

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



**“AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE HONGOS  
REMIEDIADORES DE SUELOS CONTAMINADOS CON CADMIO  
EN EL BOTADERO CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**WELIAM FREDE CRUZ CASAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÓNOMICA**

“AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE HONGOS REMEDIADORES DE  
SUELOS CONTAMINADOS CON CADMIO EN EL BOTADERO CANCHARANI  
DE LA CIUDAD DE PUNO”

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

WELIAM FREDE CRUZ CASAS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO



**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE**

:

Dr. Evaristo Mamani Mamani

**PRIMER MIEMBRO**

:

M.Sc. Elisban Uriel Huanca Quiroz

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

M.Sc. Daniel Canaza Mamani

**DIRECTOR / ASESOR**

:

Dr. Silverio Apaza Apaza

**ÁREA : Ciencias agrícolas**

**TEMA: Manejo y conservación de recursos de agua y suelo**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 DE DICIEMBRE DEL 2019**

## DEDICATORIA

### A DIOS

*El presente trabajo se la dedico a Dios como ser supremo y creador nuestro y de todo los que nos rodea, y a Jesús quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.*

### A MIS PADRES

*Quienes son personas maravillosas, por darme su paciencia, amor, comprensión y esmero al trabajar diario para darme lo mejor de sí. Mi Madre Bartolina Casas Mamani y a mi padre Félix Cruz Perez quienes, con sus ejemplos de vida, me enseñaron a mirar el futuro con esperanza.*

### A MIS HERMANOS

*En especial a Javier Cruz Casas por confiar siempre en mí, y por su apoyo incondicional, A Bladimir, Soledad, Luis, Yostin, Áaron, por ser motivo del el gran apoyo y ejemplo que ellos me profesan son las herramientas que siempre estuvieron presentes para lograr este objetivo.*

*En especial a Ruth Pilar Machacca Condori por confiar siempre en mí y por todo el apoyo incondicional.*

*William Frede Cruz Casas*

## AGRADECIMIENTOS

- A nuestro señor Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad esta meta anhelada, tú amor y tu bondad no tiene fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu gran ayuda, y cuando caigo me pones a prueba, aprendo de mis errores, gracias por todas las personas que has puesto en mi camino porque todas ellas me han dado alguna lección de vida.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme permitido ser parte de la gente que se ha formado y en ella a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica por haberme formado profesionalmente.
- A mis asesoras de Tesis Ing. Nora Ortiz Calcina, y a la Dra. Betsabe León Ttacca, por su gran colaboración y confianza necesaria, sus conocimientos, orientaciones, su paciencia y motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador.
- A mi Director de tesis Dr.Sc. Silverio Apaza Apaza, gracias por el tiempo, la confianza, en la elaboración de este proyecto.
- En especial a Lic. Bióloga, Fiorela Machacca Condori en la identificación de cepas.
- A mi amigo Vilk M. Checalla Mamani, la parte estadística de mi proyecto de investigación, compartiendo mis dudas y ansiedades, apoyándome e impulsándome.
- Al personal administrativo Sr. Martin Yucra, Félix Coila, Marcelino por facilitarme laboratorios quienes han sido parte fundamental para la realización este proyecto.
- A mis amigos(as) de Carrera: Jhoel, Vidal, Blander, Felipe, Rocio, Sonia, entre otros quiénes han creído en mí, siempre dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	17
<b>ABSTRACT</b> .....	18
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>II. MARCO TEORICO</b> .....	22
2.1. ANTECEDENTES.....	22
2.1.1. Internacionales.....	22
2.1.2. Nacionales.....	23
2.1.3. Locales.....	25
2.2. MARCO LEGAL .....	27
2.2.1. Estándares de calidad ambiental.....	27
2.2.2. Límites máximos permisibles para el suelo según las normas de Perú .....	28
2.2.3. Estándares de calidad para suelos (ECAS).....	28
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	30
2.3.1. Metales pesados.....	30
2.3.2. Cadmio .....	31
2.3.3. Origen de la contaminación del suelo por cadmio .....	32
2.3.4. Movilización de cadmio en los suelo.....	33
2.3.5. Usos del cadmio .....	34
2.3.6. Efecto del metal cadmio .....	35
2.3.7. Biorremediación de metales pesados por medio de microorganismos.....	36
2.3.7.1. Biomineralización.....	38
2.3.7.2. Biotransformación .....	38
2.3.7.3. Quimiosorción .....	39
2.3.7.4. Biosorción.....	39

2.3.7.5.	Mecanismos de biosorción .....	40
2.3.8.	Biosorción de metales pesados por la biomasa de hongos .....	42
2.3.9.	Factores que afectan la Bioadsorción.....	44
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>48</b>
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	48
3.2.	UBICACIÓN DEL ESTUDIO.....	48
3.3.	ÁREA DE MUESTREO DE SUELOS.....	48
3.3.1.	Localización y ubicación política.....	48
3.3.2.	Ubicación de los puntos de muestreo.....	49
3.4.	COMPONENTES EN ESTUDIO .....	51
3.5.	MATERIALES DEL TRABAJO.....	52
3.5.1.	Materiales para el muestreo de suelo .....	52
3.5.2.	Materiales de laboratorio.....	52
3.6.	METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN .....	55
3.6.1.	Muestreo de suelos.....	55
3.6.2.	Aislamiento de hongos de suelos del botadero Cancharani de la ciudad Puno .....	55
3.6.3.	Detección de hongos tolerantes al cadmio .....	57
3.6.4.	Preparación del medio líquido .....	58
3.6.5.	Proceso del experimento en medios líquidos de concentraciones de 3, 100 y 200 ppm en pH 5, 7 y 9 .....	58
3.6.6.	Determinación del costo de producción.....	60
3.6.7.	Análisis estadístico.....	61
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
4.1.	AISLAMIENTO DE HONGOS TOLERANTES AL CADMIO DE SUELOS CONTAMINADOS EN EL BOTADERO CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO .....	62

4.1.1. Caracterización e identificación a nivel de género de hongos tolerantes al cadmio del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno .....	63
4.1.1.1. Identificación a nivel de género para <i>Trichoderma</i> sp (T1B).....	63
4.1.1.2. Identificación a nivel de género para <i>Trichoderma</i> spp (T5A) .....	64
4.1.1.3. Identificación a nivel de género para <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) .....	65
4.2. DETERMINACIÓN DE EFECTOS DE HONGOS AISLADOS EN LA REMOCIÓN DE CADMIO .....	66
4.2.1. REMOCIÓN DE CADMIO PARA EL GÉNERO <i>Trichoderma</i> SP. (T1B) 66	
4.2.1.1. Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	67
4.2.1.2. Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	67
4.2.2. PRUEBA DE EFECTOS SIMPLES PARA EL GÉNERO <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	68
4.2.2.1. Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B).....	68
4.2.2.2. Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	69
4.2.2.3. Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género <i>Trichoderma</i> sp (T1B).....	70
4.2.3. REMOCIÓN DE CADMIO PARA EL GÉNERO <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	73
4.3.3.1. Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	73
4.3.3.2. Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	74
4.2.4. PRUEBA DE EFECTOS SIMPLES PARA EL GÉNERO <i>Trichoderma</i> spp. (T5A) .....	75
4.2.4.1. Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A) .....	75

4.2.4.2. Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	76
4.2.4.3. Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género <i>Trichoderma</i> spp (T5A).....	77
4.2.5. REMOCIÓN DE CADMIO PARA EL GÉNERO <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	80
4.2.5.1. Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	80
4.2.5.2. Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	81
4.2.6. PRUEBA DE EFECTOS SIMPLES PARA EL GÉNERO <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	81
4.2.6.1. Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	81
4.2.6.2. Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	82
4.2.6.3. Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	83
4.2.7. COMPARACIÓN DE EFECTOS DE pH Y CONCENTRACIONES DE LOS GENEROS DE <i>Trichoderma</i> sp. (T1B), <i>Trichoderma</i> spp. (T5A) Y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) EN LA CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN AL CADMIO.....	86
4.2.7.1. Efecto del pH (5, 7 y 9) en la eliminación de cadmio.....	86
4.2.7.2. Efecto de la concentración de 3, 100 y 200 ppm en la acumulación de cadmio.....	88
4.2.7.3. Comparación de la capacidad de eliminación de los géneros de <i>Trichoderma</i> sp (T1B), <i>Trichoderma</i> spp (T5A) y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	90
4.3. DETERMINACION DEL COSTO DE AISLAMIENTO E IDENTIFICACION DE HONGOS REMEDIADORES DE SUELOS CONTAMINADOS CON	

CADMIO PROVENIENTES DEL BOTADERO DE CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO .....	94
4.3.1. Determinación de costo para los géneros de <i>Trichoderma</i> sp (T1B), <i>Trichoderma</i> spp (T5A) y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) .....	94
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	96
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	97
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	98
<b>ANEXOS</b> .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Mecanismos de interacción entre metales pesados y microorganismo .....	38
<b>Figura 2:</b> Bioacumulación de Metales Pesados .....	40
<b>Figura 3:</b> Bioadsorción de Metales Pesados .....	40
<b>Figura 4:</b> Mecanismos ligados a la biosorción .....	42
<b>Figura 5:</b> Ubicación de los puntos de muestreo en los suelos del botadero .....	50
<b>Figura 6:</b> Toma de muestras para el aislamiento de hongos del botadero Cancharani de la ciudad de Puno .....	56
<b>Figura 7:</b> Proceso de diluciones seriadas .....	56
<b>Figura 8:</b> Colonias de hongos de suelo .....	57
<b>Figura 9:</b> Colonia de hongos purificados .....	57
<b>Figura 10:</b> Detección de hongos .....	58
<b>Figura 11:</b> Elementos de costos de producción .....	60
<b>Figura 12:</b> Descripción del genero <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	63
<b>Figura 13:</b> descripción del genero <i>Trichoderma</i> spp. (T5A) .....	64
<b>Figura 14:</b> Descripción del genero <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) .....	65
<b>Figura 15:</b> Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género <i>Trichoderma</i> sp (T1B) .....	71
<b>Figura 16:</b> Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género <i>Trichoderma</i> spp (T5A) .....	78
<b>Figura 17:</b> Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) .....	84
<b>Figura 18:</b> Efecto del pH en la capacidad de eliminación de cadmio por los géneros de <i>Trichoderma</i> sp. (T1B), <i>Trichoderma</i> spp. (T5A) y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) .....	87

<b>Figura 19:</b> Efectos de la concentración de iones Cd en la capacidad de eliminación por los géneros de <i>Trichoderma</i> sp (T1B), <i>Trichoderma</i> spp (T5A) y la especie de <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	89
<b>Figura 20:</b> Comparación y efecto de los géneros de <i>Trichoderma</i> sp (T1B), <i>Trichoderma</i> spp (T5A) y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2). sobre el porcentaje de remoción de iones cadmio .....	91
<b>Figura 21:</b> Correlación de la remoción con la biomasa de hongos del genero <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	117
<b>Figura 22:</b> Correlación de la remoción con la biomasa de hongos del genero <i>Trichoderma</i> sp. (T5A).....	118
<b>Figura 23:</b> Correlación de la remoción con la biomasa de hongos del genero <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	118
<b>Figura 24:</b> Toma de muestras para el aislamiento de hongos del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno. A) Punto de muestreo. B) Toma de muestra del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno para el aislamiento de hongos. C) Profundidad de muestreo de suelos.....	123
<b>Figura 25:</b> Diluciones seriadas y la sensibilidad de hongos .....	123
<b>Figura 26:</b> Proceso del experimento en medios líquidos de tres concentraciones de 3, 100 y 200 ppm en los pHs 5, 7 y 9 . .....	124



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo – Perú y los Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental .....	27
<b>Tabla 2:</b> Estándares de Calidad Ambiental para Suelo del Ministerio de Ambiente.....	28
<b>Tabla 3:</b> Constantes del proceso de adsorción.....	51
<b>Tabla 4:</b> Esquema de las colonias de hongos de suelos del botadero .....	57
<b>Tabla 5:</b> Esquema de hongos purificados .....	57
<b>Tabla 6:</b> Esquema de detección de hongos tolerantes al Cd.....	58
<b>Tabla 7:</b> Hongos aislados de suelos contaminados con metales pesados provenientes del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno .....	62
<b>Tabla 8:</b> Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	67
<b>Tabla 9:</b> Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	68
<b>Tabla 10:</b> Comparación de medias efectos simples de concentración dentro de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B).....	69
<b>Tabla 11:</b> Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B) .....	70
<b>Tabla 12:</b> Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	73
<b>Tabla 13:</b> Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	74
<b>Tabla 14:</b> Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A) .....	76

<b>Tabla 15:</b> Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	77
<b>Tabla 16:</b> Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	80
<b>Tabla 17:</b> Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	81
<b>Tabla 18:</b> Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	82
<b>Tabla 19:</b> Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentraciones para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	83
<b>Tabla 20:</b> Estimación de costeo para los géneros de <i>Trichoderma</i> sp (T1B), <i>Trichoderma</i> spp (T5A) y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	94
<b>Tabla 21:</b> Diseño experimental del género de <i>Trichoderma</i> sp. (T1B).....	109
<b>Tabla 22:</b> Diseño experimental del género de <i>Trichoderma</i> sp. (T5A).....	110
<b>Tabla 23:</b> Diseño experimental del género de <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	111
<b>Tabla 24:</b> Prueba de la homogeneidad de la varianza.....	112
<b>Tabla 25:</b> Prueba normalidad por el método de Kolmogorov-Smirnov.....	112
<b>Tabla 26:</b> Análisis de varianza para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B).....	112
<b>Tabla 27:</b> Prueba de efectos simples para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B).....	113
<b>Tabla 28:</b> Análisis de varianza para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	113
<b>Tabla 29:</b> Prueba de efectos simples para el género <i>Trichoderma</i> spp. (T5A).....	113
<b>Tabla 30:</b> Análisis de varianza para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	114
<b>Tabla 31:</b> Prueba de efectos simples para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	114
<b>Tabla 32:</b> Correlación de Pearson para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T1B).....	114
<b>Tabla 33:</b> Correlación de Pearson para el género <i>Trichoderma</i> sp. (T5A).....	115

<b>Tabla 34:</b> Correlación de Pearson para el género <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) .....	115
<b>Tabla 35:</b> Cuadro comparativo de análisis de medios líquidos con los estándares de calidad ambiental ECA de los géneros <i>Trichoderma</i> sp (T1B), <i>Trichoderma</i> spp (T5A) y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2).....	115
<b>Tabla 36.</b> Costo de producción para los géneros de <i>Trichoderma</i> sp (T1B), <i>Trichoderma</i> spp (T5A) y <i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2) .....	116

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>ppm</b>	: Partes por millón
<b>pH</b>	: Potencial de hidrogeno
<b>%</b>	: Porcentaje
<b>RSU</b>	: Residuos sólidos urbanos
<b>ECA</b>	: Estándar de Calidad Ambiental
<b>MINAN</b>	: Ministerio del ambiente.
<b>CEQG</b>	: Canadian Environmental Quality Guidelines (Normas de Calidad Ambiental Canadienses).
<b>LMP</b>	: Límite Máximo Permissible
<b>ECAS</b>	: Estándares de calidad para suelos
<b>EPA</b>	: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección de los Estados Unidos).
<b>DIN</b>	: German Institute for Standardization.
<b>m.s.n.m.</b>	: Metros sobre el nivel del mar
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metros cuadrados
<b>rpm</b>	: Revoluciones por minuto
<b>°C</b>	: Grados centígrados
<b>min</b>	: Minutos
<b>ml</b>	: Mililitros
<b>Mg/g</b>	: Miligramos por gramo
<b>g</b>	: Gramos
<b>g/l</b>	: Gramos por litro
<b>PDA</b>	: Papa dextrosa agar
<b>(Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)</b>	: Nitrato de cadmio

<b>Cd</b>	: Cadmio
<b>DCA</b>	: diseño completamente al azar
<b>ANOVA</b>	: Análisis de varianza
<b>CV</b>	: Coeficiente de variabilidad
$\bar{X}$	: Media general
<b>p&lt;0.05</b>	: Probabilidad menor que 0.05
<b>SIG</b>	: Significativo
<b>**</b>	: Altamente significativo
<b>T1B</b>	: Tratamiento 1 de la profundidad B
<b>T5A</b>	: Tratamiento 5 de la profundidad A
<b>T1B2</b>	: Tratamiento 1 de la profundidad B de la repetición 2

## RESUMEN

Según el estudio realizado por (Torres Quispe, 2018), la concentración de cadmio en los suelos del botadero Cancharani sobrepasan los límites máximos permisibles dentro de los Estándares de Calidad Ambiental; siendo el cadmio uno de los metales pesados más contaminantes. El presente trabajo se realizó con el objetivo principal de aislar e identificar hongos tolerantes al cadmio de suelos contaminados en el botadero Cancharani de la ciudad de Puno y determinar el efecto de los hongos aislados en la remoción de cadmio. Se tomaron muestras de suelos en tres zonas a profundidades distintas alrededor del botadero Cancharani; de cada zona se recolectaron 2 muestras, se observaron distintas colonias de hongos mediante las diluciones seriadas para identificarlos, se realizaron ensayos de hongos con cadmio en medio Agar, se seleccionaron tres géneros con mayor asimilación para la remoción de iones de cadmio, en tres niveles de pH (5, 7 y 9) y concentraciones de Cd (3, 100 y 200 ppm) en medios líquidos y la cantidad restante de iones metálicos se midió a los 15 días de crecimiento, analizándose por el método de espectrometría de absorción atómica. Los resultados mostraron una eficacia de biorremoción máxima de cadmio en tres géneros; *Trichoderma* sp (T1B) tuvo la mayor capacidad de eliminar los iones de cadmio con 54.80 %, (12.24 mg/g según el peso seco del hongo) seguido por *Trichoderma* spp (T5A) eliminó el 54.29 % (12.00 mg/g según el peso seco del hongo) y finalmente el género *Apophysomyces* sp. (T1B2) tuvo una capacidad baja para eliminar los iones de cadmio con 52.92 %, (12.20 mg/g en base al peso seco del hongo), la mayor eficacia de eliminación de iones de Cd de cada especies de hongos fue en el pH ácido y alcalino.

