y el “jacinto de agua” (B)



### **2.4.3. Etapa de laboratorio**

A este nivel lo primero que se hizo fue el reconocimiento y la descripción del estado de las plantas recolectadas “junco” como “jacinto de agua” a través la medición métrica y la observación detallada de la pigmentación usando la tabla Munsell con la técnica de comparación de colores (TCC) en el área foliar y radicular (Apéndice 5), descartándose las áreas necrosadas. Lo anterior se hizo con la finalidad de que las plantas usadas en el tratamiento sean homogéneas y de ese modo evidenciar las diferencias en cada fase de evaluación después de haberse distribuido (Jaramillo y Flores, 2012).

#### **a. Fase de adaptación de las macrófitas acuáticas**

Las plantas seleccionadas para la evaluación experimental siguieron un periodo de adaptación de tres días en condiciones del laboratorio (con luminosidad, temperatura media y humedad relativa). Para esta etapa fueron preparados 16 recipientes experimentales plastificados con una altura de 24 cm, diámetro de 23 cm y una capacidad de 6 L. Estos fueron previamente pintados, rotulados y colmados con 2 kg de arena que sirvió de soporte a las macrófitas más 3 900 mL de agua del humedal de Carquín y su respectiva cantidad de plantas fitorremediadoras. Durante el proceso de investigación que duro en promedio 15 días en total se brindó oxigenación dos veces por día (Apéndice 5). En el experimento se usó en total 80 plantas del “jacinto de agua” y 64 plantas del “junco” previamente seleccionados, las cuales fueron distribuidos dentro de los recipientes de acuerdo con los cuatro tratamientos con cuatro repeticiones (Montesdeoca, 2019).

#### **b. Fase de nutrición de las macrófitas acuáticas**

En esta etapa que duró cinco días y con el fin de estimular el crecimiento de las plantas fitorremediadoras se aplicó por cada recipiente de 19,5 mL de capacidad, 11,7 mL de la solución hidropónica “A” y 7,8 mL de la solución concentrada “B”, las cuales fueron adquiridos en la Universidad Nacional Agraria La Molina (Apéndice 5), estas se encuentran compuestas por los siguientes elementos: (a) nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), (b) nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ), y (c) superfosfato triple de calcio [ $\text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ] (Mendoza, 2015).

### **c. Fase de intoxicación**

Esta fase comprendió al bioensayo propiamente dicho de siete días, para lo cual se hizo el análisis de la concentración de cianuro del efluente y se obtuvo un resultado de 880 mg/L, luego se seleccionó usando una probeta para añadir el volumen exacto 100 mL del efluente cianurado previamente homogeneizada usando una varilla de agitación por sus efectos en la salud, el ecosistema y porque corresponde al parámetro al que pueden llegar las empresas mineras auríferas para eliminar sus efluentes líquidos contaminados y así evitar los daños a nivel ambiental y poblacional (Ministerio del ambiente [MINAM], 2010). Así mismo, previamente a la medición del pH y conductividad eléctrica se calibro el equipo de medición con la empresa CONASERM S.A.C (ver Apéndice 3) en esta fase se llevó a cabo el control riguroso de la conductividad eléctrica y el pH de cada tratamiento medidos cada 24 horas durante la mencionada fase. Al finalizar el bioensayo que tuvo una duración de 15 días, se recolectaron de la parte media de cada recipiente tratado una muestra de un volumen de 500 mL de cada tratamiento en estudio, que luego de etiquetarlas fueron enviadas al laboratorio CERTIFICAL S.A.C (ver Apéndice 4) (Montesdeoca, 2019).

El manejo de los residuos peligrosos durante y al final del experimento con los tratamientos de campo declarados fueron supervisados por un ingeniero brindado por la empresa CERTIFICAL S.A.C encargado de su correcto almacenamiento. Así mismo por ser una empresa acreditada termina en una Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS) sus residuos peligrosos por lo que se hizo el acuerdo interno que también llevara nuestros residuos peligrosos obtenidos en el estudio. La empresa CERTIFICAL S.A.C trabaja con la empresa BIGPLAST REYES S.A.C que laborar en el distrito de Ate departamento Lima, teniendo como representante legal al Gerente General Arnulfo Sarayasi Umayá con el rubro de Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS), siendo esta empresa eficiente para la correcta disposición final de nuestros residuos peligrosos (ver Apéndice 6).

#### 2.4.4. Etapa de gabinete

En esta etapa los resultados obtenidos (Apéndice 4) fueron ordenados e interpretados para cuantificar cuál de los tratamientos en evaluación generó mayor efectividad frente a la remoción de cianuro. La tabulación fue realizada en hoja Excel, data que sirvió luego para generar el análisis estadístico respectivo.

#### 2.5. Tratamientos en estudio

La Tabla 9 muestra los tratamientos del estudio y las características de cada uno de ellos.

**Tabla 9**

*Tratamientos en estudio*

<b>TRAT.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRATAMIENTO</b>
<b>T1</b>	4 plantas de “junco” + 3 900 mL agua de humedal + 100 mL del efluente cianurado (22,012 mg.kg <sup>-1</sup> de CN <sup>-</sup> ).
<b>T2</b>	5 plantas de “jacinto de agua” + 3 900 mL agua de humedal + 100 mL del efluente cianurado (22,012 mg.kg <sup>-1</sup> de CN <sup>-</sup> ).
<b>T3</b>	4 plantas de “junco” + 5 plantas de “jacinto agua” + 3 900 ml agua de humedal + 100 ml del efluente cianurado (22,012 mg.kg <sup>-1</sup> de CN <sup>-</sup> ).
<b>T4</b>	5 plantas de “jacinto de agua” + 4 plantas de “junco” + 4 000 mL de agua del humedal.

La variación presentada por la temperatura y humedad ambiental durante el proceso fueron evaluadas cada 12 horas.

#### 2.6. Unidades experimentales

En la investigación se consideró 16 unidades experimentales como resultado de los cuatro tratamientos y las cuatro repeticiones incluido el testigo, donde cada unidad experimental fue instalada en una maceta de plástico distribuidas al azar.

## 2.7. Identificación de las variables y su mensuración

Las variables que fueron consideradas en la investigación están mostradas en la Tabla 10:

**Tabla 10**

*Variables en estudio*

<b>Variables</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
<b>Variable independiente (X):</b>		
X1: Capacidad fitorremediadora junco	%	Fórmula del % remoción
X2: Capacidad fitorremediadora jacinto de agua	%	
X3: Capacidad fitorremediadora junco + jacinto de agua	%	
<b>Variable dependiente (Y):</b>		
Y1= Concentración de cianuro	mg.L-1	Volumetría
<b>Variables intervinientes (Z):</b>		
Z1: pH de la solución	Rangos	Potenciómetro
Z2: Conductividad eléctrica de la solución	dS.m <sup>-1</sup>	Conductímetro
<b>Variables biométricas (Y):</b>		
V1: Porcentaje de mortandad de plantas	cm	Regla
V2. Longitud radicular de plantas		Regla
V3: Altura foliar de las plantas		Regla

## 2.8. Diseño estadístico del experimento

Para la evaluación estadística de las 16 unidades experimentales (cuatro tratamientos por cuatro repeticiones) se hizo uso del diseño estadístico completamente al azar (DCA) teniéndose en cuenta que fue una investigación realizada en un laboratorio bajo condiciones homogéneas y estables, asumiéndose que el orden posicional de los tratamientos durante el bioensayo no influye significativamente en los resultados.

## 2.9. Análisis estadísticos de los datos

Para generar el análisis descriptivo y la comprobación de la hipótesis del trabajo de investigación, se partió de la data experimental generada en los bioensayos y tabulados en la hoja Excel, para lo cual se analizó haciendo uso del programa estadístico InfoStat en la cual se generó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) y el análisis de varianza (ANOVA)

cuyo esquema puede visualizar en Tabla 11 para cada variable experimental. Además, para comparar las medias se hizo uso de la prueba de comparación de múltiples Duncan ( $p \leq 0,05$ ). Recomendándose su uso para especificar una hipótesis alternativa general de cualquiera de las pruebas ANOVA (Little y Hills, 1991).

**Tabla 11**

*Esquema del análisis de la varianza*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Signif.</b>
Tratamientos	3	-	-	-	-
Error	12	-	-	-	-
Total	15	-	-	-	-

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Evaluación de la coloración, altura, longitud y mortandad de las plantas

#### 3.1.1. Evaluación de la coloración foliar

La coloración del área foliar que presentaron el “junco” y “jacinto de agua” evaluados en las fases de adaptación, nutrición e intoxicación, se muestran en la Tabla 12 y Figura 7.

**Tabla 12**

*Resultados del color del área foliar de las plantas*

Tratamientos	Coloración área foliar		
	Fase de adaptación	Fase de nutrición	Fase de intoxicación
I	Verde bosque	Verde bosque	Verde palta
II	Verde estándar	Verde estándar	Verde manzana
III	Verde bosque y estándar	Verde bosque y estándar	Verde palta, y manzana
IV	Verde bosque y estándar	Verde bosque y estándar	Verde bosque y estándar

**Figura 7**

*Coloración foliar del junco (A) y el jacinto de agua (B) al final del estudio*



### 3.1.2. Evaluación de la coloración radicular

El cambio de color en las raíces que presentaron las plantas de “junco” y “jacinto de agua” evaluados en las fases de adaptación, nutrición e intoxicación, se muestran en la Tabla 13 y Figura 8.

**Tabla 13**

*Resultados de la coloración en el sistema radicular en las plantas*

Tratamientos	Coloración del sistema radicular		
	Fase de adaptación	Fase de nutrición	Fase de intoxicación
T-001	Marrón dorado	Maíz	Caoba
T-002	Marrón dorado	Azul oscuro	Caoba
T-003	Marrón dorado	Maíz y azul oscuro	Caoba
T-004	Marrón dorado	Maíz	Marrón y Maíz

**Figura 8**

*Coloración radicular del “junco” (A) y el “jacinto de agua” (B) al final del estudio.*



### 3.1.3. Evaluación de la altura del área foliar

#### a. Altura de plantas en la fase de adaptación

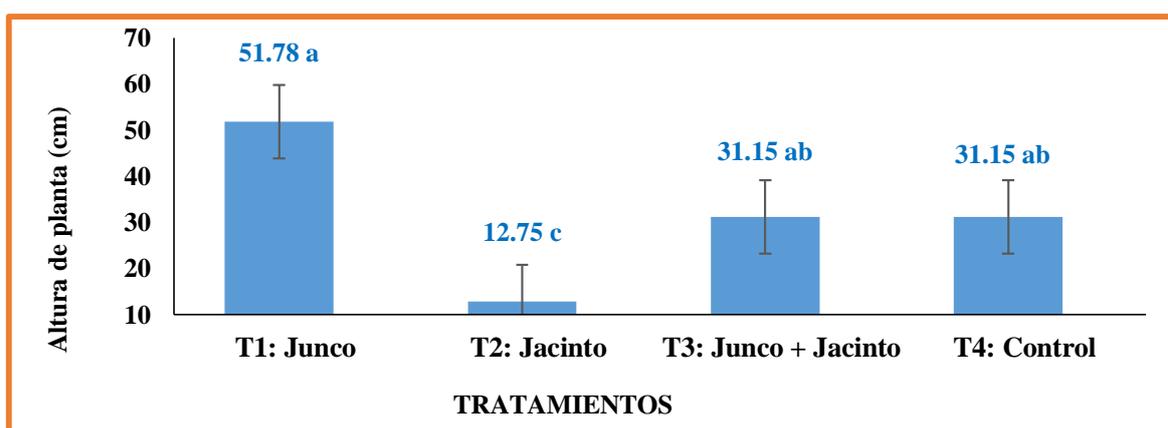
En la Tabla 14 la altura de las macrófitas acuáticas mostraron crecimiento en todos los tratamientos en estudio medidos en la fase de adaptación. Seguidamente los datos fueron analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, en donde se evidenció que la población no está distribuida normalmente y la prueba de Duncan manifiesta que el tratamiento con “junco” presentó un mayor crecimiento (Tabla 15 y Figura 9).

**Tabla 14***Resultados de la altura de las plantas en la fase de adaptación*

Tratamientos	Altura de plantas (cm)			
	“Junco”	“Jacinto”	“Junco” + “Jacinto”	Control
I	50,50	12,40	31,00	31,00
II	55,41	12,60	31,60	31,40
III	49,92	13,10	31,00	31,10
IV	51,30	12,90	31,00	31,10
PROMEDIO	51,80	12,75	31,00	31,10

**Tabla 15***Prueba de normalidad (Kruskal-Wallis) para la altura de planta (cm) en la fase de adaptación*

Tratamientos	Media	D,E	W*	p-valor
T1: “Junco”	51,78	2,48	0,83	0,1680
T2: “jacinto”	12,75	0,31	0,96	0,7767
T3: “junco” + “jacinto”	31,15	0,30	0,64	<0,0001
T4: Control	31,15	0,17	0,85	0,2338

**Figura 9***Prueba de Duncan para la altura de planta en la fase de adaptación***b. Altura de plantas en la fase de nutrición**

La fase de nutrición inicio con la medición de la altura de las macrófitas acuáticas de los tratamientos en estudio (Tabla 16) para evidenciar los cambios producidos en la anterior etapa. Seguidamente fueron analizados los datos obtenidos mediante la prueba de Kruskal-

Wallis, el cual indicó que la población está distribuida normalmente (Tabla 17) procediendo a desarrollar el análisis de varianza, el cual mostró un alto nivel de significancia, señalando que las alturas son diferentes en los tratamientos, en tanto la prueba de Duncan indicó que el tratamiento con “junco” presentó mayor crecimiento y el “jacinto de agua” una menor altura (Tabla 18 y Figura 10).