**Palabras Clave:** Remoción biológica, potencial de hidrogeno, cadmio, hongos.

## ABSTRACT

According to the study carried out by (Torres Quispe, 2018), the concentration of cadmium in the soil of the Cancharani dump exceeds the maximum permissible limits within the Environmental Quality Standards; cadmium being one of the most contaminating heavy metals. The present work was carried out with the main objective of isolating and identifying cadmium-tolerant fungi from contaminated soils in the Cancharani landfill in the city of Puno and determining the effect of isolated fungi on cadmium removal. Soil samples were taken in three areas at different depths around the Cancharani dump; Two samples were collected from each zone, different colonies of fungi were observed by means of serial dilutions to identify them, fungi were tested with cadmium in Agar medium, three genera with higher assimilation were selected for cadmium ion removal, at three pH levels (5, 7 and 9) and Cd concentrations (3, 100 and 200 ppm) in liquid mediums and the remaining amount of metal ions was measured after 15 days of growth, being analyzed by the atomic absorption spectrometry method. The results showed a maximum bioremoval efficiency of cadmium in three genera; *Trichoderma* sp (T1B) had the highest capacity to eliminate cadmium ions with 54.80 %, (12.24 mg/g according to the dry weight of the fungus) followed by *Trichoderma* spp (T5A) eliminated 54.29 % (12.00 mg/g according to the dry weight of the fungus) and finally the genus *Apophysomyces* sp. (T1B2) had a low capacity to eliminate cadmium ions with 52.92 %, (12.20 mg/g based on dry weight of the fungus), the highest efficiency of Cd ion elimination of each fungal species was in the acid and alkaline pH.

**Keywords:** Biological removal, hydrogen potential, cadmium, fungi.



## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de actividades diarias de la población, ha contribuido cada vez más a la generación de residuos con elementos potencialmente tóxicos que en concentraciones altas pueden tener efectos nocivos a la salud humana y sus afectaciones al equilibrio ecológico y el ambiente. La gran diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, tanto en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, de diversas actividades naturales y antropogénicas generando un deterioro en el ambiente, (Pineda, 2006).

La gestión de los residuos sólidos en el país tiene como finalidad su manejo integral y sostenible, mediante la articulación, integración, compatibilización de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de quienes intervienen en la gestión y el manejo de los residuos sólidos, (Barreto, 2017).

El departamento de Puno presenta una población de 129,832.00 y para el 2015 se tendrá una población de 1,415, 608 habitantes Según el INEI 2007, este aspecto ha traído como consecuencia que el distrito de Puno se convierta en una ciudad con alto nivel de generación de residuos sólidos, actualmente Puno se encuentra en un proceso de urbanización incrementado la generación de los residuos sólidos, para ser posteriormente depositados en el Botadero Municipal, los desechos sólidos son depositadas diariamente en el botadero, que en épocas de lluvias y vientos son arrastradas produciendo la lixiviación, originando contaminación del entorno, (Institucionales *et al.*, 2009).

La cantidad de residuos sólidos producida en la ciudad de Puno es de 89 247 kg/día. La hora de mayor incidencia de residuos sólidos en las calles y puntos de acopio son en las noches y madrugadas. La PPC de residuos sólidos es de 0.74 kg/día los que son producidos por viviendas, instituciones, comercio, hoteles, colegio, etc. Tomándose en cuenta el crecimiento poblacional de 1.6%, (Rojas, 2004).

El cadmio es reconocido por su toxicidad en toda la cadena alimenticia y es uno de los componentes tóxicos de los desechos industriales y municipales. El metal no tiene una función biológica esencial y presenta efectos mutagénicos, carcinogénicos, fitotóxicos y ecotóxicos, siendo extremadamente tóxico, debido a su concentración, para todos los sistemas vivos, particularmente para los mamíferos, incluidos los humanos, (Waisberg, Joseph, Hale, & Beyersmann, 2003).

El cadmio se libera al ecosistema mediante relaves de minas, efluentes de las industrias textil, de cuero, curtiembre, de galvanoplastia y galvanización, así como baterías de cadmio, (Jaeckel, Krauss, & Krauss, 2005).

Existen varios procesos para reducir las concentraciones de metales pesados en el medio ambiente. En este sentido, es notable que los microorganismos utilicen estos contaminantes como fuente de nutrientes y energía y los conviertan en sustancias solubles. Este proceso se conoce como biorremediación, (Kumar, Bishnoi, & Bishnoi, 2008).

La pared celular de los hongos consiste en polisacáridos y proteínas que ofrecen múltiples sitios activos para la unión de metales. Los polisacáridos que se encuentran en las paredes celulares de los hongos son la quitina y el quitosano, que se ha demostrado que secuestran iones metálicos. La biosorción pasiva es un proceso reversible de desorción y adsorción. La elución se puede hacer por otros iones, agentes quelantes o ácidos. Por el contrario, la biosorción activa se produce cuando los iones metálicos penetran la membrana celular y entran en las células, (Wang J. & Chen, 2009).

La disposición final inadecuada de los residuos sólidos en el botadero ocasiona impactos ambientales negativos en el medio físico y biótico, así como el paisaje y la salud pública, los que pueden ser mitigados con el cierre adecuado del botadero. Los impactos que produce son sobre todo en el aire y suelo ocasionando un desequilibrio en el ecosistema

de la zona. La población se encuentra bastante insatisfecha con el servicio de recolección de basura y consideran que este debe mejorarse, (Rojas, 2004).

Los botaderos contaminan las aguas superficiales y subterráneas, el suelo y el aire; generando malos olores entre otros. Además, los botaderos no están permitidos por la ley (Dentro de la VI Disposición Complementaria de la nueva Ley General de Residuos Sólidos 1278). Los botaderos se pueden convertir en rellenos sanitarios o ser clausurados de tal forma que el lugar quede rehabilitado sin contaminación ambiental; los residuos sólidos es un tema que no ha tenido prioridad en las municipalidades y tampoco en la población local, (CEPIS, 2002).

### **OBJETIVO GENERAL**

- Aislamiento e identificación de hongos remediadores de suelos contaminados con cadmio provenientes del botadero Cancharani de la ciudad de Puno.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aislar e identificar hongos tolerantes al cadmio de suelos contaminados provenientes del botadero Cancharani de la ciudad de Puno.
- Determinar el efecto de los hongos aislados en la remoción de cadmio provenientes del botadero Cancharani de la ciudad de Puno.
- Determinar el costo del aislamiento e identificación de hongos remediadores de suelos contaminados con cadmio provenientes del botadero Cancharani de la ciudad de Puno.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES

#### 2.1.1. Internacionales

Manguilimotan and Bitacura (2018), realizaron el estudio del aislamiento de hongos tolerantes al cadmio Cd de las aguas costeras y los sedimentos, compara sus capacidades de biosorción e identifica los aislamientos con la mayor absorción de Cd, aislaron ocho colonias distintas de muestras de sedimento y agua en cultivos puros, de ellos solo tres tuvieron una eficiencia de biosorción de Cd significativo, estos aislado de hongos fueron el 3 (13.87 %), el aislado de hongos 6 (11.46 %) y el aislado de hongos 4 (10.71 %). Dos de ellos (aislados de hongos 3 y 4) pertenecen al género *Aspergillus*, mientras que el otro (aislado de hongos 6) es una especie de *Penicillium*.

Fazli *et al.* (2015), argumentan un estudio, del aislamiento de hongos tolerantes de sitios contaminados con cadmio en la provincia de Zanjan, Irán. Se determinó la tolerancia al cadmio y la capacidad de biorremediación de siete aislamientos como *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus fumigatus*, *Paecilomyces* sp.9, *Paecilomyces* sp. G, *Terichoderma* sp, *Microsporum* sp, *Cladosporium* sp. Los hongos más tolerantes, *Aspergillus versicolor*, mostraron un índice de tolerancia de 0,8 en 100 mg/l de medios de agar cadmio.

Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014), reportan sobre la eliminación de iones de cadmio por tres especies de *Trichoderma* (*T. asperellum*, *T. harzianum* y *T. tomentosum*) a diferentes pH (5, 7, 9) y diferentes concentraciones de Cd (1, 100, 200). ppm) en medios líquidos que contienen extracto de papa y dextrosa, cultivados en medios contaminados con Cd y la cantidad restante de iones metálicos medidos después de dos meses de crecimiento, utilizando la absorción atómica. Las tres especies de hongos podían reducir

la cantidad de Cd en los tres niveles de pH; encontrando eliminación variada según la especie y las condiciones culturales. Donde *T. asperellum* con una eficacia de eliminación máxima de cadmio (76,17%) (10,75 mg/g, en peso seco de hongos).

### 2.1.2. Nacionales

Ortega, Yomaira, and Valdez Álvarez (2017), evaluaron sobre la capacidad de remoción de cadmio en soluciones acuosas por acción de *Chlorella* sp. a una concentración de  $25 \times 10^6$  células/ml inmovilizada en perlas de alginato y perlas de alginato sin *Chlorella* sp., como testigo. Todos los tratamientos se establecieron por triplicado con aireación constante durante 80 min, con cuatro concentraciones de cadmio a: 0 ppm, 20 ppm, 100 ppm y 200 ppm, tomando muestras del remanente líquido cada 10 min, finalmente analizaron en el equipo de absorción atómica. Determina que *Chlorella* sp. inmovilizada removió 59,67 % de metal cadmio a una concentración inicial de 20 ppm dejando en la solución un remanente de 40,33 %; que fue mejor resultado de remoción, en comparación con los tratamientos a 100 ppm, y 200 ppm de cadmio con presencia y ausencia de la microalgas.

Sanga Flores (2016), menciona sobre la optimización de parámetros y evaluación del proceso de biosorción de plomo por medio de biomasa inactiva bacteriana como sorbente, aislando de sedimentos de lixiviados del botadero de Haqira de Cusco. Aislaron cinco cepas resistentes a una concentración  $> 93,8$  mg/l de Pb (BMA-01, BMA-02, BMA-03, BMA-04 y BMA-05) todas Gram negativas. Todos fueron sometidas a concentraciones crecientes de Pb (0; 62,56; 187,7; 375,35; 500,47; 625,59; 688,15; 750,71; 813,36; 875,82 mg/l) para evaluar su resistencia a este metal. Seleccionó la cepa BMA-04, por su mayor resistencia (crecimiento a  $> 875,82$  mg/l Pb). Las pruebas se desarrollaron en soluciones acuosas de Pb, bajo condiciones de agitación (130 rpm) y 18 °C. Que analizaron en espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Los parámetros optimizados fueron: pH

5, biomasa 1 g/l y tiempo de contacto 180 minutos. Dichos parámetros se establecieron que ( $Q_{max}$ ) es 80,64 mg de Pb/gramo de biomasa bacteriana inactiva.

Olórtegui Muñoz (2015), sugiere la técnica de biorremoción, para evaluar la biorremoción de  $Cd^{2+}$  usando microalgas verde amarillas dulceacuícolas del grupo Diatomeas. El crecimiento se determinó por cuenta directa, revelando que a bajas concentraciones de  $Cd^{2+}$  (5, 10, 160 mg/l) permite el desarrollo de microalgas *Scenedesmus obliquus*. Sin embargo, no resiste periodos largos de exposición a concentraciones altas (625, 1,000 y 2,500 mg/l). Observaron una rápida remoción de cadmio durante los dos primeros días de incubación, analizándose en el equipo de espectrofotómetro de absorción atómica, existiendo una diferencia entre las concentraciones iniciales de cadmio; en tres de las muestras instaladas apreció que la biorremoción en Microalgas era eficiente para 5, 10, 160 mg/l, pero en las otras concentraciones de  $Cd^{2+}$  (625, 1,000 y 2,500 mg/l) la reducción de  $Cd^{2+}$  no era la misma como al inicio de las evaluaciones, en tanto que a concentraciones de 2,500 mg/l de  $Cd^{2+}$  las microalgas no llegan a crecer produciéndose la muerte al tercer día de incubación.

Maldonado, Luque, and Urquizo (2012), manifiestan sobre la remoción de plomo en aguas simuladas con 30 ppm Pb (II), utilizando como biosorbente *Pennisetum clandestinum* Hochst (Kikuyo) preparado mediante un proceso de hidrólisis ácida seguido de una hidrólisis básica. En el proceso de adsorción se estudiaron las variables independientes: dosis del biosorbente, velocidad de agitación y pH, y como variable respuesta la capacidad de adsorción ( $Q$ ). Se logró una capacidad máxima de adsorción ( $Q_{max}$ ) de 139,35 mg/g con 0,06 g de dosis de biosorbente (Kikuyo), 100 rpm de agitación y pH 6. Se determinó el modelo matemático que relaciona ( $Q$ ) con la variable más significativa, dosis del biosorbente ( $D_0$ ). La cinética de adsorción, obedece a un modelo de primer orden.

### 2.1.3. Locales

Laricano Flores (2018), alude sobre la comparación de concentraciones en vermicomposta para la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos y contrastar el efecto del tiempo de aplicación de la vermicomposta. El trabajo de investigación experimental fue comparativo, el análisis de mercurio realizó por el método de espectrofotometría de absorción atómica. La disminución de mercurio total fue de 73 %, es decir de 167.5 mg Hg/Kg a 16.28 mg Hg/Kg. Dicho comportamiento se hace evidente en todos los tratamiento de 167.5 mg Hg/Kg, después de 15 días TA-1 = 108.80 mg Hg/Kg, TB-1 = 60.59 mg Hg/Kg, TC-1 = 64.76 mg Hg/Kg, 30 días TA-2 = 63.07 mg Hg/Kg, TB-2 = 59.10 mg Hg/Kg, TC-2 = 57.56 mg Hg/Kg, 45 días TA-3 = 16.15 mg Hg/Kg, TB-3 = 15.57 mg Hg/Kg, TC-3 = 17.12 mg Hg/Kg.