**Tabla 16**

*Resultados de la altura de planta (cm) en la fase de nutrición*

Tratamientos	Altura de plantas (cm)			
	“Junco”	“Jacinto”	“Junco” + “Jacinto”	Control
I	50,81	15,10	32,20	31,10
II	55,69	15,50	32,70	31,40
III	50,21	15,91	32,20	31,10
IV	51,70	15,69	32,10	31,20
PROMEDIO	52,10	15,55	32,30	31,20

**Tabla 17**

*Prueba de normalidad (Kruskal-Wallis) para la altura de planta (cm) en la fase de nutrición*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: Junco	52,10	2,47	0,84	0,2091
T2: Jacinto	15,55	0,34	0,98	0,8615
T3: Junco + Jacinto	32,30	0,27	0,78	0,0801
T4: Control	31,20	0,14	0,82	0,1574

**Tabla 18**

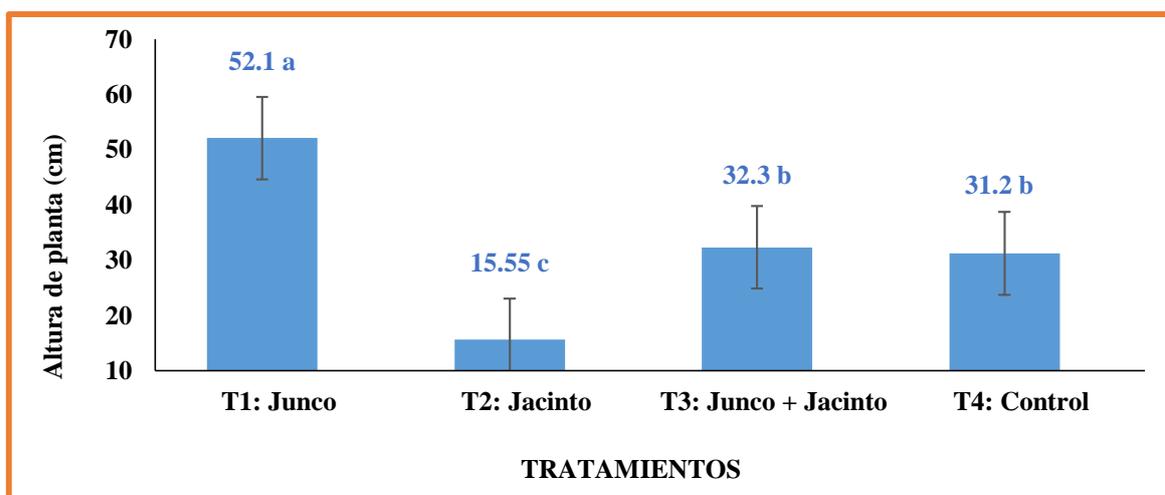
*Análisis de variancia para la altura de planta (cm) en la fase de nutrición*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2691,834	3	897,278	569,144	<0,0001
Error	18,918	12	1,577		
Total	2710,752	15			

$S = 1,256$        $\bar{x} = 32,788$        $CV = 3,831 \%$

**Figura 10**

*Prueba de Duncan para la altura de planta en la fase de nutrición*



**c. Altura de plantas en la fase de intoxicación**

En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de la altura de las plantas “junco” y “jacinto de agua” en la fase de intoxicación. Los datos logrados fueron analizados con la prueba de Kruskal-Wallis, esta indicó que la población está distribuida normalmente debido a que el p-valor es mayor en todos los tratamientos (Tabla 20). Seguidamente se procedió a desarrollar el análisis de varianza, el cual mostró un alto nivel de significancia, señalando que las alturas fueron diferentes en los tratamientos en estudio y la prueba de Duncan indicó que el tratamiento con “junco” presentó mayor crecimiento (Tabla 21 y Figura 11).

**Tabla 19**

*Resultados de la altura de plantas en la fase de intoxicación*

Repeticiones	Altura de plantas (cm)			
	“Junco”	“Jacinto”	“Junco” + “Jacinto”	Control
I	50,81	15,10	32,20	31,50
II	55,69	15,50	32,70	31,80
III	50,21	15,91	32,20	31,50
IV	51,70	15,69	32,10	31,60
PROMEDIO	52,10	15,55	32,30	31,60

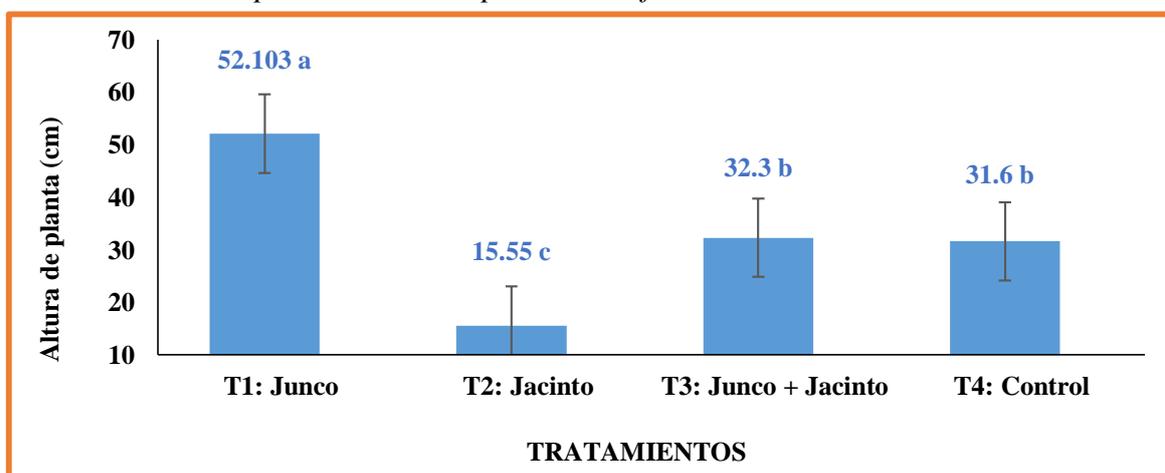
**Tabla 20***Prueba de normalidad (Kruskal-Wallis) para la altura de planta en la fase de intoxicación*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: "junco"	52,10	2,47	0,84	0,2091
T2: "jacinto"	15,55	0,34	0,98	0,8615
T3: "junco" + "jacinto"	32,30	0,27	0,78	0,0801
T4: Control	31,60	0,14	0,82	0,1574

**Tabla 21***Análisis de variancia para la altura de planta (cm) en la fase de intoxicación*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2687,232	3	895,744	568,171	<0,0001
Error	18,918	12	1,577		
Total	2706,150	15			

S = 1,256                       $\bar{x}$  = 32,88                      CV = 3,819 %

**Figura 11***Prueba de Duncan para la altura de planta en la fase de intoxicación*

### 3.1.4. Evaluación de la longitud del sistema radicular

#### a. Longitud de las raíces en la fase de adaptación

En la Tabla 22 se visualiza los resultados obtenidos de la longitud radicular en la fase de adaptación. Seguidamente se verificó mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilks que

los datos de la población en estudio están normalmente distribuidos porque el p-valor 0,05 es mayor en todos los tratamientos (Tabla 23). Luego se desarrolló el análisis de varianza, encontrándose una alta significación estadística señalando que la longitud de las raíces es diferente en los tratamientos. Los resultados obtenidos de la prueba de Duncan muestran que los tratamientos con “jacinto de agua”, la interacción de las macrófitas y el control presentaron la mayor longitud de raíces (Tabla 24 y Figura 12).

**Tabla 22**

*Resultados de la longitud de raíz en la fase de adaptación*

Repeticiones	Longitud de las raíces (cm)			
	“junco”	“jacinto de agua”	“junco + jacinto de agua”	Control
I	20,10	22,90	24,00	24,00
II	17,80	25,10	23,80	23,90
III	19,40	24,30	24,40	24,30
IV	18,80	25,90	25,00	24,70
PROMEDIO	19,00	24,60	24,30	24,20

**Tabla 23**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la longitud de raíz en la fase de adaptación*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: “junco”	19,03	0,97	0,99	0,9415
T2: “jacinto”	24,55	1,28	0,98	0,8780
T3: “junco” + “jacinto”	24,30	0,53	0,94	0,6490
T4: Control	24,23	0,36	0,92	0,5556

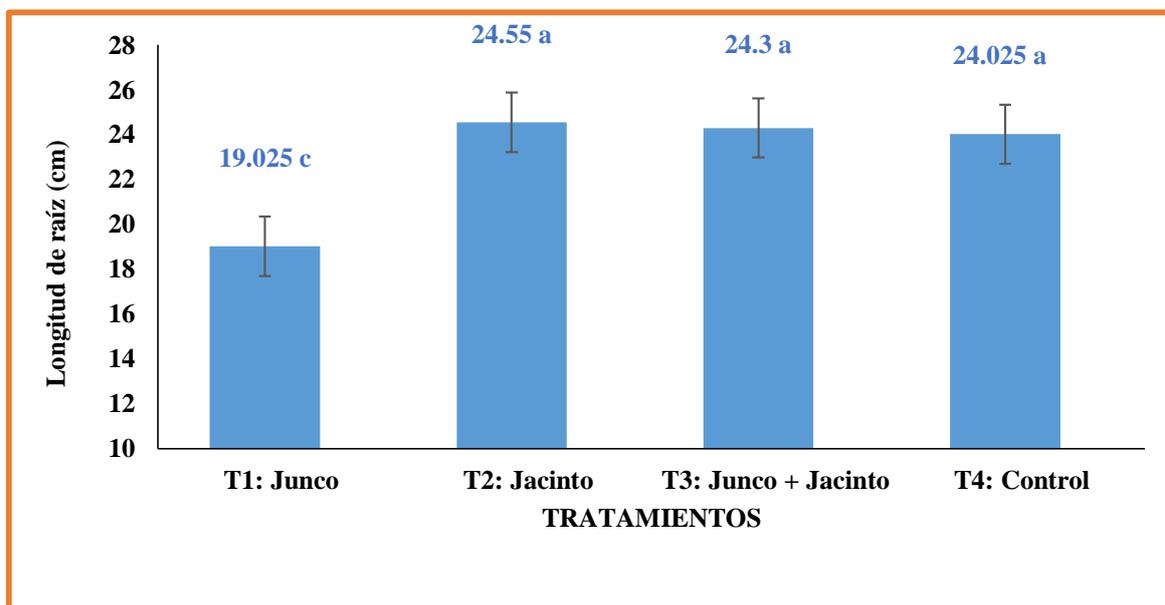
**Tabla 24**

*Análisis de variancia para la longitud de raíz (cm) en la fase de adaptación*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	85,565	3	28,522	38,092	<0,0001
Error	8,985	12	0,749		
Total	94,550	15			
		S = 0,865	$\bar{x}$ = 23,025	CV = 3,757 %	

**Figura 12**

*Test de Duncan para la longitud radicular en la fase adaptativa*



**b. Longitud de las raíces en la fase de nutrición**

En la Tabla 25 se visualizan los resultados obtenidos de la longitud radicular en la fase de nutrición. Seguidamente se verificó mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilks que los datos de la población en estudio están normalmente distribuidos porque el p-valor 0,05 es mayor en todos los tratamientos (Tabla 26). Luego se desarrolló el análisis de varianza encontrándose una alta significación estadística, señalando que la longitud de las raíces es diferente en los tratamientos. Los resultados obtenidos de la prueba de Duncan muestran que los tratamientos con “jacinto” y la interacción de las macrófitas presentaron la mayor longitud de raíces (Tabla 27 y Figura 13).

**Tabla 25**

*Resultados de la longitud de raíz en la fase de nutrición*

Repeticiones	Longitud de las raíces (cm)			
	“junco”	“jacinto de agua”	“junco” + “jacinto de agua”	Control
I	20,90	24,80	26,10	24,30
II	18,90	26,70	25,90	24,10
III	20,40	26,40	26,10	24,70
IV	19,50	27,90	27,10	25,10
PROMEDIO	19,90	26,50	26,30	24,50

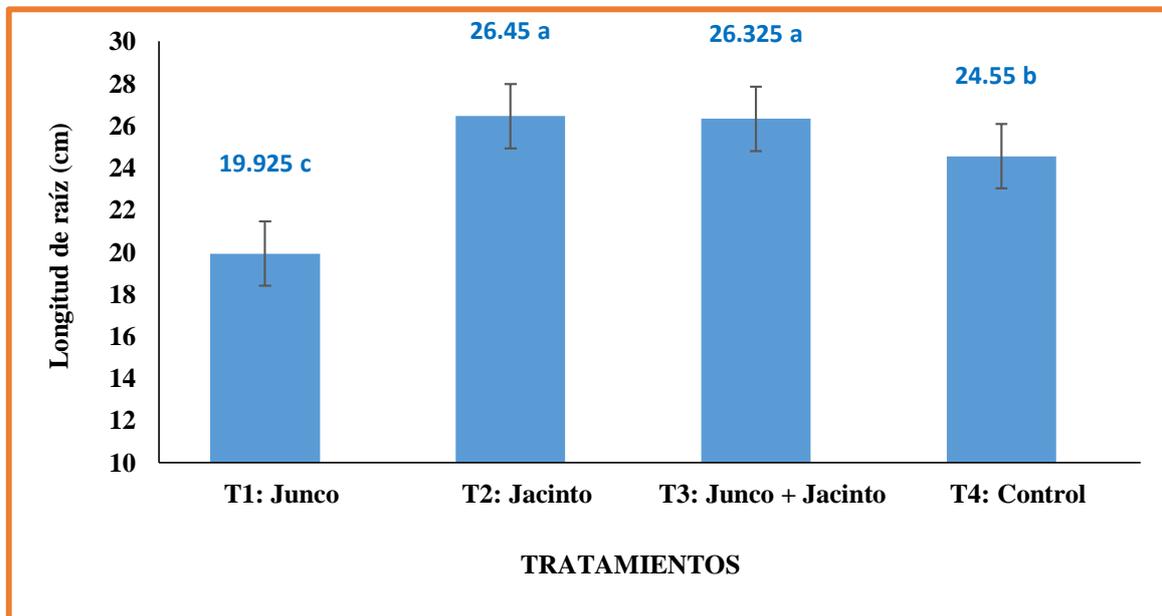
**Tabla 26***Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la longitud de raíz en la fase de nutrición*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: "junco"	19,93	0,90	0,95	0,7224
T2: "jacinto"	26,45	1,28	0,98	0,8734
T3: "junco" + "jacinto"	26,33	0,59	0,77	0,0650
T4: Control	24,55	0,44	0,96	0,7238

**Tabla 27***Análisis de varianza para la longitud de raíz (cm) en la fase de nutrición*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	111,703	3	37,234	50,007	<0,0001
Error	8,935	12	0,745		
Total	120,638	15			

$S = 0,863$        $\bar{x} = 24,312$        $CV = 3,550 \%$

**Figura 13***Test de Duncan en la longitud radicular para la fase nutritiva***c. Longitud de las raíces en la fase de intoxicación**

En la Tabla 28 se muestra los resultados obtenidos de la longitud radicular en la fase de intoxicación. Seguidamente se verificó mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilks que

los datos de la población en estudio están normalmente distribuidos porque el p-valor 0,05 es mayor en todos los tratamientos (Tabla 29). Luego se desarrolló el análisis de varianza encontrándose una alta significación estadística, señalando que la longitud de las raíces es diferente en los tratamientos. Los resultados obtenidos de la prueba de Duncan muestran que los tratamientos con “jacinto de agua” y “jacinto de agua” + “junco”, presentaron la mayor longitud de raíces (Tabla 30 y Figura 14).

**Tabla 28**

*Resultados de la longitud de raíz en la fase de intoxicación*

Repeticiones	Tratamientos			
	“junco”	“jacinto de agua”	“junco” + “jacinto de agua”	Control
I	20,90	24,80	26,10	24,60
II	18,90	26,70	25,90	24,40
III	20,40	26,40	26,10	25,10
IV	19,50	27,90	27,20	25,30
PROMEDIO	19,90	26,50	26,30	24,90

**Tabla 29**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la longitud de raíz en la fase de intoxicación*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: “junco”	19,93	0,90	0,95	0,7224
T2: “jacinto”	26,45	1,28	0,98	0,8734
T3: “junco” + “jacinto”	26,60	0,70	0,77	0,0675
T4: Control	24,85	0,42	0,91	0,5262

**Tabla 30**

*Análisis de variancia para la longitud de raíz (cm) en la fase de intoxicación*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	117,032	3	39,011	50,404	<0,0001
Error	9,288	12	0,774		
Total	126,319	15			

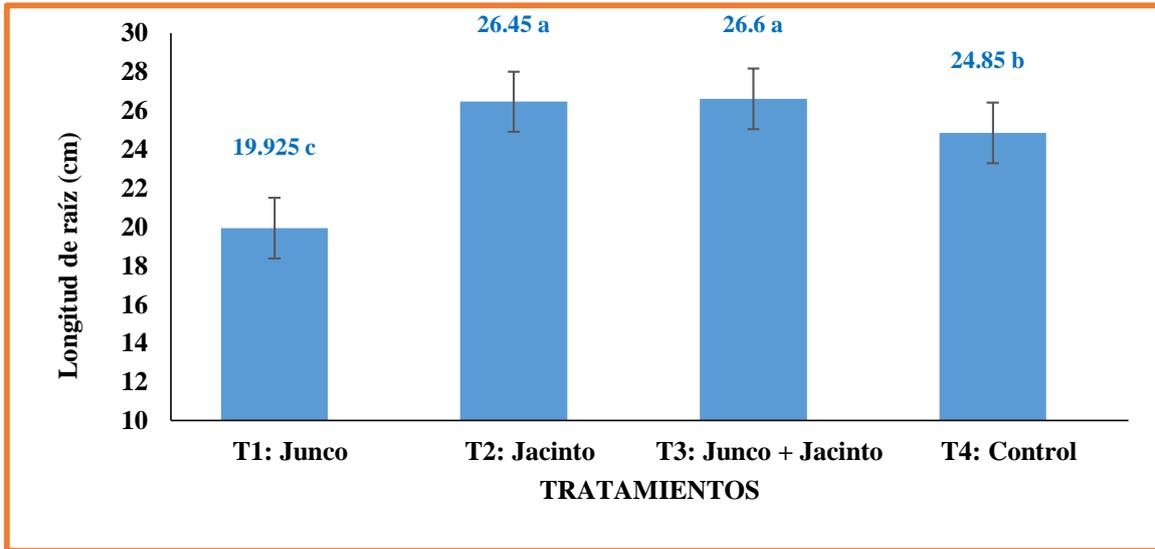
S = 0,880

$\bar{x}$  = 24,45

CV = 3,598 %

**Figura 14**

*Prueba de Duncan para la longitud de raíz en la fase de intoxicación*



### 3.1.5. Evaluación de la mortandad de las plantas acuáticas

En la Tabla 31 se visualiza los porcentajes de mortandad de las plantas en estudio que fueron equivalente a cero en todas las fases (adaptación, nutrición e intoxicación).

**Tabla 31**

*Resultados del porcentaje de mortandad de las macrófitas acuáticas*

Tratamiento	Mortandad (%)		
	Fase de adaptación	Fase de nutrición	Fase de intoxicación
T1	0	0	0
T2	0	0	0
T3	0	0	0
T4	0	0	0

### 3.2. Evaluación de las características químicas y físicas

#### 3.2.1. Resultados de la evaluación del pH en la fase de intoxicación

En la Tabla 32 muestran los resultados obtenidos del pH en la fase intoxicación que fue contaminada con el efluente cianurado. Mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilks se encontró que los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución

normal (Tabla 33). Al desarrollar el análisis de varianza, se encontraron una alta significación estadística, indicando que el pH del agua utilizada en el experimento es diferente en los tratamientos; mientras que los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “junco” tuvo el pH más alto en comparación a los demás tratamientos (Tabla 34 y Figura 15).

**Tabla 32**

*Resultados del pH en la fase de intoxicación*

Días de evaluación	Tratamientos			Control
	“junco”	“jacinto de agua”	“junco” + “jacinto de agua”	
9	7,98	7,79	7,80	7,72
10	7,99	7,80	7,80	7,73
11	8,00	7,83	7,83	7,73
12	8,09	7,84	7,85	7,74
13	8,15	7,84	7,86	7,74
14	8,15	7,85	7,90	7,74
15	8,20	7,91	7,91	7,75

**Tabla 33**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el pH en la fase de intoxicación*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: “junco”	8,08	0,09	0,85	0,1524
T2: “jacinto de agua”	7,84	0,04	0,92	0,5651
T3: “junco” + “jacinto de agua”	7,85	0,04	0,89	0,3331
T4: Control	7,74	0,01	0,94	0,7174

**Tabla 34**

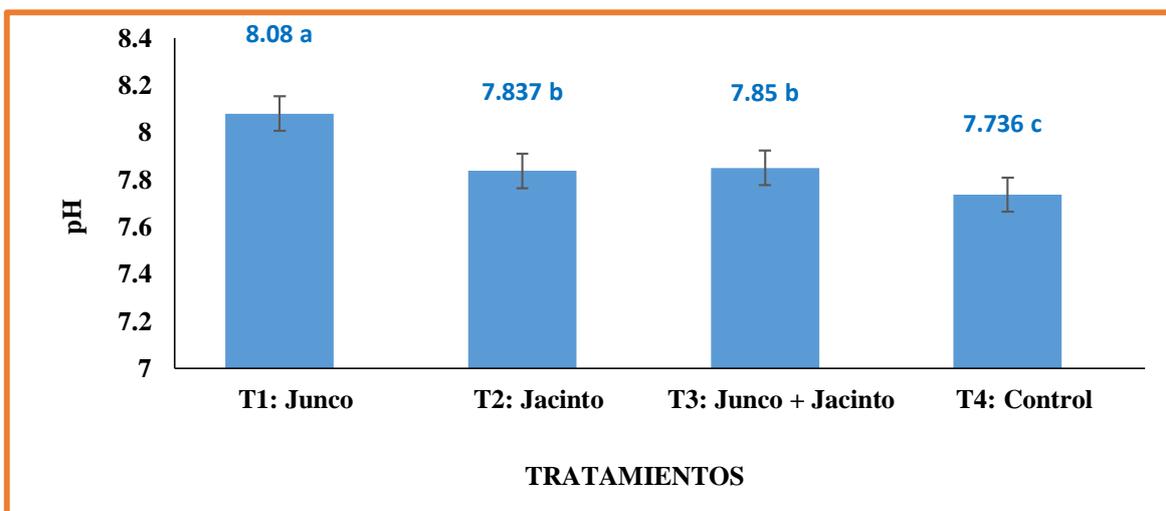
*Análisis de variancia para el pH en la fase de intoxicación*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0,444	3	0,148	50,703	<0,0001
Error	0,070	3	0,003		
Total	0,514	27			

S = 0,055                       $\bar{x}$  = 7,88                      CV = 0,70 %

**Figura 15**

*Prueba de Duncan para el pH en la fase de intoxicación*



### 3.2.2. Resultados de la conductividad eléctrica en la fase de intoxicación

En la Tabla 35 se muestran los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica en la fase de intoxicación del agua del humedal Carquín que fue contaminada con el efluente cianurado. Mediante la prueba normalidad (Shapiro-Wilks) se encontró que los datos de la población de donde proviene la muestra tienen una distribución normal (Tabla 36). Al desarrollar el análisis de varianza, este indicó que la concentración final en el agua es diferente en los tratamientos, debido a la absorción de cianuro por las plantas. Los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “junco” sobresale en la concentración final en el agua (Tabla 37 y Figura 16).

**Tabla 35**

*Resultados de la CE en la fase de intoxicación*

Días de evaluación	Conductividad eléctrica (dS,m <sup>-1</sup> )			
	“junco”	“jacinto de agua”	“junco” + “jacinto de agua”	Control
9	4,48	4,17	4,40	3,72
10	4,51	4,06	4,43	3,73
11	4,62	4,11	4,51	3,78
12	4,71	4,24	4,69	3,78
13	4,86	4,30	4,83	3,75
14	5,01	4,36	4,97	3,76
15	5,11	4,39	5,02	3,78

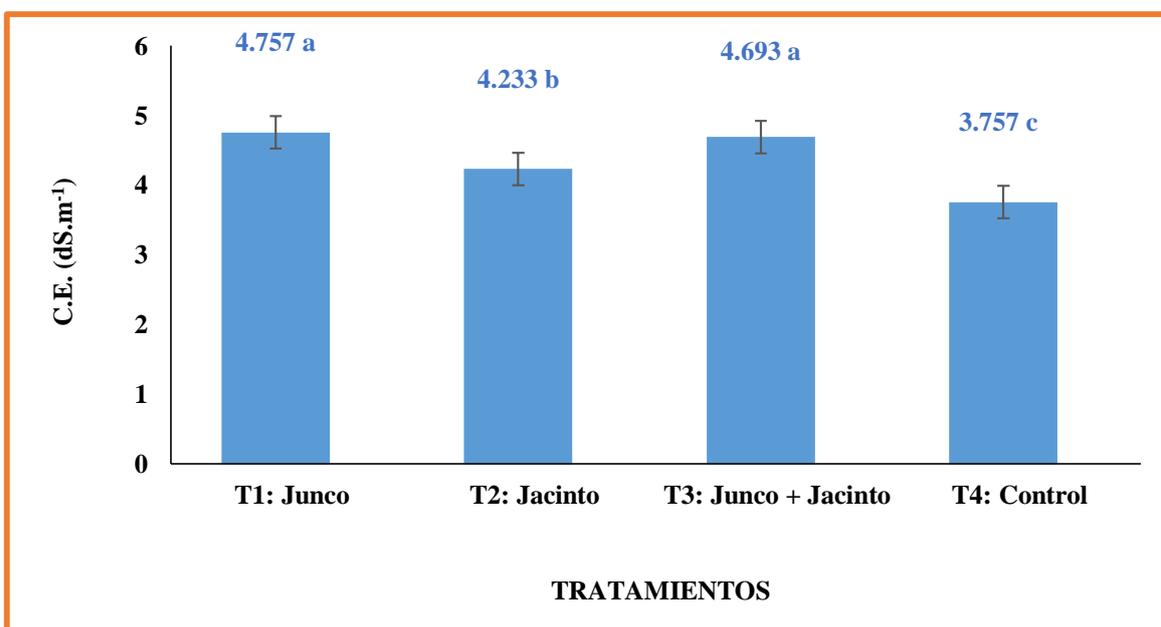
**Tabla 36***Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la CE en la fase de intoxicación*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: "junco"	4,76	0,24	0,91	0,4568
T2: "jacinto de agua"	4,23	0,13	0,93	0,6059
T3: "junco" + "jacinto de agua"	4,69	0,26	0,87	0,2562
T4: Control	3,76	0,02	0,83	0,1096

**Tabla 37***Análisis de variancia para la CE en la fase de intoxicación*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	4,537	3	1,512	42,852	<0,0001
Error	0,847	3	0,035		
Total	5,384	27			

S = 0,187                       $\bar{x} = 4,360$                       CV = 4,289 %

**Figura 16***Prueba de Duncan para la CE en la fase de intoxicación*

### 3.3. Resultados del análisis del cianuro, agua del humedal, remanente en el agua y la evaluación final del cianuro absorbido por la planta

### a. Resultados del análisis del efluente cianurado y el agua del humedal

Los contenidos de cianuro, pH y conductividad eléctrica tanto del efluente minero estudiados de la empresa Paltarumi S.A.C, así como en el agua del humedal de Carquín – Hualmay están mostrados en la Tabla 38.