Juli and Susana (2017), proponen el empleo de la técnica de vermicomposteo, utilizando lombriz de la especie *Eisenia fétida* para la remoción de lodos residuales de origen urbano de la Laguna de Estabilización Secundaria el Espinar-Puno. Elaboraron un sistema de vermicomposteo con 4 muestras, cada muestra con 1 Kg de 100 % lodo residual, a cada muestra introdujo 5 lombrices adultas, las concentraciones de Cadmio y Mercurio se analizaron, mediante la técnica ICP-AES (Espectrometría de Emisión Atómica), inicialmente el lodo residual contenía cadmio un promedio de 1.021 mg/kg y la reducción fue a un promedio de 0.148 mg/kg, En mercurio inicialmente contenía un promedio de 0.512 mg/kg y la reducción fue un promedio de 0.109 mg/kg. Finalmente, los resultados obtenidos indican una remoción con promedio inicial de 1.762 mg/kg de cadmio y después del vermicomposteo tenemos un promedio de remoción de 0.09 mg/kg, en mercurio inicialmente se tuvo un promedio de 0.513 mg/kg y tuvo una remoción final de 0.037 mg/kg, el resultado final del vermicomposteo analizaron después de los 90 días.



Leon Hanco (2017), aporta sobre la remoción de Hg(II); con biomasa de pulpa de Waraqo (*Echinopsis maximiliana*), del cual se preparó un bioadsorbente, para ello se activó la biomasa en dos etapas de hidrólisis, primero con solución de HNO<sub>3</sub> (0,3 N) y posteriormente con la solución alcalina de NaOH (0,9 M); la muestra se tomó de agua residual de la poza de sedimentación artesanal de lunar de oro, este estudio se desarrolló con un peso del material bioadsorbente de 0,4 g en un volumen de 150 ml, con una concentración inicial de 17,125 mg/l de Hg (II), los parámetros óptimos de este proceso fueron pH 12 y tiempo máximo de absorbancia de 120 min., reduciendo a 0,288 mg/l de Hg (II), equivalente a 98,318 % de adsorción; se determinó la capacidad de adsorción, logrando adsorber como máximo 6,314 mg/g Hg (II); para la cinética de adsorción de Hg (II), el mejor modelo que se ajusta es el modelo cinético de Pseudo segundo orden con un ajuste de 99,81 %, con una velocidad de adsorción de 0,159 mg/1 min/1.

Choque Yucra (2017), da a conocer sobre la capacidad de remoción de los iones Cadmio (II) Plomo (II) y Níquel (II), para ello extrajeron lodos de la parte norte de la planta de estabilización de aguas residuales, para su obtención de resultados de metales pesados, analizaron mediante el Mass. Spectrometer (ICP-MS). A los contenidos de metales pesados aplicaron la solución acuosa de la semilla de tarwi por bioprecipitación para extraer los metales pesados. La humedad de lodos fue 81.52 %, el pH de la solución inicial fue de 9.3 y después de cinco días el pH fue de 5.3; para remoción de Cadmio (II) inicial, 6,05 mg/kg, después de adsorción bajo a 1,0 mg/kg, el porcentaje de remoción fue 83,47 %. Para Ni inicial de 6,8 mg/kg bajo a 6,2 mg/kg resulto una disminución baja de los otros, su porcentaje de remoción fue 8,82 %, Plomo inicial de 342.3 mg/kg, la capacidad de adsorción fue 85,45 mg/kg, con un porcentaje de remoción es 75,02 %. La cinética de adsorción fue bastante rápida mediante la bioprecipitación orgánica de alcaloides de tarwi.

## 2.2. MARCO LEGAL

### 2.2.1. Estándares de calidad ambiental

El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos, (Ley General del Ambiente LEY N° 28611, 2005).

**Tabla 1:** Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo – Perú y los Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental

Nombre químico	ECA Peruano suelo agrícola (mg/kg)	CEQG Canadienses suelo agrícola (mg/kg)
Antimonio (Sb)	-	20
Arsénico (As)	*50	*12
<b>Cadmio (Cd)</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>
Cromo (Cr)	-	64
Cobre (Cu)	-	63
Plomo (Pb)	70	70
Mercurio (Hg)	6.6	6.6
Molibdeno (Mo)	-	5
Níquel (Ni)	-	50
Plata (Ag)	-	20
Talio (Tl)	-	1
Estaño (Sn)	-	5
Zinc (Zn)	-	200

*Fuente* (ECA: Estándares de calidad Ambiental.) Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) (Normas de Calidad Ambiental Canadienses).

### 2.2.2. Límites máximos permisibles para el suelo según las normas de Perú

El Límite Máximo Permissible - LMP, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos, (Art.,32.1, Identificación Ley General del Ambiente 2005).

### 2.2.3. Estándares de calidad para suelos (ECAS)

Los estándares de calidad para suelos se aprobaron mediante la resolución Ministerial N° 182-2017-MINAM, (ECA) y límites máximos permisibles (LMP), se define al estándar de calidad ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Aprobada mediante política ambiental decreto supremo N° 002-2013-MINAM, consignada entre los lineamientos de gestión integrada de la calidad ambiental, referidos al control integrado de la contaminación, el de contar con parámetros de contaminación para el control y mantenimiento de la calidad del suelo.

**Tabla 2:** Estándares de Calidad Ambiental para Suelo del Ministerio de Ambiente

Parámetros en mg/kg PS	Usos del Suelo			Métodos de ensayo (7) y (8)
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021

Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW- AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente: (011-2017-MINAM, 2017)

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección de los Estados Unidos).

DIN: German Institute for Standardization.

**Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad, (011-2017-MINAM, 2017).

**Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas, (011-2017-MINAM, 2017).

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. Metales pesados

Los metales pesados; son todos aquellos que tienen una densidad mayor a  $5 \text{ g/cm}^3$ , poseen una conductividad eléctrica alta, son dúctiles, la mayoría son elementos de transición con capacidad para formar compuestos que pueden o no sufrir actividad redox. De los 902 elementos que se encuentran naturalmente 21 son no metales, 16 son metales ligeros y los tres restantes, incluyendo al Arsénico, son metales pesados. Se incluye el cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, cobalto, mercurio, níquel, plomo, aluminio y selenio, (Welch & Shuman, 1995).

Se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, la plata, entre otros, los que constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos de ellos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, organismos del suelo, plantas y animales, incluido el hombre, (Spain & Alm, 2003).

### 2.3.2. Cadmio

El cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos. La contaminación ambiental por cadmio ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los ecosistemas, (Pinto, Mota, De Varennes, & Pinto, 2004).

Es un metal dúctil, de color blanco con un ligero matiz azulado, considerado como uno de los metales pesados con mayor relevancia, ya que se encuentra asociado frecuentemente a los depósitos de zinc, (Pasquali, Pelusi, Genghini, Cacciari, & Gambineri, 2003).

El comportamiento del cadmio incorporado al suelo; está en función del tipo de reacción química y en los diversos procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo. Las principales reacciones entre los metales y los componentes del suelo son las de adsorción, precipitación, formación de complejos, (Ahumada, Mendoza, Navarrete, & Ascar, 1999).

En las plantas, los síntomas más generales de toxicidad por cadmio son atrofia y clorosis. La clorosis puede aparecer debido a una interacción directa o indirecta con el hierro, el zinc, fósforo y manganeso, los efectos del cadmio varían a nivel de especie, e incluso varietal, en general el cadmio interfiere en la absorción y transporte de varios elementos (Ca, Mg, P, K) y del agua, (Das, P. Samantaray, & Rout, 1997).

Basureros a cielo abierto es la disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales, pueden contener residuos peligrosos, representa una seria amenaza de contaminación a los suelos y cuerpos de agua, acumulando metales como (Pb, Cd, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Ba, Hg), compuestos inorgánicos, compuestos aromáticos y poliaromáticos, hidrocarburos aromáticos y agroquímicos, (Morral, 2003).

### 2.3.3. Origen de la contaminación del suelo por cadmio

El origen de los metales que se encuentran en el ambiente se divide en dos categorías principales: antropogénico y natural. Los metales encontrados en las aguas de desecho pueden provenir de las siguientes fuentes: 1) aguas residuales domésticas, 2) aguas residuales industriales, 3) efluentes agotados o de escurrimiento de procesos industriales, 4) de la atmósfera y 5) de la litósfera, (Silva, Campos, & Gutiérrez, 2000).

#### A) Origen natural

La geodisponibilidad de un elemento o compuesto químico de un material terrestre es aquella porción de su contenido total que puede liberarse a la superficie o cerca de la superficie (o biosfera) por procesos mecánicos, químicos, o biológicos. Por tanto, los metales pesados geodisponibles son los que pasan de la roca madre a los suelos tras ser liberados por meteorización, y constituyen, junto a otros procedentes de emisiones volcánicas y lixiviadas de mineralizaciones, los denominados como geogénicos, (Alloway, 2012).

En lo ambiental, el cadmio es un elemento relativamente raro en la litosfera. Por afinidad química, se le encuentra junto al zinc, en proporción muy variable. Las principales fuentes de contaminación son: la minero metalurgia de metales no ferrosos, la metalurgia del hierro y acero, (Ramírez, 2002).

#### B) Origen antropogénico

El cadmio de origen antropogénico generalmente está presente en los horizontes superficiales siendo las principales fuentes antropogénicas de metales pesados en suelos, (Marcano, 2011).

- **Residuos domésticos:** aproximadamente el 10 % de la basura está compuesta por metales. Su enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la



incineración puede contaminar la atmósfera al liberar metales volátiles y como consecuencia contaminar los suelos. Por otra parte, las basuras no controladas obviamente son una importante fuente de contaminantes para el suelo y las aguas superficiales, (Alloway, 2012).

- **Actividades agrícolas:** riego, fertilizantes inorgánicos, pesticidas, estiércol, enmiendas calizas y, sobre todo, lodos residuales de depuradoras.

- **Actividades industriales:** las principales industrias contaminantes son las fábricas de hierro y acero, que emiten metales asociados a las menas de Fe y Ni. La fabricación de baterías produce cantidades considerables de Pb. Las industrias de productos químicos, fármacos, pigmentos y tintes, etc. Producen distintos tipos de contaminantes. En general las áreas altamente industrializadas incluyen As, Cd, Hg y Pb, (Alloway, 2012).

#### 2.3.4. Movilización de cadmio en los suelos

Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos, (Pagnanelli, Furlani, Valentini, Vegliò, & Toro, 2004).

La movilización natural de las concentraciones de Cd que se encuentran en la corteza terrestre y el manto se da principalmente por erupciones volcánicas, temperización de la roca madre o de los suelos, de la quema de vegetación y por la producción de aerosoles que provienen del océano. La estimación de la cantidad de cadmio que se da por emisiones naturales debe de ser cuidadosamente medido, la mayor producción es antropogénica. Se estiman cerca de 1400 toneladas de cadmio producido por fuentes naturales por año, de las cuales 60 % se atribuye a las erupciones volcánicas. Escurrimientos del continente al océano (por temperización de las rocas) de Cd son cerca de 500 toneladas por año, (Cullen & Maldonado, 2013).

La movilización del Cd ocurre indirectamente del proceso de minerales no ferrosos, combustión de combustibles fósiles, incineración de basura o directamente de la manufactura de productos con Cd, su uso y disposición. La producción mundial de Cd está atada al proceso de minerales primarios ricos en Pb, Cu y principalmente Zn, cuya demanda y producción difiere enormemente la del cadmio. La manufactura de baterías Níquel-Cadmio sigue siendo uno de las principales aplicaciones industriales del Cd, (Cullen & Maldonado, 2013).

### 2.3.5. Usos del cadmio

Usos son tan diversos y su larga vida media no permiten el reciclaje, por lo que se acumula progresivamente en el ambiente, (Ramírez, 2002).

- Como pigmento en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, vidrios, tintas de impresión, caucho, lacas, etc.
- En aleación con cobre, aluminio y plata.
- En la producción de pilas de cadmio-níquel.
- Como estabilizador de termoplásticos, como el PVC.
- En fotografía, litografía y procesos de grabado.
- Como “endurecedor” de ruedas y llantas de automóvil.
- En fabricación de foto - conductores y células solares fotoeléctricas.
- El electroplatinado.
- En fabricación de “controles” de reactores nucleares.

El cadmio es producido como un subproducto inevitable de la refinación del zinc (o de vez en cuando plomo), puesto que estos metales ocurren naturalmente dentro del mineral crudo. Sin embargo, una vez que esté recogido el cadmio es relativamente fácil de reciclar, (Lenntech, 2016).

El uso más significativo del cadmio está en baterías de níquel/cadmio, como fuentes de energía recargables o secundarias que exhiben alta salida, vida larga, mantenimiento bajo y alta tolerancia a la tensión física y eléctrica. Las capas del cadmio proporcionan buena resistencia a la corrosión, particularmente en altos ambientes de tensión tales como usos marinos y aeroespaciales donde se requiere la alta seguridad o confiabilidad; la capa se corroe más fácilmente si está dañada <https://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>, (Lenntech, 2016).

### **2.3.6. Efecto del metal cadmio**

Dentro de los elementos más contaminantes, se encuentra el Cd, metal pesado de color blanco con ligero matiz azulado, blando, dúctil y resistente a la corrosión, ubicado en el grupo IIB de la tabla periódica de elementos químicos, tiene como característica número atómico 48, masa atómica 111.4 y densidad relativa de 8,65, además de ser insoluble en agua y en disolventes orgánicos, (González, Marañón, Espinosa, & Argota, 2004).

#### **A) El efecto del cadmio en el suelo**

Cuando las concentraciones del Cd en el suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo de microorganismos y amenazar a todo el ecosistema del suelo. El Cd puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por los biosólidos. Los biosólidos ricos en Cd pueden contaminar las aguas superficiales y los suelos, (Lue-Hing, Zenz, & Kuchenrither, 1992).

Cuando el Cd está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso. En los suelos que son ácidos, aumenta la absorción de Cd por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cd puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden acumular grandes cantidades de Cd en sus riñones debido a esto. Las

lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por Cd. Pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Cuando las concentraciones de Cd en suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo por los microorganismos y amenazar a todo el ecosistema, (Martín del Campo *et al.*, 2002).

### **B) Efectos causados por el Cd a la salud humana**

Se ha demostrado que el Cd puede ocasionar problemas renales en los seres humanos y puede concentrarse en el hígado, riñones y páncreas, (Arboleda Valencia, Soto, & Arnul, 2000).

Además del tracto gastrointestinal y el pulmón, es el riñón el órgano más afectado por exposición crónica al cadmio. Se ha observado que quienes trabajan en fábricas expuestos a niveles altos de cadmio en el aire son propensos a tener enfisema, además de que la exposición prolongada ocasiona cáncer pulmonar, (Arboleda Valencia *et al.*, 2000).

#### **2.3.7. Biorremediación de metales pesados por medio de microorganismos**

La biorremediación es el uso de microorganismos para eliminar contaminantes. Para que la biorremediación se considere una tecnología aplicable para eliminar un contaminante específico, es necesario demostrar que dicha sustancia o mezcla que la contenga, es biodegradable y que el proceso de biorremediación no tendrá efectos colaterales adversos sobre el ecosistema, (Atlas & Bartha, 2002).

**Biorremediación in situ:** Se refiere al tratamiento de compuestos tóxicos en el lugar donde se ha producido la contaminación. A su vez hay dos tipos de técnicas de biorremediación in situ:

**Biomagnificación:** Adición de microorganismos naturales o manipulados genéticamente al medio, (Castillo, 2005).

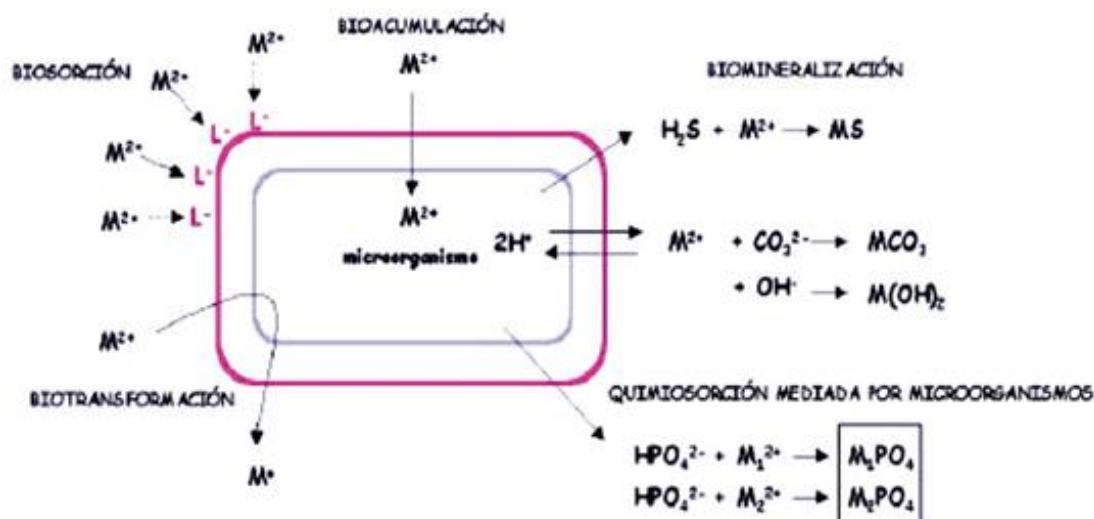
**Bioestimulación:** Modificación del medio para reforzar el crecimiento de los microorganismos. Normalmente se adicionan nutrientes, oxígeno entre otros, (Castillo, 2005).