**Tabla 38**

*Resultados de pH, conductividad eléctrica y contenido de cianuro en el efluente y el agua del humedal*

Muestra	pH	Conductividad eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> )	Contenido de cianuro (mg.L <sup>-1</sup> )
Efluente minero Paltarumi	12,5	2,43	880,3
Agua del humedal Carquín	7,71	3,70	0,005

### b. Resultados del cianuro remanente en el agua y la evaluación final del cianuro absorbido por las plantas

En la Tabla 39 se muestran los resultados obtenidos de la concentración final de cianuro en el agua utilizado en el experimento en la fase de intoxicación. Mediante la prueba normalidad (Shapiro-Wilks) se encontró que los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal (Tabla 40). Al desarrollar el análisis de varianza, indicó una alta significación estadística debido a las diferentes concentraciones de cianuro absorbido en las plantas. Los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “jacinto” sobresale en la concentración final en el agua (Tabla 41 y Figura 17).

**Tabla 39**

*Resultados de la concentración final de cianuro en el agua*

Repeticiones	Tratamientos			Control
	“junco”	“jacinto de agua”	“junco” + “jacinto de agua”	
I	4,567	3,233	3,577	0,005
II	3,921	4,979	2,784	0,005
III	4,635	5,455	3,921	0,005
IV	4,002	5,429	3,074	0,005
PROMEDIO	4,281	4,774	3,339	0,005

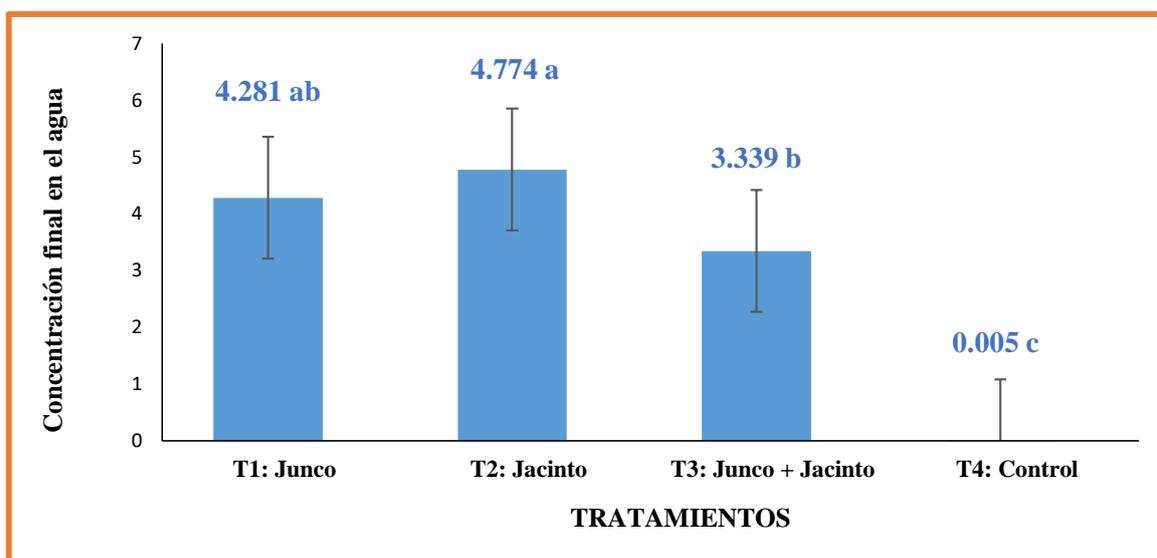
**Tabla 40***Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la concentración final en agua*

Tratamiento	Media	D.E	W*	p-valor
T1: “junco”	4,281	0,372	0,804	0,1144
T2: “jacinto de agua”	4,774	1,050	0,776	0,0732
T3: “junco” + “jacinto de agua”	3,339	0,508	0,958	0,7397
T4: Control	0,005	0,000	Sd	>0,9999

**Tabla 41***Análisis de variancia para la concentración final en agua*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	55,335	3	18,445	49,212	<0,0001
Error	4,498	12	0,375		
Total	59,833	15			

S = 0,612       $\bar{x}$  = 3,100      CV = 19,742 %

**Figura 17***Prueba de Duncan para la concentración final en el agua***c. Evaluación final del cianuro absorbido por las plantas**

En la Tabla 42 se muestran los resultados del contenido final del cianuro que fue extraído por las dos especies de plantas materia del estudio evaluado al final del experimento (fase de toxicidad). Mediante la prueba normalidad (Shapiro-Wilks) se encontró que los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal (Tabla 43). Al

desarrollar el análisis de varianza, este indicó una alta significación estadística mostrando que la cantidad absorbida por la planta es diferente en los tratamientos. Los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “interacción de ambas plantas (T3)” sobresale en la concentración final en la planta acuática, seguida del tratamiento que contienen “junco” (Tabla 44 y Figura 18).

**Tabla 42**

*Resultados de la cantidad de cianuro absorbida por la planta*

Repeticiones	Tratamientos			Control
	“junco”	“jacinto de agua”	“junco” + “jacinto de agua”	
I	17,445	18,779	18,435	0,0000
II	18,091	17,033	19,228	0,000
III	17,377	16,557	18,091	0,000
IV	18,010	16,583	18,938	0,000
PROMEDIO	17,731	17,238	18,673	0,000

**Tabla 43**

*Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la cantidad de cianuro absorbida por la planta*

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: “junco”	17,731	0,372	0,804	0,1144
T2: “jacinto de agua”	17,238	1,050	0,776	0,0732
T3: “junco” + “jacinto de agua”	18,673	0,508	0,958	0,7397
T4: Control	0,000	0,000	Sd	>0,9999

**Tabla 44**

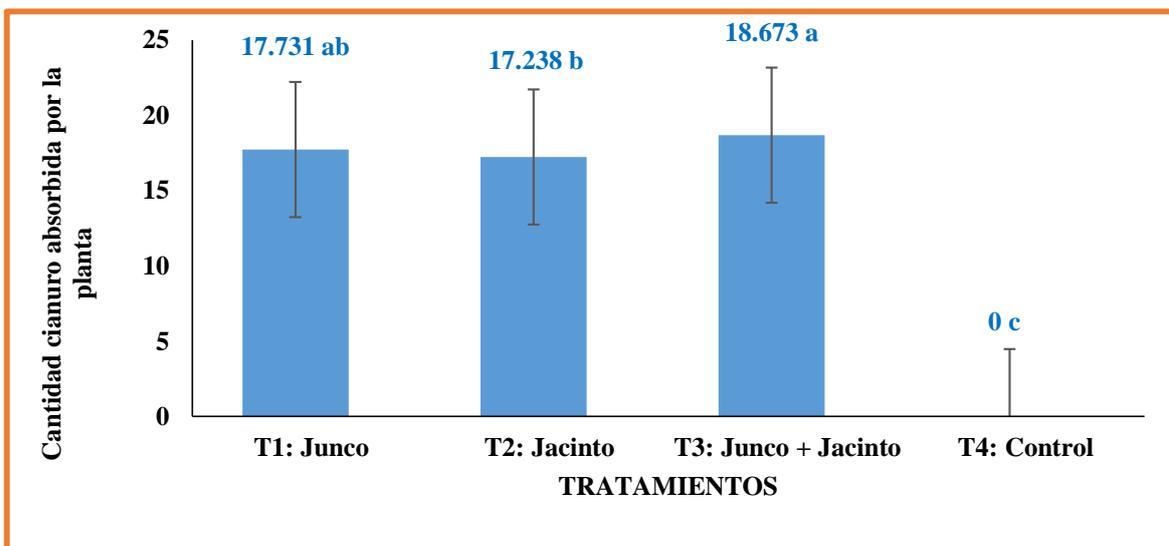
*Análisis de variancia para la cantidad absorbida por la planta*

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	963,399	3	321,133	856,800	<0,0001
Error	4,498	12	0,375		
Total	967,897	15			

S = 0,612     $\bar{x}$  = 13,410    CV = 4,564 %

**Figura 18**

*Prueba de Duncan para la cantidad absorbida por la planta*



## **CAPÍTULO IV: DISCUSIONES**

### **4.1. Evaluación del color, altura, mortandad de las plantas**

#### **4.1.1. Color del sistema foliar**

La evaluación del color de las plantas en estudio, entre las fases de nutrición y de intoxicación mostraron cambios notorios como en el área foliar con un viraje del color de verde bosque o estándar en la fase de nutrición a verde palta o manzana con inicios de una necrosis en el borde de las hojas al final de la fase de intoxicación, manifestándose de esta manera el efecto del cianuro añadido que además afectó al crecimiento normal de las plantas de ambas especies estudiadas excepto en el tratamiento control que permaneció con su color como al principio del experimento. Al respecto Sandoval (2019), explica que el cambio del color de las hojas de una planta o mejor dicho el viraje de un verde brillante a verde marrón oscuro en el caso del “jacinto de agua” y a verde amarillento en la “lenteja de agua” son signos de necrosidad debido a que la planta ha extraído elementos tóxicos, dentro de ellos el cianuro significando que la planta ha sido afectada por la presencia del efluente cianurado y que su muerte es eminente, en concordancia con lo señalado por Carrero y Tapia (2019).

#### **4.2.2. Color del sistema radicular**

En la fase de nutrición fue observado cambios de coloración en el sistema radicular de las macrófitas “jacinto de agua” con la aparición de pigmentos de antocianina con un color de marrón dorado a maíz azul oscuro, que tiene la función de generar protección a las raíces de la planta acuática contra la radiación ultravioleta y la contaminación viral o microbiana, siendo esta condición una señal que las raíces se encontraban en óptimas condiciones de

desarrollo, sobre todo teniéndose en cuenta que los tratamientos recibieron los nutrientes necesarios (Carrero y Tapia, 2019). Contrariamente, en la fase de intoxicación se observó que las raíces presentaban una coloración caoba más oscura y con inicios de una muerte progresiva de las células causada por la aplicación del efluente contaminado de cianuro, siendo una muestra que el “junco” y “jacinto de agua” estaban absorbiendo el contaminante.

#### **4.2.3. Evaluación de la altura foliar**

##### **a. Altura de las plantas en la fase de adaptación**

Los resultados de la prueba de Duncan muestran que el tratamiento con “junco” 51,78 cm, seguido del “jacinto + “junco” con 31,15 cm presentaron la mayor longitud de tallo y el tratamiento control con el “jacinto” mostraron el menor crecimiento tomando valores de 31,15 cm y 12,75 cm, indicando que la altura de planta es diferente debido más que todo a factores genéticos. Al respecto Montesdeoca (2019), agrega que la resistencia, adaptación, crecimiento y vida útil está influenciado por las genéticas de las plantas. Asimismo, Gómez y Guarín (2020) agregan que el crecimiento de las plantas está influenciado por la luz, temperatura, humedad, agua y nutrientes que son componentes indispensables para el desarrollo exitoso de una planta.

##### **b. Altura de las plantas en la fase de nutrición**

Los resultados de la prueba de Duncan muestran que el tratamiento con “junco” 52,1 cm, seguido del “jacinto + “junco” con 32,3 cm presentaron la mayor longitud de raíces y el tratamiento control con el “jacinto” mostraron el menor crecimiento tomando valores de 31,2 cm y 15,55 cm, indicando que la altura de planta es diferente debido a factores genéticas. A lo que suman los criterios de Domínguez *et al.* (2016), quienes afirman que los nutrientes de las plantas son asimilados de acuerdo a la genética de cada planta influyendo en su desarrollo. Asimismo, Paredes (2020) agrega que las plantas absorben los nutrientes por sus estomas de las hojas y de la disolución del suelo por sus raíces permitiéndole desarrollarse normalmente y cumplir con su ciclo de vida.