**Biorremediación ex situ:** El tratamiento de residuos tóxicos se realiza en biorreactores. Normalmente se optimiza la biorrecuperación añadiendo nutrientes, controlando el pH y la temperatura, (Castillo, 2005).

Las propiedades de los microorganismos resistentes, tolerantes o ambos pueden ser empleados en mecanismos de movilización (biolixiviación) e inmovilización de metales pesados que incluyen: biomineralización, biotransformación quimiosorción y biosorción que a continuación se detallan, (Sanga Flores, 2016).

### **Inmovilización de metales pesados**

Viene a ser el pasaje de un estado soluble inicial en fase acuosa a uno insoluble final en fase sólida. A su vez existen en la naturaleza diferentes mecanismos por los cuales la inmovilización del metal puede llegar a ocurrir, (Vullo, 2003).



**Figura 1:** Mecanismos de interacción entre metales pesados y microorganismo  
Fuente: (Lovley, 2000; Vullo, 2003)

### 2.3.7.1. Biomineralización

Este mecanismo aparece por el funcionamiento de una bomba que expulsa el metal tóxico presente en el citoplasma hacia el exterior celular en contracorriente a un flujo de  $H^+$  hacia el interior celular. Esto produce una alcalinización localizada sobre la superficie celular externa y por lo tanto la precipitación del metal pesado. Otra forma de precipitar los metales es a través de la formación de sulfuros o fosfatos, como resultado de alguna actividad enzimática celular, (Gadd G. M., 2000; Lovley, 2000; Vullo, 2003).

### 2.3.7.2. Biotransformación.

Este es un proceso que involucra un cambio químico sobre el metal pesado, como por ejemplo en el estado de oxidación o metilación. Esta transformación biológica de los metales pesados que resultan tóxicos mediada por enzimas microbianas puede dar como resultado compuestos poco solubles en agua o bien compuestos volátiles, (Lovley, 2000; Srinath, Verma, Ramteke, & Garg, 2002).

### 2.3.7.3. Quimiosorción

Dentro de este término se pueden describir aquella clase de reacciones en donde los microorganismos biomineralizan un metal, formando un depósito primario. Este depósito primario funciona como núcleo de cristalización, con la subsecuente deposición del metal de interés, promoviendo y acelerando el mecanismo de mineralización, (Lovley, 2000).

### 2.3.7.4. Biosorción

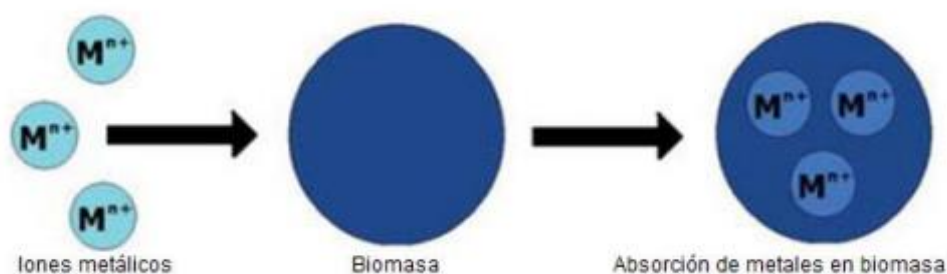
La biosorción está basada en el empleo de ciertos tipos de biomasa (algas, hongos, bacterias). Las principales ventajas de este proceso sobre las técnicas de tratamiento convencionales son: bajo costo, alto rendimiento, reducción de productos químicos y lodos biológicos, no se requiere nutrientes adicionales, regeneración de biosorbente y la posibilidad de recuperación de metales, (Volesky, 1990).

El proceso de biosorción involucra una fase sólida (biosorbente que es el material biológico) y una fase líquida (disolvente que es normalmente agua) que contiene una especie para ser absorbida (sorbato, los iones de metal). Debido a la mayor afinidad del sorbente por el sorbato de las especies, este último se siente atraído y atado allí por diferentes mecanismos. El proceso continúa hasta que se establece el equilibrio entre la cantidad de especies de sorbato de sólidos. El grado de afinidad del absorbente para el sorbato determina su distribución entre las fases sólida y líquida, (Reyes, Daniel, Córdova, de Jesús, & Suárez Herrera, 2006).

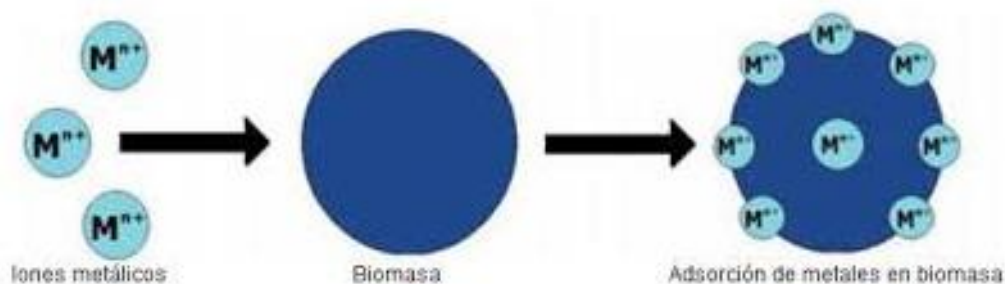
Los dos mecanismos diferenciados para la captación de los metales pesados por parte de la biomasa son, (Reyes *et al.*, 2006):

**Bioacumulación:** Basada en la absorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células de biomasa vivas Figura 2.

**Bioadsorción:** Basada en la adsorción de los iones en la superficie de la célula. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática Figura 3.



**Figura 2:** Bioacumulación de Metales Pesados  
*Fuente:* (Reyes *et al.*, 2006)



**Figura 3:** Bioadsorción de Metales Pesados  
*Fuente:* (Reyes *et al.*, 2006)

#### 2.3.7.5. Mecanismos de biosorción

Existen diferentes formas por las que el metal puede ser capturado por la pared celular del biosorbente, pero esto dependerá de la complejidad que presente y de la especie metálica a biosorber. El o los mecanismos que se llevan a cabo en el proceso de biosorción de metales pesados, en muchas ocasiones son difíciles de explicar porque puede tener lugar simultáneamente más de uno, (Ho *et al.*, 2008).



### **a. Microprecipitación**

“La microprecipitación de metales pesados tiene lugar cuando la solubilidad del metal alcanza su límite. Esto puede ocurrir debido a las condiciones locales (superficialmente o en el interior del biosorbente), que se originan gracias a desviaciones locales de determinados parámetros como el pH”, “Pero la microprecipitación se puede producir también por una interacción entre el metal y la superficie celular a través de la formación de un complejo, seguida de su hidrolización y la precipitación del metal en forma de una especie hidrolizada en la pared celular” (Veglio & Beolchini, 1997).

### **b. Complejación**

“La retirada de metales de una disolución puede tener lugar a través de un mecanismo de formación de complejos en la pared celular, después de haberse llevado a cabo la interacción entre el metal y los centros activos. El metal se puede unir a estos centros a través de ligaduras simples o a través de quelación” (Martín-Lara, 2008).

La quelación implica inmovilizar un ion metálico con ligandos de bajo peso molecular para crear un complejo o una molécula químicamente estable. Algunos estudios revelan que la resistencia de los hongos de la pudrición blanca y café de la madera a sales de metales pesados, se debe al desarrollo de sideróforos o quelantes, entre los que se destacan el catecol y el ácido oxálico, (Natividad & Luis, 2014).

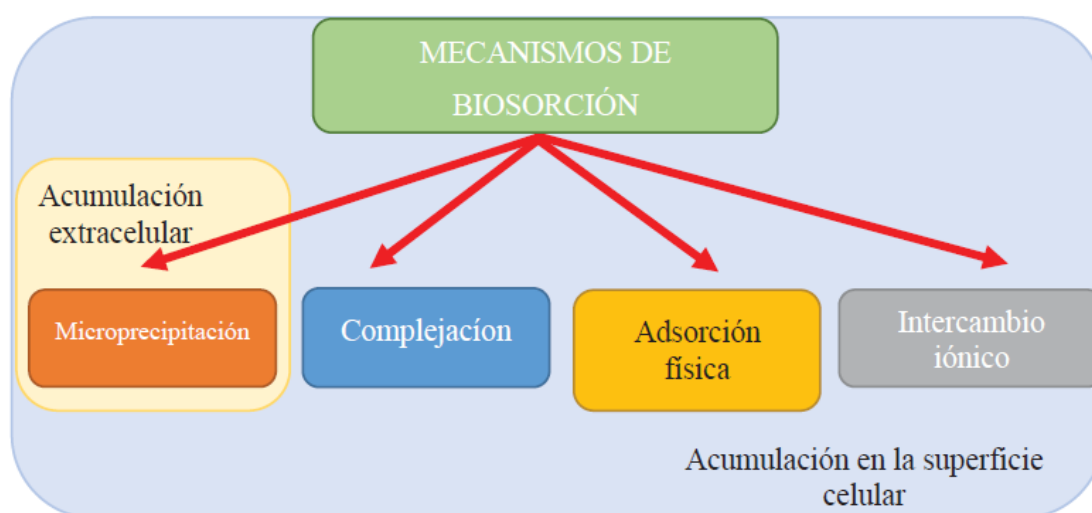
### **c. Adsorción física**

“En esta categoría se incluyen los fenómenos asociados con la presencia de fuerzas de Van der Waals, por lo que las fuerzas de atracción de los metales a la superficie del sólido son relativamente débiles” (Martín-Lara, 2008).

#### d. Intercambio iónico

“Las paredes celulares de la biomasa en general, se componen de polisacáridos como estructura básica de constitución. Las propiedades para el intercambio iónico de los polisacáridos naturales han sido estudiadas con detalle, y se ha establecido fielmente la propiedad de que los iones metálicos divalentes se intercambian con ciertos iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) de los polisacáridos” (Martín-Lara, 2008).

En procesos convencionales, este tratamiento permite reducir concentraciones de metales, del orden de mg/l, y se utiliza como tratamiento secundario después de la precipitación en sistemas de potabilización, cuando las concentraciones iniciales de metal no son excesivamente altas, porque su costo de inversión y de operación es elevado, (Hidalgo S., & Martínez, 2004).



**Figura 4:** Mecanismos ligados a la biosorción

*Fuente:* (Martín-Lara, 2008).

#### 2.3.8. Biosorción de metales pesados por la biomasa de hongos

La interacción de los hongos con los metales pesados ha desencadenado respuestas adaptativas, ya que presentan tolerancia a altas concentraciones a estos y una adaptación

fisiológica muy rápida; como parte de sus mecanismos se encuentran involucrados fisiológicos, genéticos y enzimáticos principalmente, (Villanueva Vega, 2015).

Muchas especies de hongos muestran potencial para la eliminación de cadmio. *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Giocladium roseum*, *Penicillium spp.*, *Mucor rouxii*, *Helminthosporium sp.*, como la eliminación del metal en solución acuosa. Por lo tanto, estos datos muestran la capacidad de eliminar la célula de iones metálicos para la biomasa celular a través de mecanismos que no dependen del metabolismo activo (De Freitas Lima *et al.*, 2011). Por otra parte el género *Trichoderma* es genéticamente muy diverso con varias capacidades entre diferentes cepas con importancia agrícola e ambiental, (Ahamed & Vermette, 2009; Contreras-Cornejo, Macías-Rodríguez, Cortés-Penagos, & López-Bucio, 2009; Chulalaksananukul, 2008; de Azevedo, De Marco, & Felix, 2000; Lorito, Woo, Harman, & Monte, 2010).

#### **a. Mecanismos fisiológicos y genéticos**

La supervivencia de los hongos depende de sus adaptaciones intrínsecas y desde luego a las propiedades fisicoquímicas del medio ambiente. Posiblemente esta adaptación sea a través de mecanismos fisiológicos y genéticos, activados o inducidos por metales, que controlan determinados eventos bioquímicos, (Baldrian & Gabriel, 2002).

Estos mismos hongos producen una envoltura hifal extracelular compuesta principalmente por polisacáridos (B1-3 y B1-6 glucanos); que atrapan los iones metálicos, ofreciendo así una primera barrera contra el metal, (Baldrian & Gabriel, 2002).

## **b. Mecanismos enzimáticos**

Los hongos de la podredumbre blanca tienen un sistema enzimático el cual está comprendido por las enzimas Lignina peroxidasa, que por síntesis endógena de  $H_2O_2$ , oxida veratryl alcohol, a la vez oxida compuestos aromáticos no fenólicos, Manganese peroxidasa que oxida componentes fenólicos de la lignina, mediante la reacción de oxidación del  $Mn^{2+}$  a  $Mn^{3+}$ , la cual es dependiente del  $H_2O_2$  y Lacasa, una fenol oxidasa con cobre, que oxida anillos de la lignina, (Pointing, 2001).

### **2.3.9. Factores que afectan la Bioadsorción**

El proceso de adsorción se ve influenciado por diferentes factores como el pH, la temperatura, la naturaleza del adsorbente, el tipo y concentración de adsorbato, entre otros, (Hidalgo J., Castro, & Gonzalez, 2004).

#### **a. pH**

Los metales en disolución acuosa se encuentran en forma de diferentes especies químicas en función del pH de la disolución, de aquí la fuerte dependencia que existirá entre el pH de la disolución y la disponibilidad de extracción del metal, ya que, según el tipo de suelo y cultivo, los mecanismos de sorción varían, (Castro, 1998).

Los metales son sustancias electropositivas ya que ceden cargas positivas a la superficie del coloide, el cual va aumentando el número de cargas negativas para lograr la adsorción, lo cual se facilita en soluciones ácidas. En una solución alcalina los metales pesados tienden a formar hidroxocompuestos, los cuales posteriormente se precipitan. El pH de una solución también se ve afectado por las propiedades químicas del material y la actividad de (carboxílico, fosfato y amino) en la pared celular que están en combinación con iones metálicos, (Navarro, Ramos, Campos, & Maldonado, 2006).

### **b. Microorganismos**

El estudio de las interacciones entre los metales pesados y los microorganismos se ha centrado en los mecanismos de transformación y conversión de iones metálicos mediante la reducción en diferentes ambientes contaminados, en la selección y el uso de organismos resistentes como indicadores de toxicidad para otras formas de vida, así como en el análisis, (Kapoor & Viraraghavan, 1995).

Los mecanismos de resistencia de los microorganismos en presencia de metales se pueden clasificar en dos grupos: dependientes de metales e independientes de metales (G. Gadd, 1990). La alta proporción de microorganismos en la superficie y su capacidad para desintoxicar metales son algunas de las razones por las que se consideran una alternativa potencial a las resinas sintéticas para la remediación de soluciones diluidas de metales y desechos sólidos, (Magyarosy *et al.*, 2002).

La pared celular de los hongos consiste en polisacáridos y proteínas que ofrecen múltiples sitios activos para la unión de metales. Los polisacáridos que se encuentran en las paredes celulares de los hongos son la quitina y el quitosano, que se ha demostrado que secuestran iones metálicos. La biosorción pasiva es un proceso reversible de desorción y adsorción. La elución se puede hacer por otros iones, agentes quelantes o ácidos. Por el contrario, la biosorción activa se produce cuando los iones metálicos penetran la membrana celular y entran en las células, (Wang J. & Chen, 2009).

### **c. Concentración inicial de metal**

Para determinar la efectividad de un material sorbente hay que conocer cuál es la cantidad máxima de metal (la capacidad máxima) que puede adsorber. Los materiales establecen diferentes equilibrios de extracción cuando se ponen en contacto con concentraciones

distintas de metal. Éstos equilibrios dependen en todos los casos de las condiciones experimentales y son diferentes para cada temperatura, son equilibrios isotérmicos. Idealmente los modelos teóricos que se utilizan para describir los resultados experimentales deben ser capaces de predecir los procesos de sorción a bajas y altas concentraciones, (Hidalgo S. & Martínez, 2004).

#### **d. Temperatura**

La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado. La cantidad de material que se acumula depende del equilibrio dinámico que se alcanza entre la tasa a la cual el material se adsorbe a la superficie y la tasa a la cual se puede liberar, y que normalmente dependen de forma importante de la temperatura, (Carrera, 2008).

#### **e. Espectrometría**

Surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda. Por tanto, la espectroscopia puede referirse a interacciones con partículas de radiación o a una respuesta a un campo alternante o frecuencia variante ( $\nu$ ). Una extensión adicional del alcance de la definición añadió la energía ( $E$ ) como variable, al establecerse la relación  $E=h\nu$  para los fotones. Un gráfico de la respuesta como función de la longitud de onda (o más comúnmente la frecuencia) se conoce como espectro. La espectrometría es la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de especies determinadas, (Morral, 2003).

#### **f. Determinación de la eficiencia de remoción**

La siguiente ecuación (1) se usó para determinar la eficiencia de remoción de metal por los hongos estudiados, (Mohsenzadeh & Shahrokhi, 2014).

$$R = \left( \frac{P_o - P_e}{P_o} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde, R es el porcentaje de eliminación de metal por la biomasa de hongos,  $P_o$  es la concentración inicial de iones metálicos (ppm) y  $P_e$  es la concentración final de iones metálicos (ppm) en el medio experimental.

**g. Determinación de la eficiencia de remoción en función del peso seco de los hongos**

$$q = \frac{(C_i - C_e) \times V}{M} \quad (2)$$

Donde, q es la absorbancia del metal basada en el peso seco de los hongos (mg/g),  $C_i$  es la concentración inicial de metal al comienzo del experimento (ppm),  $C_e$  es la concentración del metal al final del experimento (ppm), V es el volumen de la solución (l) y M es la masa seca de hongos (g), (Mohsenzadeh & Shahrokhi, 2014).

**h. Análisis estadístico**

El análisis estadístico es un componente del análisis de datos. En el contexto de la inteligencia de negocios (BI), el análisis estadístico requiere recoger y escudriñar cada muestra de datos individual en una serie de artículos desde los cuales se puede extraer las muestras. Los científicos han utilizado métodos tradicionales para el análisis estadístico desde el muestreo de datos hasta la interpretación de resultados – por miles de años. Pero los volúmenes de datos actuales hacen que la estadística sea aún más valiosa y poderosa. Almacenaje accesible, computadoras poderosas y algoritmos avanzados han conllevado a un uso más extendido de la estadística computacional, (Montgomery, 2013).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

Consistió en la descripción del área de muestreo de suelos y el lugar de la investigación, las técnicas empleadas, para determinar las concentraciones de cadmio, en suelos del botadero Cancharani y la metodología empleada para esta investigación fue a través de investigaciones realizadas por diversos autores.

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es descriptivo cuantitativo, y experimental, por la comparación de los resultados con otras investigaciones, además corresponde a un estudio de remediación de suelos a base de hongos en tiempo real.

#### 3.2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El desarrollo de la investigación se realizó en el Mega Laboratorio, en el área Sanidad Vegetal, de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, durante los meses de enero a agosto del año 2019.

#### 3.3. ÁREA DE MUESTREO DE SUELOS

El área de muestreo de suelos está ubicado al sur oeste del cerro Cancharani a una altitud de 4000 m.s.n.m. La construcción de este vertedero antiguo data del año 1997, ocupa un área total de 10 hectáreas, con una capacidad de almacenamiento de 263,340 m<sup>3</sup>.

##### 3.3.1. Localización y ubicación política

El área de muestreo de suelos del botadero Cancharani de la ciudad de Puno.

**DEPARTAMENTO** : Puno

**PROVINCIA** : Puno

**DISTRITO** : Puno



### 3.3.2. Ubicación de los puntos de muestreo

Para llevar a cabo la investigación se definió la ubicación, tomando en cuenta el botadero a cielo abierto que contribuye la contaminación del suelo con Cadmio, la ubicación de los puntos se dividió en tres zonas tomando dos muestras por zona; es accedida por la vía asfaltada Puno - Moquegua a la altura del km 7.580, donde está ubicado un desvío que conduce a una vía afirmada que comunica con la comunidad campesina de Cancharani Alto y dos kilómetros más adelante con la zona de Itupallani.

#### a) Zona de seguridad del botadero

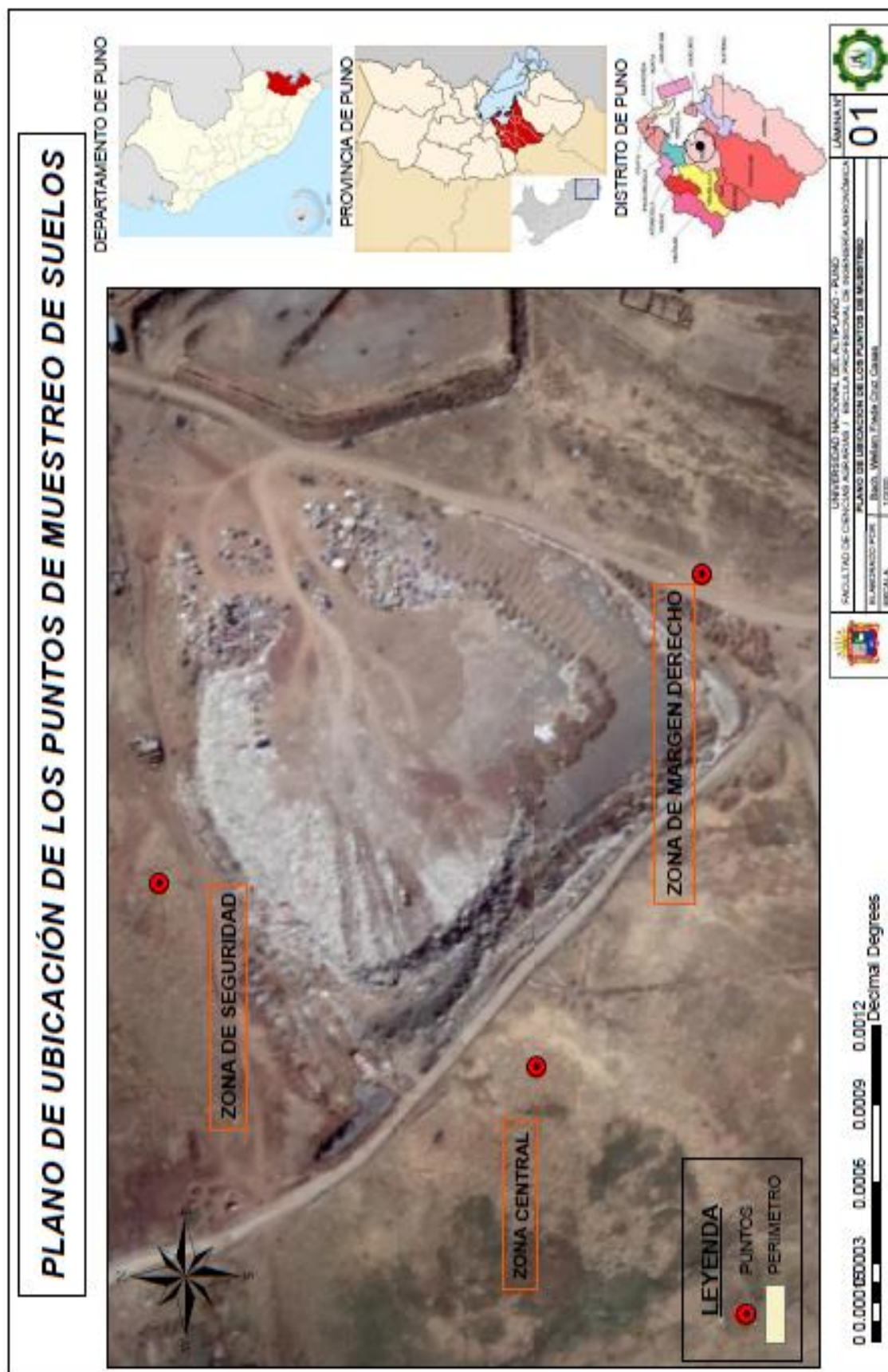
Punto 1: como se muestra en la figura 5, está ubicado a 40 metros del botadero Cancharani a una profundidad de 40 centímetros se observó con características de suelo, arcilloso, presencia de grava con un color café y se encontró algunas piedras, con las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Este: 389828, Norte: 8242768, con una Altitud: 4015 m.s.n.m.

#### b) Zona central del botadero

Punto 3: ubicado a 40 metros del botadero Cancharani a una profundidad de 40 centímetros de observación que alcanza la capa freática, con características de suelo de color oscuro, franco arcilloso y vegetación moderado como se muestra en la figura 5 con las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Este: 389750, Norte: 8242596 y con una altitud: 4002 m.s.n.m.

#### c) Zona del margen derecho

Punto 5: ubicado a 20 metros del botadero Cancharani a una profundidad de 40 centímetros se encontró residuos sólidos y un suelo homogéneo como se muestra en la figura 5 con las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) Este: 389959, Norte: 8242520 y Altitud: 4007 m.s.n.m.



**Figura 5:** Ubicación de los puntos de muestreo en los suelos del botadero  
*Fuente: elaboración propia.*

### 3.4. COMPONENTES EN ESTUDIO

Se tomaron constantes de acuerdo a experiencias de autores en investigaciones sobre remoción de iones metálicos.

**Tabla 3:** Constantes del proceso de adsorción

CONSTANTE	VALORES	FUENTE
Temperatura	28°C	Fazli <i>et al.</i> (2015)
Tiempo de agitations	15 días	Omri y Benzina 2012
Velocidad de agitación	160 rpm	Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014)
Velocidad de centrifugación	1500 rpm	Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014)
Tiempo de centrifugación	5 min	Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014)
Volumen	60 mL	Omri y Benzina 2012

*Fuente: Elaboración propia*

#### Identificación de variables

Para cada especie de hongos se evaluó las siguientes variables.

##### 1. Variable Independiente

- Concentración inicial de nitrato de cadmio (Cd).
- pH.

##### 2. Variables Dependientes

- Capacidad de remoción al (Cd) de hongos aislados a diferentes concentraciones y niveles de pH.

### **3.5. MATERIALES DEL TRABAJO**

#### **3.5.1. Materiales para el muestreo de suelo**

- Barbijos, Toca.
- Bolsa de cierre hermético.
- Cámara fotográfica.
- Casco.
- Cinta masking.
- Cinta métrica.
- Cuchillo de hoja de acero inoxidable.
- Guante de jebe.
- GPS.
- Gel de limpieza.
- Libreta de apuntes.
- Marcadores.
- Mandil.
- Una pala metálica.

#### **3.5.2. Materiales de laboratorio**

##### **a. Materiales e instrumentos generales**

- Agua destilada.
- Alcohol al 70% y 96%.
- Algodón.
- Asa siembra.
- Bandejas.
- Bolsas transparentes polipropileno.
- Cámara digital.

- Cuaderno de apuntes.
- Cucharas y cucharillas de acero inoxidable.
- Envases de plástico con capacidad de 1000 kg.
- Frascos estériles de 100 ml de capacidad con tapa rosca.
- Implementos de bioseguridad: mascarillas, barbijos, gorras, guantes, mandil, gafas y toca.
- Lápices, lapiceros, cinta de embalaje y marcador indeleble.
- Mechero Bunsen.
- Muestras de suelos.
- Papel aluminio, Papel toalla y Papel Kraft.
- Pinzas de acero inoxidable.
- Pipetas Pasteur descartables.
- Solución desinfectante de lejía al 5%.
- Gradillas.
- Soporte universal.

**b. Material de vidrio**

- Balón de 100ml.
- Erlenmeyer x 50 ml, 100 ml, 250 ml y 500 ml.
- Embudos.
- Fiolas de 50, 100, 250, 1000 ml.
- Laminas porta y cubreobjetos.
- Matraz aforado x 100, 250, 500 y 1000 ml.
- Micropipetas de 0.005 a 1 ml.
- Placas Petri de vidrio de 100mm x 15mm.
- Pipetas graduadas x 1mL, 5mL y 10 ml.

- Probeta graduada vidrio, 50, 100, 250 ml división 1 ml.
- Tubo de ensayo sin borde 16x100cm.
- Vaso precipitado de 50, 250, 500, 1000 ml.

### **c. Equipos e instrumentos**

- Agitador orbital Vortex vib.
- Autoclave BURN HAZARD – JRS.
- Balanza analítica ADAM – Nimbus.
- Cabina de bioseguridad.
- Centrifuga CENTURION.
- Computadora.
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Analyst.
- Estufa.
- Estereoscopio y Microscopio con cámara incorporada.
- Incubadora con agitación LABNET – 311DS.
- Potenciómetro Buffer de HI7004, HI7007 y HI7009.

### **d. Reactivos e insumos de medios de cultivo**

- Agar nutritivo.
- Agua destilada.
- Agua peptonada.
- Dextrosa.
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N.
- Cloranfenicol.
- Nitrato de cadmio  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , 99.8 % de pureza.
- Papa.

### 3.6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.6.1. Muestreo de suelos

La muestra de suelo, fue tomada de tres zonas a distintas distancias y profundidades del botadero cancharani de ciudad de puno. Según Fazli *et al.* (2015), tomaron muestras a una profundidad de 20 cm de las áreas de descarga de desechos.

**La muestra 1, 2:** se tomó de la zona de seguridad a una distancia de 40 metros del botadero y una profundidad de 20 y 40 centímetros los suelos se recolectó un promedio de 300 gramos intactos haciendo el hoyo con una pala metálica desinfectada.

**La muestra 3, 4:** se tomó de la zona central a una distancia de 40 metros del botadero y una profundidad de 20 y 40 centímetros los suelos se recolectó un promedio de 300 gramos haciendo el hoyo con una pala metálica desinfectada.

**La muestra 5, 6:** fue tomada de la zona de margen derecho a una distancia de 20 metros del botadero y una profundidad de 20 y 40 centímetros los suelos se recolectó un promedio de 300 gramos intactos haciendo el hoyo con una pala metálica desinfectada.

#### 3.6.2. Aislamiento de hongos de suelos del botadero Cancharani de la ciudad

##### Puno

Las cepas fúngicas se aislaron en medio PDA mediante el método de diluciones seriadas, primeramente, se procedió a pesar 10 g de suelo de cada muestra, en un matraz de 250 ml se suspendieron 10 g de muestra de suelo compuesto en 90 ml de agua destilada y se agitó durante 30 minutos en un equipo Vortex vid en agitación orbital. Los medios líquidos de agar se prepararon con la fórmula que contiene la cantidad de 250 g/l de extracto de papa, 10 g/l de dextrosa, 20 g/l de Agar y se añadió a los medios después de autoclavar durante 30 minutos 0.25 g/l de antibiótico cloranfenicol para evitar el crecimiento de bacterias. Todas las muestras se diluyeron hasta ( $10^{-3}$ ) y (1 ml) de la suspensión de suelo diluida de

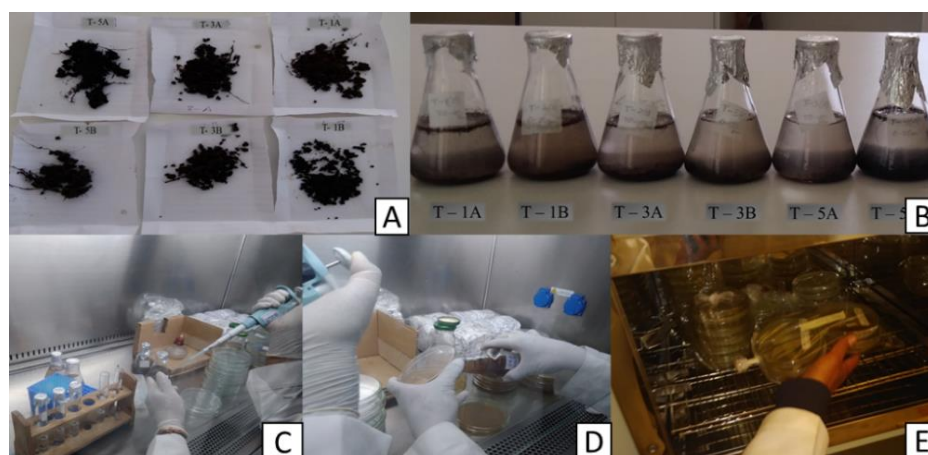


la muestra de agua se extendieron sobre las placas de agar de dextrosa (PDA) estériles. Las placas se incubaron a 28 °C en condiciones oscuras y se controlaron todos los días, durante 7 días como se observa en la figura 8 y cada una de las colonias desarrolladas se subcultivó y se aisló en placas con PDA nuevas. Los aislados purificados se mantuvieron en 20 °C para los ensayos respectivos.