### **c. Altura de plantas en la fase de intoxicación**

Los resultados de la prueba de Duncan muestran que el tratamiento con “junco” 52,103 cm, seguido del “jacinto + “junco” con 32,3 cm presentaron la mayor altura foliar y el tratamiento control con el “jacinto” mostraron el menor crecimiento tomando valores de 31,6 cm y 15,55 cm. Al respecto, Paredes (2020) agrega que en medios contaminados el desarrollo de las plantas está influenciado por las características genéticas de adaptación y resistencia. Además, Alaya *et al.* (2019), mencionan que de acuerdo a la variedad de especies de plantas y a la dosis de contaminación que es expuesta una planta se reduce la propagación de semillas y retarda su crecimiento.

Las alturas de las plantas en las tres fases que fueron evaluadas no mostraron mayores diferencias significativas en cuanto a esta característica, lo cual indica que la presencia del efluente cianurado no afectó notoriamente a la altura de las plantas, notándose claramente que este factor se debió más al factor genético de cada una de las especies en estudio donde el “junco” logró una mayor altura.

## **4.2.4. Evaluación de la longitud del sistema radicular**

### **a. Longitud de las raíces en la fase de adaptación**

Los resultados de la prueba de Duncan muestran que el tratamiento con “jacinto” 24,55 cm, seguido del “jacinto + “junco” con 24,3 cm presentaron la mayor longitud de raíces y el control con el “junco” mostraron el menor crecimiento tomando valores de 24,025 cm y 19,025 cm, lo cual tiene relación con lo reportado por Paredes y Ñique (2015) mencionando que el desarrollo del sistema radicular está básicamente condicionado a factores como la temperatura, aireación, humedad de donde absorbe nutrientes y sales minerales para la formación de raíces primarias y secundarias.

### **b. Longitud de raíz en la fase de nutrición**

Los resultados de la prueba de Duncan muestran que el tratamiento con “jacinto” 26,45 cm, seguido del “jacinto + “junco” con 26,325 cm presentaron la mayor longitud de raíces y el

control con el “junco” mostraron el menor crecimiento tomando valores de 24,55 cm y 19,925 cm. Esto se atribuye a las diferencias genotípicas entre especies que fueron afectados por la presencia de contaminantes en el agua. Los resultados obtenidos guardan bastante relación con lo reportado por Vera (2016), quien mencionó que la falta de nutrientes en la raíz de una planta genera deficiencias en su crecimiento cuando no son corregidas rápidamente provocando que el crecimiento se detenga lo cual tiene cierta relación con lo mencionado por Paredes (2020) que el exceso de nutrientes provoca la fitotoxicidad causando la muerte inmediata en una planta por ello es necesario agregar los nutrientes en las dosis que la planta necesita para su desarrollo.

### **c. Longitud de las raíces en la fase de intoxicación**

Los resultados de la prueba de Duncan muestran que el tratamiento del “jacinto + “junco” con 26,6 cm seguido del “jacinto” con 26,45 cm, presentaron la mayor longitud de raíces y los tratamientos control, “junco” mostraron el menor crecimiento tomando valores de 24,85 cm y 19,925 cm. Tal como lo señala Sandoval (2019), al asegurar que se atribuye a las diferencias genotípicas entre especies que fueron afectados por la presencia de contaminantes en el agua. Del mismo modo, Calle y Coello (2015) quienes reportan que las especies acuáticas poseen mecanismos fisiológicos y bioquímicos que se adaptan a condiciones con niveles de contaminación optimizando su desarrollo.

La longitud en la raíz de las plantas en las tres fases que fueron evaluadas no mostró mayores diferencias en cuanto a esta característica, lo cual indica que la presencia del efluente cianurado no afectó notoriamente a la raíz de las plantas, notándose claramente que este factor se debió más al factor genético de cada una de las especies en estudio donde el “jacinto” logró un mayor crecimiento en la longitud radicular.

### **4.2.5. Evaluación de la mortandad de plantas**

Con respecto a la mortandad de las especies acuáticas en estudio, se observó que en ninguna de las fases que se consideraron en la investigación murió alguna planta. Sin embargo, en la fase de intoxicación, aunque se observó necrosis en los bordes de las hojas no murió ninguna planta posiblemente debido a la buena selección de las plantas en el momento del

acopio y sobre todo para indicar que tanto el “junco” como el “jacinto de agua” son especies con alto grado de resistencia a este tipo de contaminante y que probablemente tienen la capacidad de fitorremediar medios contaminados con cianuro. Es probable que, si las plantas de ambas especies permanecieran por más tiempo, se produciría la muerte de muchas de ellas (Gómez y Guarín, 2020).

### **4.3. Evaluación de las características físico-químicas**

#### **a. La reacción (pH) en la fase de intoxicación**

Los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “junco” tuvo el pH más alto con 8,08 significativamente superior a los demás tratamientos, seguido del “jacinto + “junco” con 7,85 luego el tratamiento control con el “jacinto” que mostraron un menor incremento de pH tomando valores de 7,837 y 7,736. El pH de la solución en la cual se desarrollaron las dos especies en estudio mostró ligeras variaciones durante la evaluación, lo cual tiene relación con lo mencionado por Paredes y Ñique (2015) quienes reportan que el “junco” y muy especialmente el “jacinto de agua” tienen una gran capacidad de amortiguamiento del pH y que pueden crecer en medios ácidos y básicos, sin disminuir sus aptitudes extractoras de contaminantes.

#### **b. Conductividad eléctrica en la fase de intoxicación**

Los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “junco” tuvo la CE más alto con 4,757 significativamente superior a los demás tratamientos, seguido del “jacinto + “junco” con 4,693 luego el tratamiento control con el “jacinto” que mostraron un menor incremento de CE tomando valores de 4,233 y 3,757. Es conveniente señalar que se encontró diferencias estadísticas con respecto a la conductividad eléctrica pero no fueron demasiado amplias, demostrando que las dos especies de plantas también se adaptan a sobrevivir en diferentes niveles de salinidad, lo cual tiene relación con lo mencionado Alaya *et al.* (2019), quienes reportan que las plantas “jacinto de agua” *E. crassipes*, “camalotito” *Nymphoides humboldtiana* Kunth Kuntze y “berro” *Nasturtium officinale* W. T. Aiton. se desarrollan en valor bajos de 3 a 7  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  de conductividad mientras que si hay un incremento descontrolado generan la muerte instantánea de las especies higrófitas.

#### **4.4. Análisis del efluente cianurado, agua del humedal, concentración final del cianuro remanente en el agua y en las plantas**

##### **a. Análisis del efluente cianurado y del agua del humedal**

Los resultados iniciales respecto al cianuro previo al tratamiento experimental indican que el efluente contaminado de la empresa minera Paltarumi S.A.C, tiene una concentración de 880,3 mg.L<sup>-1</sup> de cianuro, en cambio en el agua del humedal la concentración de cianuro estuvo en un rango muy bajo (trazas) de 0,005 mg.L<sup>-1</sup>. Es necesario tener en cuenta lo reportado por Gómez y Guarín (2020), quienes afirman que los efluentes de cianuración provienen del uso de cianuro en los procesos para extraer metales preciosos. A lo que se suma los criterios de Calle y Coello (2015) quienes señalan que en los humedales naturales se desarrollan diversos procesos físicos y químicos debido a que habitan en este ecosistema diferentes tipos de plantas, animales y microorganismos capaces de depurar el agua al poseer la capacidad de absorber productos tóxicos.

##### **b. Concentración final del cianuro remanente en el agua**

El análisis de varianza demostró una alta significación estadística ( $p$ -valor < 0,01) en la fuente de tratamientos, indicando que la concentración final en el agua es diferente en los tratamientos, debido a la absorción de cianuro por las plantas. Los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “jacinto” sobresale en la concentración final en el agua con 4,774 significativamente superior a los demás tratamientos, seguido del “junco” con 4,281 luego el tratamiento “junco + “jacinto” con 3,339 y finalmente el tratamiento control que tuvo la menor concentración con 0 y fue significativamente inferior que los demás tratamientos. Al respecto a la mayor concentración del cianuro en la solución remanente, se nota claramente que el “jacinto de agua” es más eficiente en la remoción del cianuro que el “junco” (Vera, 2016). Sin embargo, las especies son eficientes extractoras de contaminantes.

##### **c. Evaluación de la concentración final del cianuro absorbido por las plantas**

En la evaluación final de los resultados de la cantidad de cianuro absorbida por las plantas, se observa que los tratamientos tienen el siguiente orden de absorción por la planta: Junco +

Jacinto > Junco > Jacinto > Control. Esto se atribuye a la capacidad de asimilación de cianuro por cada una de las especies utilizadas. Al verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal porque el p-valor es mayor que 0,05 ( $\alpha = 0,05$ ) en todos los tratamientos. El análisis de varianza muestra alta significación estadística (p-valor < 0.01) en la fuente de tratamientos, indicando que la cantidad absorbida por la planta es diferente en los tratamientos y los resultados de la prueba de Duncan mostraron que el tratamiento con “junco” + “jacinto” con 18,673 sobresale en la concentración asimilada por la planta seguida del “junco” con 17,731 luego el tratamiento “jacinto” con 17,238 y finalmente el tratamiento control que tuvo la menor concentración con 0 y fue significativamente inferior que los demás tratamientos.

En cuanto a la concentración de cianuro extraído por las plantas, comprobándose que el “junco” + “jacinto de agua” destaca en la extracción del cianuro, tal como lo señala Sandoval (2019), al asegurar que la especie “jacinto de agua” puede lograr hasta el 83,57 % del cianuro presente en un medio contaminado, como lo es el efluente cianurado, materia de este estudio. Lo cual tiene cierta relación con lo reportado por Calle y Coello (2015), quienes mencionan que las plantas acuáticas “jacinto de agua”, “junco” “bambú de la suerte” y “lenteja de agua” tienen la capacidad de absolver en su raíz y hojas metales contaminantes en 65,51; 95,21; 63,38 y 99,97 %.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Como resultado del proceso de la investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Con respecto a la coloración, altura, longitud y mortandad de las plantas se encontraron diferencias en la fase de intoxicación que se mencionaran de la siguiente manera:
  - a. Las plantas a través de sus cambios de coloración foliar y radicular dan indicaciones e indicios de las etapas por las que están atravesando las macrofitas (al añadirse los nutrientes y al entrar en contacto con el efluente de cianuro).
  - b. Con respecto a la altura de las plantas en las dos fases en estudio, se observó que el “junco” fue el que tuvo una mayor altura en comparación al “jacinto de agua” pero esta característica biológica fue afectada ligeramente con la aplicación del efluente cianurado que se manifestó con un crecimiento bajo.
  - c. El “jacinto de agua” muy a pesar de tener una altura mucho menor que el “junco” mostró mayor longitud de sus raíces durante las primeras dos fases, mientras que en la tercera se detuvo, factor que deber ser de importancia cuando se trata de la extracción de los contaminantes.

2. El “jacinto de agua” posee mayor capacidad de mantener el pH en los tratamientos de forma estable y bajo un rango neutro, mientras que el “junco” permite que las muestras aumenten su pH y sean más alcalinas, una vez unidas ambas especies tienen el mismo efecto que el “jacinto de agua”.
3. La conductividad eléctrica se mantiene en estándares bajos en el tratamiento “jacinto de agua”, más alta en el “junco” y en la combinación de las dos especies la conductividad eléctrica en un nivel intermedio.
4. La especie “junco” es más eficiente en la absorción del metal de cianuro, logrando eliminar hasta 80,55 %, mientras que el “jacinto de agua” logró 78,31 %, demostrando que ambas especies son especies fitorremediadoras de dicho metal. Por lógica se obtuvo una mayor absorción de cianuro en el tratamiento combinado por plantas de “junco” + “jacinto de agua” en un 84,83 %.
5. El uso de las especies fitorremediadoras para la absorción de cianuro es una buena alternativa aplicarlo en cualquier actividad debido a los resultados positivos que nos ofrece, bajos costos generados y por ser muy amigable con el medio ambiente.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

1. Al haberse comprobado que tanto el “junco” como el “jacinto de agua” son dos especies acuáticas que tienen capacidad para absorber el cianuro, recomendamos hacer estudios con el “junco” y el “jacinto de agua” considerando mayor tiempo en el ensayo e incluso compararlas con otras especies. Asimismo, también recomendamos considerar un protocolo de campo para evaluar su efectividad en humedales impactados con cianuro y considerando sus concentraciones problema y contemplar los costos involucrados.
2. Se recomienda hacer investigaciones en áreas contaminadas por empresas mineras con cianuro para poder realizar estudios de fitorremediación mediante el uso de macrófitas acuáticas como el “junco” y “jacinto de agua” que tienen la capacidad de absorber niveles de contaminación y así poder obtener datos más reales con el fin de fomentar el uso de esta ecotecnología para recuperar extensiones de terrenos contaminados.
3. Teniéndose en cuenta que el humedal de Carquín que es extenso y es un lugar donde se está propagando naturalmente tanto el “junco” así como el “jacinto de agua”, el municipio de Carquín debería implementar un vivero para estas especies, cuya comercialización podría significar un ingreso adicional para el municipio con la colaboración de aliados estratégicos como las universidades que están en la zona y desarrollan programas de responsabilidad social.
4. El Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Energía y Minas de la nación deberían implementar los recursos necesarios para que los investigadores y en especial los estudiantes universitarios puedan desarrollar estudios relacionados con la fitorremediación, en estrecha coordinación con las universidades cercanas al lugar.