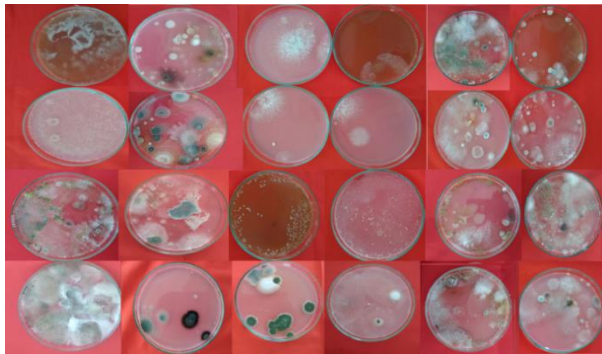
**Figura 6:** Toma de muestras para el aislamiento de hongos del botadero Cancharani de la ciudad de Puno. A) Punto de muestreo. B) Toma de muestra del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno, para el aislamiento de hongos. C) Profundidad de muestreo de suelos.

#### a) Diluciones seriadas



**Figura 7:** Proceso de diluciones seriadas. A) Muestras del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno. B) Muestras de suelos en matraces de 250 ml con 90 ml de agua destilada. C) Diluciones seriadas en tubos de ensayos con 9 ml de agua destilada, diluciones de 1: 10, 1: 100, 1: 1000. D) siembra de hongos con 1ml de la dilución 1: 1000 en medios de cultivo placas Petri. E) Incubado de hongos aislados con temperatura constante de 27 °C durante 7 días.





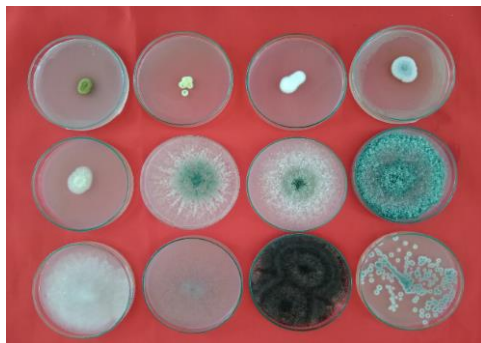
**Figura 8:** Colonias de hongos de suelo

Esquema de hongos					
T1A	T1A1	T3A	T3A1	T5A	T5A1
T1A2	T1A3	T3A2	T3A3	T5A2	T5A3
T1B	T1B1	T3B	T3B1	T5B	T5B1
T1B2	T1B3	T3B2	T3B3	T5B2	T5B3

**Tabla 4:** Esquema de las colonias de hongos de suelos del botadero

**b) Identificación de hongos purificados a nivel del genero**

Los hongos se purificaron de las placas anteriores como se muestra en la figura 8, hubo muchas colonias pero que eran de un mismo género por ello se purifico solo los hongos diferentes de sí mismos como se observa en la figura 9. Los hongos nativos resistentes se caracterizaron inicialmente por las características culturales (morfología colonial, color, apariencia de la colonia forma y borde), y para la identificación a nivel de género se utilizaron las claves de Barnett and Hunter (1998) & Barron and Peterson (1968).



**Figura 9:** Colonia de hongos purificados

Esquema de hongos			
T3B1	T1A1	T3B3	T1A3
T3A	T5A	T5B1	T1B
T1B2	T5B2	T1B3	T1B1

**Tabla 5:** Esquema de hongos purificados

**3.6.3. Detección de hongos tolerantes al cadmio**

En este estudio, en el primer caso, la solución madre de cadmio 1000 ppm se preparó a partir de sales de nitrato de cadmio ( $Cd(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$ ). Para seleccionar cepas tolerantes al Cd, se preparó medios PDA a una concentración de 100 ppm. El pH del medio de crecimiento sólido se ajustó a 7, y se autoclavó a 120 °C durante 30 minutos después se

agregó 0.25 g de cloranfenicol para evita de la contaminación en todos los experimentos en este estudio, se distribuyó los medios en placas dejando gelificar por 5 minutos. Los pequeños tapones sacados con un sacabocado de 5 mm de diámetro de agar con micelio joven del borde de los cultivos de reserva se cortaron y se transfirieron a la superficie de medio sólido con Cd. Las placas se incubaron a 28 °C durante 10 días y se inspeccionaron visualmente el crecimiento microbiano todos los días. Como se observa en la figura 10, las cepas más tolerantes al cadmio solo tres fueron seleccionados para ser sometidas a estudios de biosorción en medios líquidos.



**Figura 10:** Detección de hongos

Esquema de hongos			
T3B1	T1A1	T3B3	T1A3
T3A	T5A	T5B1	T1B
T1B2	T5B2	T1B3	T1B1

**Tabla 6:** Esquema de detección de hongos tolerantes al Cd

#### 3.6.4. Preparación del medio líquido

Después del crecimiento adecuado de los hongos en el medio sólido, se preparó medios líquidos que contenían la cantidad de 250 g/l de extracto de papa, 15 g/l de dextrosa, 0.25 g/l de antibiótico cloranfenicol (para prevenir el crecimiento de bacterias) de concentraciones (3, 100 y 200 ppm) en pH (5, 7 y 9). Se usaron ácido láctico, buffer de HI7004, HI7007 y HI7009 para ajustar el pH en los medios preparados.

#### 3.6.5. Proceso del experimento en medios líquidos de concentraciones de 3, 100 y 200 ppm en pH 5, 7 y 9

Se emplearon tres concentraciones de 3, 100 y 200 ppm, a pH que incluían 5, 7 y 9, y tres géneros de hongos *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2), fueron seleccionados para la determinación de una óptima eliminación de

condición para el cadmio. En cada experimento, uno de los factores mencionados anteriormente se eligió como variable y los otros se mantuvieron constantes. La biomasa fúngica se eliminó de los medios después de 15 días. Los medios existentes se pasaron a través del papel de filtro (Whatman No. 42) y luego se centrifugaron a 1500 rpm durante 5 min. Se desecharon los residuos y se recogió el líquido homogéneo de la cena, sin partículas de hongos. Luego, los iones metálicos restantes que existen en los medios, se determinaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica y se compararon con la concentración de metal cadmio al comienzo de los experimentos utilizando el análisis estadístico. Cabe destacar que todos los experimentos se repitieron en dos repeticiones y el promedio se informó como el resultado final. Después del experimento, de acuerdo con la capacidad de absorción del metal, se encontraron las condiciones óptimas para su uso en la remediación de ambientes contaminados con cadmio.

#### a. Determinación de la eficiencia de remoción

La siguiente ecuación (1) se usó para determinar la eficiencia de remoción de metal por los hongos estudiados (Mohsenzadeh & Shahrokhi, 2014).

$$R = \left( \frac{P_o - P_e}{P_o} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde, R es el porcentaje de eliminación de metal por la biomasa de hongos,  $P_o$  es la concentración inicial de iones metálicos (ppm) y  $P_e$  es la concentración final de iones metálicos (ppm) en el medio experimental.

**b. Determinación de la eficiencia de remoción en función del peso seco de los hongos**

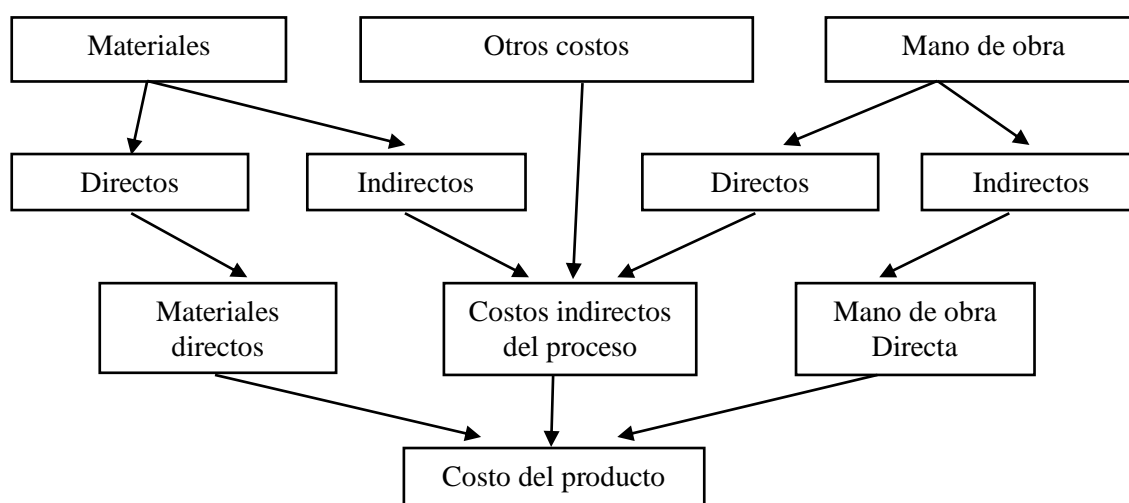
$$q = \frac{(C_i - C_e) \times V}{M} \tag{2}$$

Donde, q es la absorbancia del metal basada en el peso seco de los hongos (mg/g), C<sub>i</sub> es la concentración inicial de metal al comienzo del experimento (ppm), C<sub>e</sub> es la concentración del metal al final del experimento (ppm), V es el volumen de la solución (l) y M es la masa seca de hongos (g), (Mohsenzadeh & Shahrokhi, 2014).

**3.6.6. Determinación del costo de producción**

Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento, (Pesca, 1998).

Los sistemas de costos tradicionales han prevalecido a pesar de los grandes cambios, en este medio ambiente, los sistemas de costeo, se agregan los costos al producto con el objeto de determinar el valor de los costos directos e indirectos, (Welsh, 2000).



**Figura 11:** Elementos de costos de producción  
*Fuente:* Welsh (2000)

### 3.6.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron en un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 3(3) con dos repeticiones. Para el procesamiento de datos correspondientes a la capacidad de biorremoción de Cd en el sistema en serie de agitación continua. Para la prueba de homogeneidad de la varianza y normalidad de las combinaciones, se utilizó la prueba de homogeneidad de la varianza y normalidad de las combinaciones, se utilizó la test de Barlett (1947) y Kolmogorov-Smirnov establecidos por Fisher (1984), y recomendado por Montgomery (2013). Se utilizó la prueba de especificidad de Tukey para determinar las diferencias en la concentración de Cd residual entre las cepas estudiadas, detallándose los promedios estadísticos, descriptivo cuantitativo y experimental.

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + C_j + PC_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = es la variable de respuesta (mg/l).

$\mu$  = es la media poblacional.

$P_i$  = es el efecto de i-esima nivel de pH (5, 7 y 9).

$C_j$  = es el efecto del j- esimo nivel de concentración de cadmio en (3, 100 y 200 ppm).

$PC_{ij}$  = es la interaccion de primer orden en la i-esimo nivel de pH con el j-esimo nivel de concentración.

$E_{ijk}$  = es el error experimental.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. AISLAMIENTO DE HONGOS TOLERANTES AL CADMIO DE SUELOS CONTAMINADOS EN EL BOTADERO CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO

Para la identificación de hongos se observaron las características culturales de las colonias (aspecto, coloración, forma, borde y etc.) y las características microscópicas (tipo, tamaño de las estructuras vegetativas y de reproducción); para la identificación a nivel de género se utilizaron las claves de Barnett and Hunter (1998) & Barron and Peterson (1968). Las que se seleccionaron como hongos biorremediadores se volvieron a sembrar en medio PDA sin Cd, se incubaron a 28 °C durante 7 días para ser sometidos su estudio en medios líquidos con cadmio.

**Tabla 7:** Hongos aislados de suelos contaminados con metales pesados provenientes del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno

N°	Género	Colonias de hongos			Total de colonias
		Zona de seguridad	Zona central	Zona de margen derecho	
1	<i>Rhizopus</i>	15	7	17	39
2	<i>Penicillium</i>	16	12	27	55
3	<i>Aspergillus</i>	13	2	19	34
4	<i>Clonostachys</i>	11	0	13	24
5	<i>Chaetomium</i>	3	0	7	10
6	<i>Trichoderma</i>	2	0	3	5
7	<i>Apophysomyces</i>	7	4	9	20
8	<i>Cladosporium</i>	3	1	6	10
9	<i>Botrytis</i>	6	1	8	15
10	<i>Mycelio steril</i>	35	23	55	113

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.1. Caracterización e identificación a nivel de género de hongos tolerantes al cadmio del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno

Los hongos nativos resistentes se caracterizaron inicialmente por las características culturales (morfología colonial, color, apariencia de la colonia forma y borde) en PDA, se observó haciendo el montaje en porta y cubre objetos agregando azul dimetil, así observar sus características microscópicas de hongos (tipo y tamaño de las estructuras vegetativas y de reproducción del micelio, forma, y textura de conidias) y para la identificación a nivel de género se utilizaron las claves de Barnett and Hunter (1998) & Barron and Peterson (1968).

##### 4.1.1.1. Identificación a nivel de género para *Trichoderma* sp (T1B)

Dominio: Eucariota

Reino: Fungí

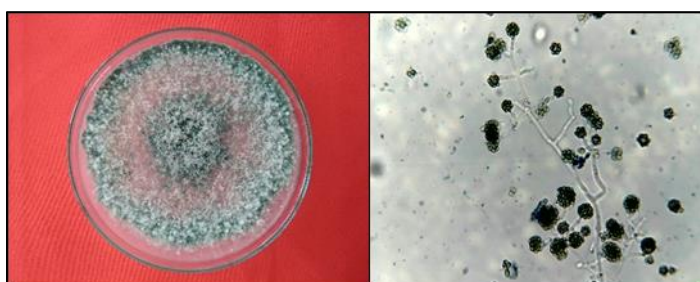
División: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Hypocreaceae

Género: *Trichoderma* sp. (Peterson 1968)



**Figura 12:** Descripción del genero *Trichoderma* sp. (T1B)

**Descripción:** Colonias en PDA después de 7 días, 95 % de diámetro en placa a 28 °C, blanco micelio aéreo abundante y denso. La conidicación se observa después de 2 a 3 días, se vuelve verde después de 4 a 5 días. Los conidióforos de tipo árbol/rama, consisten en un eje principal distinto con ramas laterales de 1.3 a 3.8  $\mu\text{m}$  de ancho, que se vuelven



a ramificar para formar segundas ramas. Algunos conidióforos son anchos y densos, con ramas mayormente simétricas muy semejante a la especie de *Trichoderma paraviridescens* por sus características morfológicas.

#### 4.1.1.2. Identificación a nivel de género para *Trichoderma spp* (T5A)

Dominio: Eucariota

Reino: Fungi

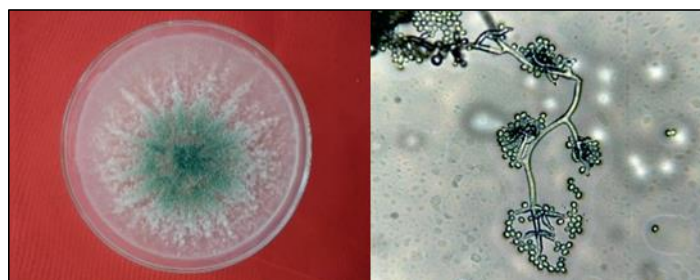
División: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Hypocreaceae

Género: *Trichoderma spp.* (Peterson 1968)



**Figura 13:** Descripción del genero *Trichoderma spp.* (T5A)

**Descripción:** Colonias en PDA después de 7 días, 80 % de diámetro en placa a una temperatura constante de 28 °C, ramas terminales de conidióforos submoniliformes, se desarrollan a partir de grandes efusiones, primeras esteras miceliales de color blanco a amarillento que luego se vuelve verde semioscuros, estromas de 0.5 a 3 mm de ancho y 0.5 a 1.5 mm de grosor, pulvinados con contorno variable y margen libre, puntos ostiolares carentes o poco visibles, al principio vellosa o velutinosa, luego a menudo glabra y semiestrellada; los estromas están secos como los frescos, pero pocamente planos, en su mayoría solo de hasta 0,9 mm de espesor, discoides, pulvinados planos, placentiformes o subefusos.



#### 4.1.1.3. Identificación a nivel de género para *Apophysomyces* sp. (T1B2)

Dominio: Eucariota

Reino: Fungi

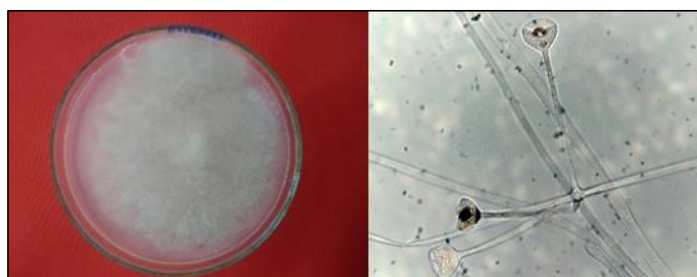
División: Zygomycota

Clase: Zygomycetes

Orden: Mucorales

Familia: Mucoraceae

Género: *Apophysomyces* sp. (Misra 1979)



**Figura 14:** Descripción del genero *Apophysomyces* sp. (T1B2)

**Descripción:** Colonias en PDA después de 7 días a temperatura constante de 28 °C Diámetro 97 % en placa en una semana, crecimiento aéreo abundante a menudo llenando que alcanza la tapa de la placa de petri con micelios profusamente lanosos en dos o tres días. inicialmente aparece de color blanco o blanquecino a medida que la colonia envejece se pone color gris parduzco, hifa incoloras, sin tabiques y ancha; forma de esporangióforos no ramificados, solitarios recto o ligeramente curvado con pared fina producidos individualmente a partir de hifas aéreas los rizoides son hialinos; se observa una prominente dilatación del esporangióforo en forma de campana o de embudo justo debajo de la columela semiesférica características de las esporangiosporas: lisas, marrón claro, ovoideas, 5-8 x 4-6  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, otras fuentes describen la apófisis en forma de copa de champán o tal vez más común a otros Zygomycetes, en forma de embudo. La columela (18 - 28  $\mu\text{m}$ ) tiene forma hemisférica (la mitad de una esfera), muy semejante a la especie de *Apophysomyces elegans* por sus características morfológicas.

## **4.2. DETERMINACIÓN DE EFECTOS DE HONGOS AISLADOS EN LA REMOCIÓN DE CADMIO**

Este proceso se conoce como biorremediación, Kumar *et al.* (2008). En este método, existe la posibilidad de la eliminación de uno o más contaminantes del medio ambiente, con un bajo costo, y los productos restantes tienen efectos no perjudiciales sobre el ecosistema de sitios contaminados Mohsenzadeh, Rad, and Akbari (2012). El uso de microorganismos como las algas, hongos, bacterias y levaduras que pueden absorber los metales pesados, han sido considerados por algunos investigadores anteriores para la biorremediación de medios contaminados con metales pesados, Yu, Cheng, and Wong (2005), Svecova, Spanelova, Kubal, and Guibal (2006). De esta forma, los microorganismos inmovilizan iones metálicos por medios de la vinculación para unirlos con sus paredes celulares, Akhtar, Mahmood-ul-Hassan, Ahmad, Suthor, and Yasin (2013), Vankar and Bajpai (2008).

Muchos contaminantes se pueden reducir mediante métodos biológicos y algunos de ellos pueden ser remediados por hongos. En este estudio; cabe mencionar que un factor ambiental importante es pH, por lo que se trabajó con este factor, se empleó hongos de los géneros de *Trichoderma* sp. (T1B), *Trichoderma* spp. (T5A), *Apophyzomices* sp. (T1B2), los tres géneros a diferentes concentraciones como 3 ppm, 100 ppm, 200 ppm, en pH (5, 7 y 9) cada uno con dos repeticiones, provenientes del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno.

### **4.2.1. REMOCIÓN DE CADMIO PARA EL GÉNERO *Trichoderma* SP. (T1B)**

En la tabla 26 se muestra el análisis de varianza de la remoción de cadmio para el género de *Trichoderma* sp. (T1B), se observó que los niveles de pH influyeron significativamente sobre la remoción de Cd, también la concentración de cadmio influyó en la remoción del mismo y la interacción de pH con concentración que fue altamente significativo. Por

último, se observó un coeficiente de variabilidad de 2.13 % y una media general a la eficiencia de remoción al cadmio  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  fue de 48.59 %.

#### 4.2.1.1. Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género

##### *Trichoderma* sp. (T1B)

En la tabla 8 la prueba de comparación de medias Tukey ( $p < 0.05$ ) para los niveles de pH sobre la remoción de cadmio, el género *Trichoderma* sp. (T1B), en pH 9 alcanzó una eficiencia de remoción al cadmio con 63.68 %, seguidamente en pH 5 alcanzó a una eficiencia de remoción con 55.55 % y finalmente en pH 7 tuvo una eficiencia de remoción con un valor mínimo de 45.19 %. siendo estas diferencias estadísticas que fueron diferentes entre los niveles de pH.

**Tabla 8:** Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

pH	N	Media	Tukey Agrupamiento
9	6	63.68	a
5	6	55.55	b
7	6	45.19	c

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.2. Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género

##### *Trichoderma* sp. (T1B)

En la tabla 9 la prueba de comparación de medias Tukey ( $p < 0.05$ ) de la concentración sobre la eficiencia de la remoción al cadmio, el género *Trichoderma* sp. (T1B), en la concentración de 3 ppm mostró una eficacia superior sobre las demás con una media de 63.05 % de remoción al cadmio, seguidamente en la concentración de 100 ppm la eficiencia de remoción fue 56.01 %, finalmente en la concentración de 200 ppm fue

mínima la eficiencia remoción con 45.35 %, que fueron estadísticamente diferentes entre sí.

**Tabla 9:** Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

CONCENTRACION	N	Media	Tukey Agrupamiento
3ppm	6	63.05	a
100ppm	6	56.01	b
200ppm	6	45.35	c

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2. PRUEBA DE EFECTOS SIMPLES PARA EL GÉNERO *Trichoderma* sp. (T1B)

En la tabla 27 la prueba de efectos simples, para los pHs y concentraciones; los niveles de concentraciones dentro de los niveles del pH mostraron una alta significancia. Los niveles de pH dentro de las concentraciones también mostraron una alta significancia.

##### 4.2.2.1. Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

En la tabla 10 la prueba de comparación de medias Tukey para los efectos simples de cada factor. Se observó que dentro del nivel de pH 5, la concentración de 100 ppm obtuvo un mayor promedio de 52.47 %, seguido por el promedio de 49.06 %, de la concentración de 3 ppm que fueron estas dos concentraciones estadísticamente iguales, y diferente a la concentración de 200 ppm con un promedio mínimo que fue 43.11 %, Seguidamente se observa dentro del nivel de pH 7, la concentración de 100 ppm obtuvo un mayor promedio de 50.05 %, que fue estadísticamente diferente a las concentraciones de 200 ppm y 3 ppm, cuyos promedios fueron 39.88 %, y 36.68 %, dado estas dos concentraciones estadísticamente iguales. Por último, se observó que dentro del nivel de pH 9, la

concentración de 3 ppm obtuvo un promedio de 79.12 %, estadísticamente fue diferente a las concentraciones de 200 ppm y 100 ppm, cuyos promedios fueron 43.98 y 42.93 % respectivamente, siendo que fueron estadísticamente iguales.

**Tabla 10:** Comparación de medias efectos simples de concentración dentro de los niveles de pH para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

PH	N	CONC	MEDIA	GRUPO TUKEY
5	2	100	52.47	a
5	2	3	49.06	a
5	2	200	43.11	b
7	2	100	50.05	a
7	2	200	39.88	b
7	2	3	36.68	b
9	2	3	79.12	a
9	2	200	43.98	b
9	2	100	42.93	b

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2.2. Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

En la tabla 11 la prueba de comparación de medias Tukey para los efectos simples de cada factor se observó que dentro del nivel de concentración 3 ppm obtuvo un mayor promedio de 79.12 % en pH 9, seguido con el promedio de 49.06 % en pH 5, finalmente con un promedio mínimo que fue de 36.68 % en pH 7, estas diferencias numéricas fueron estadísticamente diferentes de cada nivel de pH. Seguidamente se observó dentro del nivel de concentración 100 ppm, obtuvo un mayor promedio de 52.47 % en pH 5, seguido con un promedio de 50.05 % en pH 7 que fue estadísticamente igual los pHs 5 y 7, y diferentes al pH 9 con un promedio mínimo de 42.93 %. Por último, se observó dentro del nivel de concentración 200 ppm, los niveles de pH 9 y 7 presentaron un promedio de 43.98 y 39.88 % respectivamente, siendo estos estadísticamente diferentes.

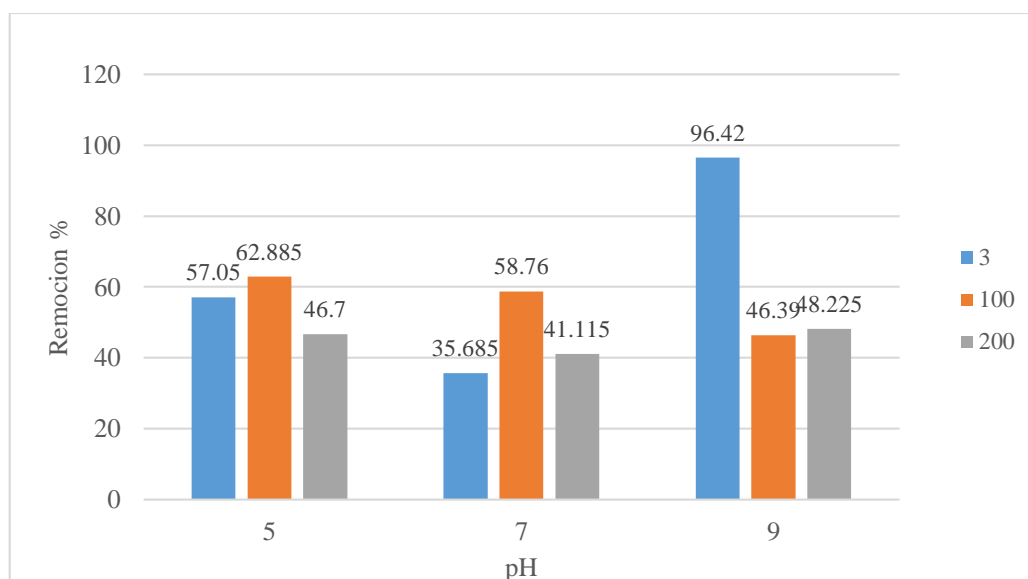
**Tabla 11:** Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

CONC	N	pH	MEDIA	GRUPO TUKEY
3	2	9	79.12	a
3	2	5	49.06	b
3	2	7	36.68	c
100	2	5	52.47	a
100	2	7	50.05	a
100	2	9	42.93	b
200	2	9	43.98	a
200	2	5	43.11	a b
200	2	7	39.88	b

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2.3. Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género *Trichoderma* sp (T1B)

La comparación de la capacidad de eliminación de Cd en los tres pHs, el género de *Trichoderma* sp (T1B) mostró que existe una relación específica entre el hongo y pH en la remoción, según la Figura 15. Los resultados mostraron que *Trichoderma* sp (T1B) tiene la mayor capacidad para eliminar los iones de cadmio en pH 9 con 96.442 % (20.63 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración de 3 ppm. En pH 5 la capacidad de eliminación fue considerablemente alto con 62.88 % (14.32 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración de 100 ppm. Y con una mínima capacidad de eliminación de cadmio en pH 7 fue 35.68 % (7.42 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración de 3 ppm.



**Figura 15:** Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género *Trichoderma* sp (T1B)

El pH es un factor importante en el proceso de eliminación biológica y los cambios de pH, es muy efectivo en la actividad química de los iones metálicos que existe en la solución y también en la actividad de absorción basada en la biomasa y la competencia entre los iones metálicos Sing and Yu (1998).

#### **Efecto del pH en la capacidad de eliminación al cadmio por el género *Trichoderma* sp (T1B)**

De acuerdo con los resultados, la absorción máxima se evaluó a pH = 9. Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014) reporta de la eliminación de cadmio en las especies de *Trichoderma* sp. La capacidad de eliminación más baja se evaluó en pH = 5, en pH = 7, la capacidad de eliminación fue considerablemente alta, pero fue inferior a la de su cantidad a pH = 9. La eliminación óptima se obtuvo 91.06%. Das S. K. and Guha (2007) reportó un resultado similar sobre varias cepas de *Termitomyces clypeatus* en la absorción de Cd, Cu y Cr. En general, el comportamiento de absorción de diversos materiales es similar, como: (a) baja absorción a un pH inferior a 4 y (b) una absorción significativa cuando el pH de la solución está en el rango de 5 a 9, (Svecova *et al.*, 2006).

En el proceso de eliminación biológica, el pH tiene dos factores de impacto: la primera solubilidad de los iones metálicos y la otra carga total del adsorbente, ya que los protones pueden ser absorbidos por la biomasa o ejercidos por ella, en el caso de los hongos, este proceso depende de los grupos funcionales en la superficie de las células fúngicas y el valor de pH de los medios son efectivos en el equilibrio del estado del sistema Jianlong, Xinmin, Decai, and Ding (2001). Los grupos funcionales, como carboxilo, hidroxilo, amino y fosfato, en las superficies celulares de los hongos tienen un papel importante en la captación de iones Cd y tienen un comportamiento diferente en diversas condiciones de pH Chergui *et al.* (2007). El efecto de este factor nos ayudará a determinar el punto en el que la biomasa absorberá al máximo. Según la figura 15 al aumentar la cantidad de pH, también se incrementó la capacidad de adsorción en la concentración de 3 ppm, lo cual fue lo contrario para las concentraciones de 100 y 200 ppm. También se indica que en el pH bajo, con respecto al nitrato de cadmio que se utilizó en este estudio, los iones Cd están presentes en la forma  $Cd^{+2}$ , por lo tanto, estos cationes deberían ser resistentes a la biomasa que absorbió el protón y se acidificó (Iqbal and Edyvean (2004); Wang M. and Zhou (2005)). Akhtar *et al.* (2013) también se demostró que los grupos carboxílicos que son componentes de la pared celular de *Aspergillus niger*, son sitios para la absorción de iones metálicos y en los valores de pH muy ácidos, la carga superficial total de la célula es positiva y, por lo tanto, los cationes metálicos y los protones son positivos. compitiendo por los sitios en la pared celular y tienden a reducir la absorción de metal.

En el pH más alto, los grupos carboxilo, fosfato y amino causan un aumento de la reacción de los iones metálicos, por lo que la adhesión efectiva se logra rápidamente. En este pH, los iones metálicos pueden moverse más rápidamente y los sitios más activos están listos para la reacción con microorganismos. En un pH inferior a 3, los grupos funcionales en la pared celular ocupan iones  $H^+$  y se produce una limitación para la posición de los iones



metálicos Guibal, Roulph, and Le Cloirec (1992). Mientras que con el aumento del pH de 3 a 9, los grupos más funcionales, como los grupos carboxílico y fosfato, tienen cargas negativas y, por lo tanto, su capacidad aumenta o absorbe los iones metálicos que tienen una carga positiva RS Bai, TE Abraham - Bioresource Technology, 2003. Barros Júnior, Macedo, Duarte, Silva, and Lobato (2003) mostró que el porcentaje de eliminación de Cd fue de alrededor del 37 % en la solución con pH = 5 por la biomasa fúngica de *Aspergillus niger*, en comparación con la cantidad mínima; en este estudio fue 35.68 % (7.42 mg / g en base al hongo peso seco), *Trichoderma* sp (T1B) mostró menor capacidad de remoción de metales en las condiciones favorables con respecto a la concentración inicial de iones metálicos y el pH adecuado para la absorción de cadmio.