5. Se recomienda a las empresas mineras su aporte económico y logístico en la continuidad de investigaciones, maestrías y doctorados para que los profesionales puedan realizar investigaciones relacionadas con el mejoramiento ambiental y con el fin de garantizar la estabilidad de los recursos genéticos del país, sobre todo de las especies en peligro de extinción y que son útiles en la preservación del medio ambiente evitando las grandes masas de contaminación por la eliminación de sus efluentes cianurados.

## REFERENCIAS

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina: generación y tratamiento*. España: Instituto geológico y minero de España, dirección de recursos generales y geoambiente [http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258\\_0000001.pdf](http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf)
- Akinpelu, E. A.; Amodu, O. S.; Mpongwana, N.; Ntwampe S. K. y Ojumu, T. V. (2014). Utilization of beta vulgaris agrowaste in biodegradation of cyanide contaminated wastewater. DOI: 10.5772/59668
- Alaya, T. R.; Calderón, O. E.; Rascón, B. J.; Gomes, R. V. y Collazos, S. R. (2019). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Revista de investigación en agroproducción sustentable*. 20 (3), 48-53. [doi.org/10.25127/aps.20183.403](https://doi.org/10.25127/aps.20183.403).
- Alguacil, F. J. (1995). El refinado de oro. *Revista de metalurgia*. 31(3), 182-191. <https://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/965/977>
- Álvarez, G. R. (2016). *Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración en minería de oro*. (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Aponte, U. H. (2007). *Respuesta del Schoenoplectus americanus (Pers.) vol. Ex Sch. & R. Sëll (Cyperaceae) "junco" a diferentes concentraciones de nutrientes*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor San Marcos. Lima, Perú.
- Aponte, U. H. (2009). El junco: clasificación, biología y gestión. *Researchgate*, 6(1), 2-7.
- Aprueban Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. Decreto Supremo N° 010-2010. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 20 de agosto de 2010, pp. 2-4.
- Armendáriz, V. E. (2016). *Áreas naturales protegidas y minería en México: Perspectivas y recomendaciones*. (Tesis doctoral). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/bitstream/1001/50/1/armendarize.pdf>.

- Bedoya, E. B. (2014). *Evaluación de la actividad fitorremediadora de *Shoenoplects californicus* "junco" en agua contaminada con arsénico Tacna 2013*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- Beltrán, M. y Gómez, R. A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista de Facultad de Ciencias Básicas*. 12 (2) 15-22. (en línea) DOI: 10.18359/rfcb.2027.
- Benavides, G. R. (2012). *La minería responsable y sus aportes al desarrollo del Perú*. Perú, Lima: Comunica SAC.  
[http://www.mzweb.com.br/bvn/La\\_Mineria\\_Responsable\\_y\\_sus\\_Aportes\\_al\\_Desarrollo\\_del\\_Peru\\_Por\\_Roque\\_Benavides\\_Ganoza.pdf](http://www.mzweb.com.br/bvn/La_Mineria_Responsable_y_sus_Aportes_al_Desarrollo_del_Peru_Por_Roque_Benavides_Ganoza.pdf)
- Calle, M. M., y Coello, M. R. (2015). *Uso de humedales artificiales superficiales para la remoción de contaminantes industriales*. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Carrero, F. N., y Tapia, A. J. (2019). *Incremento del potencial de iones hidrogeno (pH) del agua miel de *Coffea sp.* empleando fitorremediación con *Eichhornia crassipes M.* "jacinto de agua" para atenuar el nivel de contaminación*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú.
- Castillón, H. F. (2015). *Dosificación de cloro y peróxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas cianuradas en minera Laytaruma S.A.* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Chagua, R. y Tardío, J. (2015). *Evaluación de la remoción de cobre y zinc por la planta nativa *Scirpus californius* (totora) en la comunidad de Pomachaca- Tarma* (Tesis de grado) Universidad Nacional del Centro del Perú. Tarma- Perú.
- Coronel, C. E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Chachapoyas, 2015*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Delgadillo, L.; Merino, A.; Gonzáles, R.; César, A.; Prieto-García, F.; Villagómez, I.; Jáuregui, R. y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 14(2), 597-612.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es).

- Díaz, I. D. (2019). *Proceso de detoxificación de soluciones cianuradas usando el método inco en efluentes mineros*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Domínguez, M. C.; Gomez, S. y Ardila, A. N. (2016). Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera, *UGCiencia*. 22, 227-237.
- Dott, W.; Feidieker, D.; Steiof, M.; Becker, P.M. y Kämpfer, P. (1995). Comparison of ex situ and in situ techniques for bioremediation of hydrocarbon-polluted soils. *International biodeterioration y biodegradation*. 35 (3), 247-301. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096483059500040C>
- Gallardo, V. J. (2007). *Metalurgia del oro y la plata*. Lima, Perú. San Marcos.
- Glosario Química (2017). Glosario de términos químicos. Recuperado de: <https://glosarios.servidor-alicante.com/quimica/volatilizacion>
- Gómez, G. C. y Guarín, A. S. (2020). *Evaluar el efecto del proceso de fitorremediación con Eichornia crassipes en un agua cianurada mediante la cromatografía de gases*. (Tesis de grado). Universidad Católica de Manizales, Manizales, Colombia.
- Gudynas, E. (2001). *Si eres tan progresista ¿Por qué destruyes la naturaleza? Neoextractivismo, izquierdo y alternativas* (pp. 165-187). Quito: Ecuador debate.
- Hurtado, J y Berastain, A. (2012). Optimización de la biorremediación en relaves de cianuración adicionando nutrientes y microorganismos. *Revista Peruana de biología*. 19(2), 130-199. <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?scrip=arttex&pid=S122799332012000200010>
- Idárraga, F. A.; Muñoz, C. D. y Vélez, G. H. (2010). *Conflictos socio ambientales para la extracción minera en Colombia: caso de la inversión británica*. Colombia, Bogotá: Censat agua viva. <https://media.business-humanrights.org/media/documents/dbf28bfd3a72db2b870f4c0d6e664ed84e1a8b96.pdf>
- Jaramillo, J. M., y Flores, C. E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua) y Eichornia crassipes (jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. (Tesis de grado) Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>

- Jaureguiberry, M. (2011). Programa de gestión de administración de riesgos. *Seguridad e higiene en el trabajo*. 1(1), 9-12. [https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/seguimar/a13-3/material/Efluentes\\_higiene.pdf](https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/seguimar/a13-3/material/Efluentes_higiene.pdf)
- Lagos, M. C. (2005). *Utilización del jacinto acuático Eichhornia crassipes ((Mart) Solms 1883) como sistema de tratamiento para la eliminación de materia orgánica y color en efluente de celulosa kraft*. (Tesis de maestría), Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.
- Leahy, J. G. y Colwell, R. R. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews*. 54 (3), pp. 301-314. doi.org/ 0146-0749/90/030305-11\$02.00/0
- Little, T. M. y Hills, F. J., 1991. *Métodos estadísticos para la investigación en agricultura*, 2ª Ed. Trillas, México, 270 pp.
- Logsdon, J. M.: Hagelstein, K. y Mudder, I. T. (2001). *El manejo del cianuro en la extracción de oro*. Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente. Ottawa, Canadá.
- Mendoza, V. I. (2015). *Efecto de tres soluciones nutritivas en el rendimiento y calidad de Lactuca sativa L. Var. capitata cv. White boston en sistema hidropónico en Santiago de Chuco, La Libertad*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo, Santiago de Chuco, Perú.
- Mendoza, M. E. (2020). *Capacidad fitorremediadora de la "alfalfa" Medicago sativa L. en suelos contaminados con plomo evaluada en dos etapas de crecimiento, Végueta, Huaura*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Végueta, Huaura.
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2015). *Glosario técnico minero*. Dirección General de Minas. Bogotá, Colombia. 100
- Miranda, O. (2004). Los comuneros de Pulán: Nuestras vidas son los ríos. *Diario la Republica*, 54 (3), 1-10.
- Misari, C. F. (2010). *Metalurgia del oro* (pp.86-91). Lima: San Marcos.

- Montesdeoca, H. K. (2019). *Evaluación de Cyperus luzulae, en la remoción de cianuro en condiciones de laboratorio*. (Tesis de grado). Universidad Tecnológica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Mudder, I. T.; Botz, M. M. y Smith, A. (2001). *Chemistry and treatment of cyanidation wastes*. (2da ed.) USA, London: Mining Journal Books LDT. <http://dana6.free.fr/3%20060713%20English%20Compendium.pdf>
- Muñoz, M. I. (2015). *Uso y manejo del Cianuro en la industria minero - metalúrgico*. (Tesis de grado). Universidad Sonora, Monterrey, México.
- Murillo, P. G.; Zamudio, R. F. y Bracamonte, S. C. (2010). *Habitantes del agua: macrófitas*. España, Madrid: Agencia andaluza del agua.
- Paredes, S. J. y Ñique, M. H. (2015). *Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes "jacinto de agua"*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Pláster, E. J. (2005). *La Ciencia del Suelo y su Manejo*. International Thomson Editores. Paraninfo S. A. Primera Edición, Segunda reimpresión. Madrid, España.
- Porras, P. C. (2017). *Estudio del buchón de agua (Eichhornia crassipes) para el tratamiento de aguas residuales*. (Tesis de grado). Universidad Abierta y a Distancia UNAT. Bucaramanga, Colombia.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2014). *Convenio de Minamata sobre el mercurio*. Holanda, La Haya: United Nations Environment Programme. [PNUMA]  
<http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP1%20version/Minamata-Convention-booklet-sp-full.pdf> [PNUMA]
- Ramírez, A. V. (2010). Toxicidad del cianuro: Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. *Anales de la facultad de medicina*. 71 (1), 54-61. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-55832010000100011&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832010000100011&lng=es).
- Ramírez, S. A. (2015). *La minería ilegal y la contaminación ambiental en la ciudadela de Caral, Distrito de Supe, provincia de Barranca, Región Lima, Año 2014*. (Tesis de grado) Universidad Alas Peruanas. [http://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/uap/811/2/RAMIREZ\\_UGARTE-Resumen.pdf](http://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/uap/811/2/RAMIREZ_UGARTE-Resumen.pdf)

- Rimarachín, V. y Huaranga, M. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero-metalúrgicos utilizando métodos pasivos y activos en el sistema de experimentos. *Sciendo*, 18 (2), pp.10-18.
- Robles, W. y Madsen, J. (2015). Jacinto de agua [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms]. *Mayagüez*, 1(1), 1-2.
- Rupay, G. F. (2016). *Remoción del cianuro con el complejo (CUSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) de los efluentes de cianuración de oro para evitar riesgos a la salud y al ambiente*. (Tesis doctoral) Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/Rupay%20Guere.pdf?sequence=1&isAlloed=y>
- Samata, F. D. (2015). *Remoción de cianuro mediante Scenedesmus quadricauda en fotobio reactor tubular a condiciones controladas*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Sandoval, V. J. (2019). *Eficiencia del “jacinto de agua” Eichhornia crassipes y “lenteja de agua” Lemna minor L. en la remoción de cadmio en aguas residuales*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.
- Tamayo, J. (2017). *La industria de la minería en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico el país, Perú: Grafica biblios*. [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20anos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20anos.pdf)
- Tuesta, C. L. (2010). *Evaluación del cianuro en suelos, cuerpos de agua y plantas del entorno de centros mineros en Salpo-La Libertad-Perú 2007-2008*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Vera, R. E. (2016). *Eficacia de la fitorremediación de las aguas residuales del DREN 2210 utilizando lenteja de agua (Lemna minor)*. (Tesis doctoral), Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Vílchez, S. J. (2019). *Eficiencia del Jacinto de agua Eichhornia crassipes y lenteja de agua Lemna minor L. en la remoción de cadmio en aguas residuales*. (Tesis de grado). Facultad de ingeniería geográfica, ambiental y ecoturismo. Lima, Perú.
- Watanabe, M. E. (1997). Phytoremediation o the brink of commercialization. *Environmental Science y Technology*, 31, 182-16.

Garzón, G. A. (2008). Anthocyanins as natural colorants and bioactive compounds. *Acta Biológica Colombiana*, 13 (3), 27-36.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028004002.pdf>.

Velásquez, V. R. y Reveles, T. L. (2017). Necrosis foliar, nuevo síntoma asociado a la pudrición de la raíz de chile (*Capsicum annum*) en durazno y Zacatecas, Mexico. *Revista mexicana de micología*, 46 (1), 47-53.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-31802017000200047](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802017000200047)

## TERMINOLOGÍA

### **Amalgamación**

Transformación de concentración donde el metal natural se dividirá en dos grupos; la ganga y el mineral, dicho proceso se realiza por un mojado selectivo a la mena con mercurio (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2015).

### **Cianuro libre**

Ion de cianuro, que en contacto con el agua se disuelve, del mismo modo que el cianuro de hidrogeno, el cual puede disolverse rápidamente en una solución. (Logsdon, *et al.*, 2001).

### **Efluente**

Es todo residuo en forma líquida, gaseosa, sólida o mezcla de ellas, la cual fluye a un cuerpo receptor (Jaureguiberry, 2011).

### **Hidrólisis**

Reacción de un compuesto con el agua para crear un nuevo compuesto, molécula y el agua reaccionan rompiendo un enlace covalente para formar moléculas con grupos funcionales que incluyen los átomos de la molécula de agua (Pláster, 2005).

### **Lixiviación**

Proceso hidro-metalúrgico, esto significa que, con la ayuda del agua como medio de transporte, se usan químicos específicos para separar los minerales valiosos (solubles en dichos líquidos) de los no valiosos o impurezas (Gallardo, 2007).

## **Mena**

Material natural en el que se puede hallar al mineral, el cual es fundamental para la economía en los yacimientos mineros. Ejemplo para el molibdeno la mena sería el sulfuro de molibdeno (MINEM, 2015).

## **Minería aurífera**

Durante el convenio de Minamata sobre el mercurio, se precisó como la extracción de oro llevada a cabo por mineros formales e informales, con una producción y una inversión de capital limitada (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2014).

## **Potencial de hidrógeno (pH)**

Medida del grado de acidez o alcalinidad de una solución cualquiera. Los rangos de variación son entre 0 – 14, cuanto más bajo sea el pH de la solución tendrá mayor acidez y cuanto más alto, mayor será la alcalinidad (Jaureguiberry, 2011).

## **Oxido-reducción**

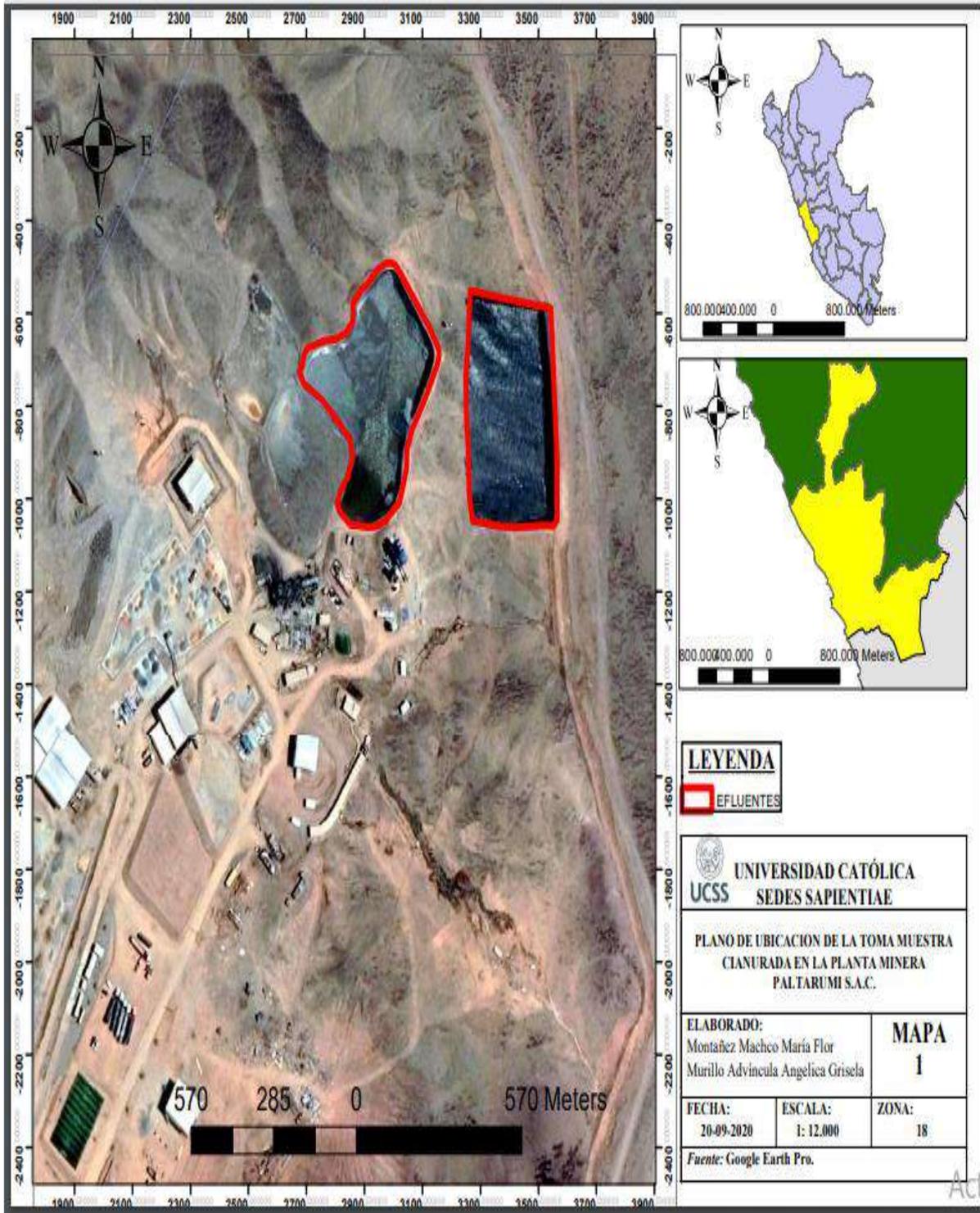
Es una reacción muy importante en el suelo, técnicamente una oxidación se produce cuando un elemento pierde un electrón (oxidación) y otro elemento gana ese electrón (reducción) (Pláster 2005).

## **Volatilización**

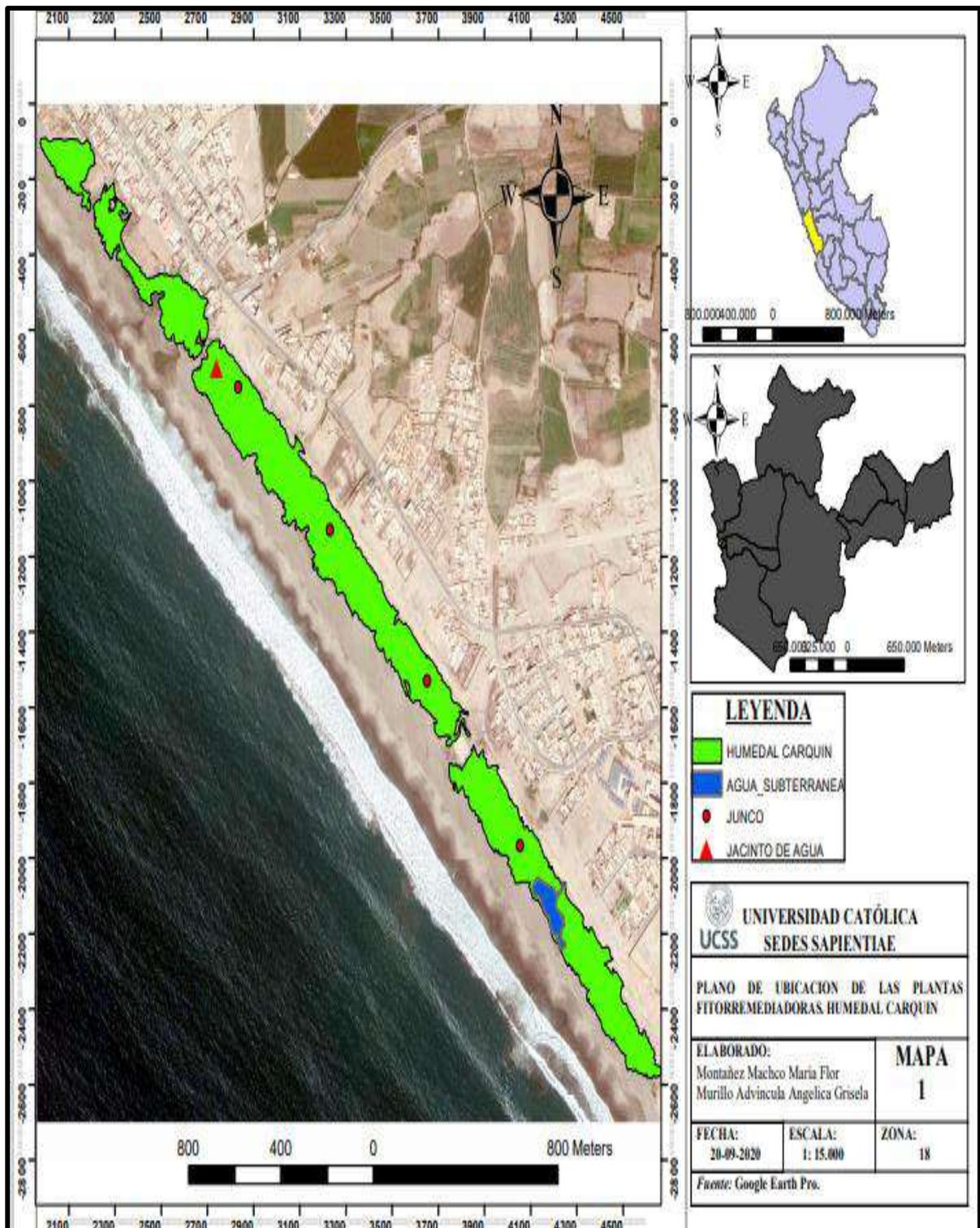
La volatilización es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado sólido al gaseoso, por aumento de la temperatura, sin pasar por el estado líquido intermedio (Glosario de Químico, 2017).

# APÉNDICES

Apéndice 1. Plaño de ubicación de la zona relavera de la Mina Paltarumi S.A.C



Apéndice 2. Plano de ubicación y puntos de muestreo del humedal Carquín-Hualmay



Apéndice 3. Certificado de calibración del multiparámetro (peachímetro y conductímetro)



Certificado de Calibración

CEC—13-09-2020

Consistente con las capacidades de medida y calibración (CMC-MRA)

Página 1 de 1

Consultora Ambiental de Servicios Múltiples S.A.C

Expediente: 84035

Solicitante: CONASERM S.A.C

Marca: Hanna HI9831 (Multiparámetro de Peachímetro- Conductímetro y temperatura)

Pantalla de 2 niveles, visualiza Ph, CE y temperatura

Sólo dos botones para todas la funciones

Cuerpo impeneable flotante

Compartimiento pilas impermeable

Sensor de temperatura expuesto

Sonda CE de gráfico sustituible

Indicador del nivel de batería

Factor de conversión regulable

Coefficiente de temperatura regulable.

Número de serie 9831

Fecha de calibración 13-09-2020

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema internacional de Unidades (SI)

Este certificado es consistente con las capacidades que se incluyen en le Apéndice C del MRA elaborado por el CIPM. En el marco del MRA todos los institutos y universidades participantes reconocen en si la validez de sus certificados de calibración y medición para las magnitudes, alcances e incertidumbres de medición especificados en el Apéndice C.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Consultora Ambiental de Servicios Múltiples (CONASERM S.A.C).

Certificados sin firma y sin sellos carecen de validez.

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which carry out the units of measurement according to the International System of Units (SI) This certificate is consistent with the capabilities included in Appendix C of the MRA prepared by the CIPM. Within the framework of the MRA, all participating institutes and universities recognize the validity of their calibration and measurement certificates for the magnitudes, scopes and measurement uncertainties specified in Appendix C. This calibration certificate can only be published completely and without modification. Extracts or modifications require the authorization of the Multiple Services Environmental Consultant (CONASERM S.A.C). Certificates without signature and without seals are invalid.

Consultora Ambiental de Servicios Múltiples CONASERM S.A.C

Tel: 918675847

Correo: conaserm.company@gmail.com

Av. Ramon Castilla S.N Cent Rahuapampa frente al estadio Dum Dum

Rahuapampa-Huari- Arecash



Malbaceda Estrada Lisbeth Lidia  
Gerente General

## Apéndice 4. Resultados obtenidos de las muestras analizadas



### FORME DE ENSAYO FQ N° 200902-016

Nombre del Cliente : MONTAÑEZ MACHCO MARIA FLOR – MURILLO ADVINCULA ANGELICA GRISELA  
 Dirección de la Empresa : JR. SANTA ANA NRO. SN - HUAURA.(COSTADO DE LA BALANZA NUEVA)  
 Solicitado por : MONTAÑEZ MACHCO MARIA FLOR

#### DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : PALTARRUMI S.A.C. - BARRANCA  
 Muestreo : Realizado por el cliente.  
 Referencia : NS 20014045  
 Orden de Trabajo : 06055 . 0820  
 Cantidad de Muestras : 1  
 Presentación : Botella pet con tapa cerrada  
 Fecha de Muestreo : 26 de Agosto de 2020 (Dato proporcionado por el solicitante)  
 Fecha de Recepción : 28 de Agosto de 2020  
 Fecha de Inicio de Ensayos : 28 de Agosto de 2020  
 Fecha de término de Ensayos : 02 de Septiembre de 2020  
 Condiciones de Recepción : En aparente buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
MSC-001	11:45A.M.	-	8827782.1	186848.1	100

#### MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Cianuro Total	Total Cyanide Colorimetric SM4500-CN-C, 23 Ed. Natural Water (Groundwater, Surface Water), Residual Water (Domestic, Industrial, Municipal), Water for Use and Human Consumption (Drink Water, Swimming Pool Water, Artificial Lagoon Water), Process Water (Circulation or Cooling Water, Boiler Supply Water, Boiler Water, Lixiviation Water)

#### Observaciones:

- Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.
- (\*) AGUA RESIDUAL: NTP-ISO 5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.

Código del Cliente	MSC-001	
Descripción del Punto	-	
Código de Laboratorio	20014045(1)	
Tipo de Producto	AGUA DE PROCESO (LIXIVIACIÓN)	
Fecha de muestreo	22/08/2020	
Hora de muestreo	11:45A.M.	
ENSAYOS	UNIDAD	RESULTADOS
Cianuro Total	mg/L	880.3

Emitido en Lima, el 02 de Septiembre de 2020

**INFORME DE ENSAYO FQ N° 200903-003**

Nombre del Cliente : MONTAÑEZ MACHCO MARIA FLOR – MURILLO ADVINCULA ANGELICA GRISELDA  
 Dirección de la Empresa : JR. SANTA ANA NRO. SN - HUAURA. (COSTADO DE LA BALANZA NUEVA)  
 Solicitado por : MONTAÑEZ MACHCO MARIA FLOR

**DATOS DE LA MUESTRA**

Procedencia : HUMEDAL CARQUIN-HUAURA  
 Muestreo : Realizado por el cliente.  
 Referencia : NS 20014045  
 Orden de Trabajo : 06054 - 0820  
 Cantidad de Muestras : 1  
 Presentación : Botella pet con tapa cerrada  
 Fecha de Muestreo : 20 de Agosto de 2020 (Dato proporcionado por el solicitante)  
 Fecha de Recepción : 21 de Agosto de 2020  
 Fecha de Inicio de Ensayos : 21 de Agosto de 2020  
 Fecha de término de Ensayos : 02 de Septiembre de 2020  
 Condiciones de Recepción : En aparente buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
MH-001	9:30A.M.	-	8771093.2	214013.5	4.572

**MÉTODOS DE ENSAYO**

DETERMINACIÓN	NORMA
Cianuro Total	Total Cyanide Colorimetric SM4500-CN-C, 23 Ed. Natural Water (Groundwater, Surface Water), Residual Water (Domestic, Industrial, Municipal), Water for Use and Human Consumption (Drink Water, Swimming Pool Water, Artificial Lagoon Water), Process Water (Circulation or Cooling Water, Boiler Supply Water, Boiler Water, Lixivation Water)

**Observaciones:**

- Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulado de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.
- (\*) AGUA SUPERFICIAL (MAR, RÍOS, LAGOS): RJ 010-2016-ANA: PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES.

Código del Cliente	MH-001			
Descripción del Punto	-			
Código de Laboratorio	20014045(1)			
Tipo de Producto	AGUA NATURAL (SUBTERRANEA)			
Fecha de muestreo	20/08/2020			
Hora de muestreo	9:30A.M.			
<b>ENSAYOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.</b>	<b>L.C.</b>	<b>RESULTADOS</b>
Cianuro Total	mg/L	0.02	0.05	0.015

Emitido en Lima, el 03 de Septiembre de 2020.



Fdo. Vanessa León Legua  
 Jefe de Laboratorio General y Espectroscopia  
 CQP N° 827

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a las muestras del protocolo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los 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. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin

**INFORME DE ENSAYO FQ N° 200910-015**

Registro S<sup>1</sup>LE-029

Nombre del Cliente : MONTAÑEZ MACHCO MARIA FLOR – MURILLO ADVINCULA ANGELICA GRISELDA  
 Dirección de la Empresa : JR. SANTA ANA NRO. SN - HUAURA.(COSTADO DE LA BALANZA NUEVA)  
 Solicitado por : MONTAÑEZ MACHCO MARIA FLOR

**DATOS DE LA MUESTRA**

Procedencia : JR. SANTA ANA S/N SANTA MARIA-HUAURA  
 Muestreo : Realizado por el cliente.  
 Referencia : NS 20014045  
 Orden de Trabajo : 06305 . 0920  
 Cantidad de Muestras : 16  
 Presentación : Botella pet con tapa cerrada  
 Fecha de Muestreo : 06 de Septiembre de 2020 (Dato proporcionado por el solicitante)  
 Fecha de Recepción : 07 de Septiembre de 2020  
 Fecha de inicio de Ensayos : 07 de Septiembre de 2020  
 Fecha de término de Ensayos : 10 de Septiembre de 2020  
 Condiciones de Recepción : En aparente buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
T-001/R-001	1:00P.M.	-	8774168	217758	111

**MÉTODOS DE ENSAYO**

DETERMINACIÓN	NORMA
Cianuro Total	Total Cyanide Colorimetric SM4500-CN-C, 23 Ed. Natural Water (Groundwater, Surface Water), Residual Water (Domestic, Industrial, Municipal), Water for Use and Human Consumption (Drink Water, Swimming Pool Water, Artificial Lagoon Water), Process Water (Circulation or Cooling Water, Boiler Supply Water, Boiler Water, Lixivation Water)

**Observaciones:**

- Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.
- (\*\*) AGUA RESIDUAL: NTP-ISO 5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.

Código del Cliente	T-001/R-001	T-001/R-002	T-001/R-003	T-001/R-004	T-002/R-001	
Descripción del Punto	-	-	-	-	-	
Código de Laboratorio	20014045(1)	20014045(2)	20014045(3)	20014045(4)	20014045(5)	
Tipo de Producto	AGUA DE PROCESO (LIXIVIACIÓN)					
Fecha de muestreo	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	
Hora de muestreo	1:00 P.M.					
ENSAYOS	UNIDAD	RESULTADOS				
Cianuro Total	mg/L	4.967	3.431	4.631	4.192	3.231

Emitido en Lima, el 16 de Septiembre de 2020.

Código del Cliente	T-002/R-002	T-002/R-003	T-002/R-004	T-003/R-001	T-003/R-002			
Descripción del Punto	-	-	-	-	-			
Código de Laboratorio	20014045(6)	20014045(7)	20014045(8)	20014045(9)	20014045(10)			
Tipo de Producto	AGUA DE PROCESO (LIXIVIACIÓN)							
Fecha de muestreo	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020			
Hora de muestreo	1:00 P.M.							
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS				
Cianuro Total	mg/L	0.003	0.017	4.479	5.455	5.429	3.377	2.784

Emitido en Lima, el 16 de Septiembre de 2020.

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del producto o del lote analizado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los 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. Queda prohibida la

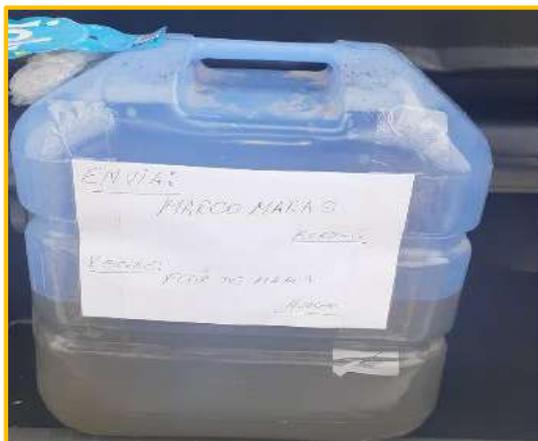
	T-002/R-002	T-002/R-003	T-002/R-004	T-003/R-001	T-003/R-002		
Código del Cliente	-	-	-	-	-		
Descripción del Punto	-	-	-	-	-		
Código de Laboratorio	20014045(6)	20014045(7)	20014045(8)	20014045(9)	20014045(10)		
Tipo de Producto	AGUA DE PROCESO (LIXIVIACIÓN)						
Fecha de muestreo	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020		
Hora de muestreo	1:00 P.M.						
<b>ENSAYOS</b>	<b>UNIDAD</b>		<b>RESULTADOS</b>				
Cianuro Total	mg/L		4.979	5.435	5.429	3.577	2.794

	T-003/R-003	T-003/R-004	T-004/R-001	T-004/R-002	T-004/R-003		
Código del Cliente	-	-	-	-	-		
Descripción del Punto	-	-	-	-	-		
Código de Laboratorio	20014045(11)	20014045(12)	20014045(13)	20014045(14)	20014045(15)		
Tipo de Producto	AGUA DE PROCESO (LIXIVIACIÓN)						
Fecha de muestreo	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020	06/09/2020		
Hora de muestreo	1:00 P.M.						
<b>ENSAYOS</b>	<b>UNIDAD</b>		<b>RESULTADOS</b>				
Cianuro Total	mg/L		3.923	3.074	16.82	16.92	19.31

	T-004/R-004
Código del Cliente	-
Descripción del Punto	-
Código de Laboratorio	20014045(16)
Tipo de Producto	AGUA DE PROCESO (LIXIVIACIÓN)
Fecha de muestreo	06/09/2020
Hora de muestreo	1:00 P.M.
<b>ENSAYOS</b>	<b>UNIDAD</b>
Cianuro Total	mg/L
	21.990

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los 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. Queda prohibida la

Apéndice 5. Vistas fotográficas del proceso de la investigación



1. Efluente cianurado donado por la Minera Paltarumi S.A.C.



2. Muestras del efluente cianurado enviado al Laboratorio CERTIFICAL SA.C.



3. Cuadrícula para la recolección de plantas de “junco”



4. Cuadrícula para la recolección de plantas de “jacinto de agua”



5. Disposición de las macetas con los tratamientos en estudio



6. Muestras de las especies en estudio para ser traslado al laboratorio



7. Evaluación del pH de la solución agua-efluente cianurado



8. Nutrición de las plantas con soluciones hidropónicas nutritivas A y B



9. Evaluación de la altura de plantas del “junco” y “jacinto de agua”



10. Tabla Munsell para la comparación de colores de una planta.



**11. Aplicación del efluente cianurado en los tratamientos en estudio**



**12. Evaluación de la conductividad eléctrica de la solución agua-efluente cianurado**



**13. Toma de muestras de la solución agua-efluente al final del proceso de la investigación**



**14. Muestra final de la solución agua-efluente cianurado**

Apéndice 6. Formato de acta de entrega de Residuos Peligrosos

	<b>FORMATO ACTA DE ENTREGA DE RESIDUOS</b>	Código: Act. A18 AER 01 Versión 1 Fecha: 10/09/2020 Página 1 de 1							
<b>PROCESO:</b> Implementación del servicio.									
Por medio del presente documento, hoy 10/09/2020 se deja constancia de la siguiente cuestión:									
<ul style="list-style-type: none"><li>• Caso 1: La entrega de 75.5 kg de residuos peligrosos usados en la investigación "Capacidad fitorremediadora del "junco" <i>Scheuchzeria palustris</i> L. sobre la concentración de cianuro proveniente del efluente de la mina Paltarumi S.A.C., Barranca, 2020".</li><li>• Caso 2: <input checked="" type="checkbox"/> La donación de los residuos peligrosos descritos en la Tabla 1.</li><li>• Caso 3: <input type="checkbox"/> La venta a una EC-RS autorizada de los residuos contaminados de un estudio investigativo.</li></ul>									
<table border="1"><tr><td><b>Tabla 1.</b></td></tr><tr><td>-2L de muestra del fluido cianurado</td></tr><tr><td>-64L de agua contaminada del humedal Carquin- Hualmay contaminada.</td></tr><tr><td>-16 recipientes plásticos contaminados</td></tr><tr><td>-2 kg de arena contaminada</td></tr><tr><td>-80 plantas de la macroflora acuática "jacinto de agua"</td></tr><tr><td>-64 plantas de la macroflora acuática "junco"</td></tr></table>			<b>Tabla 1.</b>	-2L de muestra del fluido cianurado	-64L de agua contaminada del humedal Carquin- Hualmay contaminada.	-16 recipientes plásticos contaminados	-2 kg de arena contaminada	-80 plantas de la macroflora acuática "jacinto de agua"	-64 plantas de la macroflora acuática "junco"
<b>Tabla 1.</b>									
-2L de muestra del fluido cianurado									
-64L de agua contaminada del humedal Carquin- Hualmay contaminada.									
-16 recipientes plásticos contaminados									
-2 kg de arena contaminada									
-80 plantas de la macroflora acuática "jacinto de agua"									
-64 plantas de la macroflora acuática "junco"									
<b>Datos del lugar de origen:</b> <input type="checkbox"/> Almacén Dirección: Distrito de Santa María, Empresa Follos E.I.R.L. <input type="checkbox"/> Nodo Distrito: Santa María <input type="checkbox"/> Oficina Provincia: Huará <input checked="" type="checkbox"/> Laboratorio Departamento: Ancash									
<b>Datos de quien recibe:</b> Empresa: CERTIFICAL S.A.C Medio de transporte: (Tipo, placa, color): Camioneta blanca Hilux HSW-588									
<b>Datos de quien entrega:</b> Persona a cargo: Angelica Grisela Murillo Advincula DNI: 71844211  Firma									