#### **4.2.3. REMOCIÓN DE CADMIO PARA EL GÉNERO *Trichoderma* spp. (T5A)**

En la tabla 28 el análisis de varianza de la remoción de cadmio, el género *Trichoderma* spp. (T5A), se observó que los niveles de pH influyen significativamente sobre la remoción de Cd, también la concentración de cadmio influye en la remoción del mismo y la interacción de pH con concentración fue altamente significativa. Por último, se observó que el coeficiente de variabilidad fue de 2.24 % y la media general a la eficiencia de la remoción de cadmio  $Cd(NO_3)_2$  fue de 47.57 %.

##### **4.3.3.1. Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género *Trichoderma* spp. (T5A)**

En la tabla 12 la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) para los niveles de pH, la remoción de cadmio del género *Trichoderma* spp. (T5A), se observó igualmente en pH 9 alcanzó una eficiencia a la remoción con 61.70 % seguidamente en pH 7 alcanzó a una eficiencia de remoción de 55.13 % y finalmente en pH 5 que tuvo una eficiencia de

remoción mínima con 46.03 %. siendo que fue estadísticamente diferentes entre los niveles de pH.

**Tabla 12:** Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género *Trichoderma* spp. (T5A)

pH	N	Media, %	Tukey Agrupamiento
9	6	61.70	A
7	6	55.13	B
5	6	46.03	C

*Fuente: Elaboración propia*

**4.3.3.2. Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género *Trichoderma* spp. (T5A)**

En la tabla 13 la prueba de comparación de medias Tukey ( $p < 0.05$ ) de la concentración sobre la eficiencia de remoción de cadmio del género *Trichoderma* spp. (T5A), en la concentración de 3 ppm mostró una eficacia superior sobre las demás con una media de 59.48 % de remoción al cadmio, seguidamente tuvo una eficiencia de remoción con 55.33 % en la concentración de 100 ppm, finalmente en la concentración de 200 ppm fue mínima la eficiencia a la remoción con 48.05 %, siendo estas diferencias que fueron estadísticamente diferentes entre sí.

**Tabla 13:** Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género *Trichoderma* spp. (T5A)

CONCENTRACION	N	Media	Tukey Agrupamiento
3ppm	6	59.48	A
100ppm	6	55.33	B
200ppm	6	48.05	c

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.4. PRUEBA DE EFECTOS SIMPLES PARA EL GÉNERO *Trichoderma* spp. (T5A)**

En la tabla 29 la prueba de efectos simples para los pH y las concentraciones, los niveles de concentraciones dentro de los niveles de pH mostraron una alta significancia. Los niveles pH dentro de las concentraciones también mostraron una alta significancia.

##### **4.2.4.1. Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género *Trichoderma* spp. (T5A)**

En la tabla 14 la prueba de comparación de medias Tukey para los efectos simples de cada factor se observó que dentro del nivel de pH 5, la concentración de 100 ppm obtuvo un mayor promedio de 53.08 %, seguido por el promedio de 40.47 %, de la concentración 200 ppm, finalmente con un promedio mínimo que fue 34.45 % de la concentración 3 ppm. Seguidamente se observó dentro del nivel pH 7, la concentración de 3 ppm obtuvo un mayor promedio de 61.67 %, seguido por la concentración 200 ppm con un promedio de 43.69 %, finalmente obtuvo un promedio mínimo de 39.35 % de la concentración 100 ppm. Por último, se observó que dentro del nivel pH 9, la concentración de 3 ppm obtuvo un promedio de 56.12 %, seguido con un promedio de 51.86 % de la concentración de 100 ppm, finalmente la concentración de 200 ppm obtuvo un promedio de 47.48 %. Siendo las diferencias numéricas que fue estadísticamente diferentes de cada nivel de concentración dentro de cada nivel de pH.

**Tabla 14:** Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género *Trichoderma* spp. (T5A)

pH	N	CONC	MEDIA	GRUPO TUKEY
5	2	100	53.08	a
5	2	200	40.47	b
5	2	3	34.45	c
7	2	3	61.67	a
7	2	200	43.69	b
7	2	100	39.35	c
9	2	3	56.12	a
9	2	100	51.86	b
9	2	200	47.48	c

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.4.2. Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género *Trichoderma* spp. (T5A)

En la tabla 15 la prueba de comparación de medias Tukey para los efectos simples de cada factor, se observó que dentro del nivel de concentración de 3 ppm obtuvo un mayor promedio de 61.67 % en pH 7, seguido por el promedio de 56.12 % en pH 9 y finalmente con un promedio mínimo que fue de 34.45 % en pH 5, siendo estas diferencias numéricas que fueron estadísticamente diferentes de cada nivel de pH. Seguidamente se observó dentro del nivel de concentración de 100 ppm, obtuvo un promedio mayor de 53.08 % en pH 5, seguido con un promedio de 51.86 % en pH 9 siendo que fue estadísticamente igual los pH 5 y 9, y diferentes al pH 7 con un promedio mínimo de 39.35 %. Por último, se observó que, dentro del nivel de concentración de 200 ppm, los niveles de pH 9 y 5 presentaron un promedio de 43.98 y 39.88 % respectivamente, siendo estos que fueron estadísticamente diferentes.

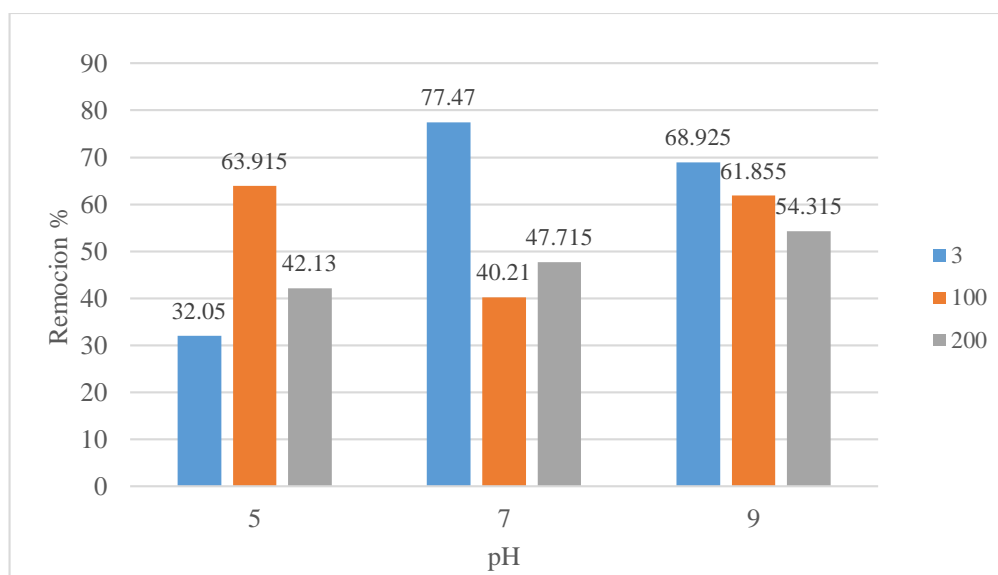
**Tabla 15:** Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género *Trichoderma* spp. (T5A)

CONC	N	PH	MEDIA	GRUPO TUKEY
3	2	7	61.67	a
3	2	9	56.12	b
3	2	5	34.45	c
100	2	5	53.08	a
100	2	9	51.86	a
100	2	7	39.35	b
200	2	9	47.48	a
200	2	7	43.69	a b
200	2	5	40.47	b

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4.3. Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género *Trichoderma* spp (T5A)

La comparación de la capacidad de eliminación de Cd en los tres pHs para el género de *Trichoderma* spp (T5A) mostró que existe una relación específica entre el hongo y pH en la remoción, según la Figura 16. Los resultados mostraron que *Trichoderma* spp (T5A) tiene la capacidad máxima de eliminar los iones de cadmio en pH 7 con 77.47 % (15.71 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración de 3 ppm. En pH 9 la capacidad de eliminación fue considerablemente alto con 68.92 % (14.75 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración de 3 ppm. Y con una mínima capacidad de eliminación de cadmio en pH 5 que fue 32.05 % (6.71 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración de 3 ppm.



**Figura 16:** Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género *Trichoderma* spp (T5A)

Los grupos funcionales, como carboxilo, hidroxilo, amino y fosfato, en las superficies celulares de los hongos tienen un papel importante en la captación de iones Cd y tienen un comportamiento diferente en diversas condiciones de pH Chergui *et al.* (2007). El efecto de este factor nos ayudará a determinar el punto en el que la biomasa absorberá al máximo. Según la figura 16 al aumentar la cantidad de pH, también se incrementó la capacidad de adsorción en la concentración de 200 ppm, lo cual fue lo contrario para las concentraciones de 3 y 100 ppm. De acuerdo con nuestros resultados, la absorción máxima se evaluó en pH = 7. Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014) reporta de la eliminación de cadmio en las especies de *Trichoderma* sp. en pH = 7, la capacidad de eliminación fue considerablemente alta, pero fue inferior a la de su cantidad a pH = 9. La eliminación óptima se obtuvo 91.06%. El pH de una solución también se ve afectado por las propiedades químicas del material y la actividad de los grupos funcionales (carboxílico, fosfato y amino) en la pared celular que están en combinación con iones metálicos en la posición deseada Liu, Wang, Sun, and Wang (2009). En general, el comportamiento de absorción de diversos materiales es similar, como: (a) baja absorción a un pH inferior a 4 y (b) una absorción significativa cuando el pH de la solución está en

el rango de 5 a 9 Svecova *et al.* (2006). Por supuesto, la unión del metal a la pared celular se ve afectada por el pH, que compite con otros iones metálicos Nwuche and Ugoji (2008). Lanouette en Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014) informó que en la concentración inicial de 100 ppm y pH = 8, la sedimentación de iones de hidróxido de níquel es visible. Esta deposición redujo la cantidad de iones de níquel libres para la absorción y acumulación por parte de los organismos. Akhtar *et al.* (2013) también se demostró que los grupos carboxílicos que son componentes de la pared celular de *Aspergillus niger*, son sitios para la absorción de iones metálicos y en los valores de pH muy ácidos, la carga superficial total de la célula es positiva y, por lo tanto, los cationes metálicos y los protones son positivos.

En el pH más alto, los grupos carboxilo, fosfato y amino causan un aumento de la reacción de los iones metálicos, por lo que la adhesión efectiva se logra rápidamente. En este pH, los iones metálicos pueden moverse más rápidamente y los sitios más activos están listos para la reacción con microorganismos. En un pH inferior a 3, los grupos funcionales en la pared celular ocupan iones  $H^+$  y se produce una limitación para la posición de los iones metálicos Guibal *et al.* (1992). Mientras que con el aumento del pH de 3 a 9, los grupos más funcionales, como los grupos carboxílico y fosfato, tienen cargas negativas y, por lo tanto, su capacidad aumenta o absorbe los iones metálicos que tienen una carga positiva RS Bai, TE Abraham - Bioresource Technology, 2003. Barros Júnior *et al.* (2003) mostró que el porcentaje de eliminación de Cd fue de alrededor del 37% en la solución con pH = 5 por la biomasa fúngica de *Aspergillus niger*, que en comparación con la cantidad en este estudio fue 32.05% (6.71 mg/g en base al hongo peso seco), *Trichoderma* spp (T5A) mostró menor la capacidad de remoción de metales en las condiciones favorables con respecto a la concentración inicial de iones metálicos y el pH adecuado para la absorción de cadmio.

#### 4.2.5. REMOCIÓN DE CADMIO PARA EL GÉNERO *Apophysomyces* sp. (T1B2)

En la tabla 30 el análisis de varianza de la remoción de cadmio del género *Apophysomyces* sp. (T1B2), se observó igualmente que los niveles de pH influyeron significativamente sobre la remoción de Cd, también la concentración de cadmio influyó en la remoción del mismo y la interacción de pH con concentración fue altamente significativa. Por último, se observó que el coeficiente de variabilidad es de 2.49 % y la media general fue de 46.85 % en la remoción de cadmio.

##### 4.2.5.1. Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

En la tabla 16 la prueba de comparación de medias Tukey ( $p < 0.05$ ) del pH sobre la remoción de cadmio del género *Apophysomyces* sp. (T1B2), se observó en pH 5 eficientemente superior con una remoción de 65.09 % seguidamente en pH 7, alcanzó una remoción de 48.20 %, finalmente en pH 9 tuvo una remoción mínima de 45.47 %. Siendo que fue estadísticamente diferentes entre los niveles de pH.

**Tabla 16:** Comparación de medias de Tukey de los niveles de pH para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

pH	N	Media	Tukey Agrupamiento
5	6	65.09	a
7	6	48.20	b
9	6	45.47	b

*Fuente: Elaboración propia*



#### 4.2.5.2. Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

En la tabla 17 la prueba de comparación de medias Tukey ( $p < 0.05$ ) de la concentración sobre la remoción de cadmio del género *Apophysomyces* sp. (T1B2), en la concentración de 3 ppm mostró una eficacia superior sobre las demás con 63.05 % de remoción al cadmio, seguidamente en la concentración de 100 ppm tuvo una remoción de 56.01 %, finalmente en la concentración de 200 ppm fue mínima la remoción con 45.35 %, sabiendo que fueron estadísticamente diferentes entre sí.

**Tabla 17:** Comparación de medias de Tukey de las concentraciones para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

CONCENTRACION	N	Media	Tukey Agrupamiento
3ppm	6	63.05	a
100ppm	6	56.01	b
200ppm	6	45.35	c

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.6. PRUEBA DE EFECTOS SIMPLES PARA EL GÉNERO *Apophysomyces* sp. (T1B2)

En la tabla 31 la prueba de efectos simples para los pH y las concentraciones, los niveles de concentraciones dentro de los niveles de pH mostraron una alta significancia. Los niveles de pH dentro de las concentraciones 3, 100 ppm mostraron una alta significancia y en la concentración de 200 ppm solo fue significativo.

##### 4.2.6.1. Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

En la tabla 18 la prueba de comparación de medias Tukey para los efectos simples de cada factor se observó que dentro del nivel de pH 5, la concentración de 3 ppm obtuvo

un mayor promedio de 64.99 %, seguido por el promedio de 53.70 %, de la concentración 100 ppm, finalmente con un promedio mínimo que fue 43.98 % de la concentración 200 ppm siendo que fueron estadísticamente diferente las concentraciones. Seguidamente se observó dentro del nivel de pH 7, la concentración de 3 ppm obtuvo un mayor promedio de 49.08 % siendo estadísticamente diferente a las concentraciones de 100 ppm y 200 ppm, cuyos promedios fueron 42.93 %, y 39.88 % siendo que fue estas dos concentraciones estadísticamente iguales. Por último, se observó dentro del nivel de pH 9, la concentración de 100 ppm obtuvo un promedio de 79.12 %, seguido por un promedio de 43.69 % de la concentración 200 ppm, siendo que fueron las concentraciones de 100 ppm y 200 ppm estadísticamente iguales, y diferentes a la concentración de 3 ppm que obtuvo un promedio mínimo de 38.76 %.

**Tabla 18:** Comparación de medias efectos simples de concentraciones dentro de los niveles de pH para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

PH	N	CONC	MEDIA	GRUPO TUKEY
5	2	3	64.99	a
5	2	100	53.70	b
5	2	200	43.98	c
7	2	3	49.08	a
7	2	100	42.93	b
7	2	200	39.88	b
9	2	100	44.70	a
9	2	200	43.69	a
9	2	3	38.76	b

Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.2.6.2. Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentración para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

En la tabla 19 la prueba de comparación de medias Tukey para los efectos simples de cada factor se observó que dentro del nivel de concentración 3 ppm obtuvo un mayor promedio de 64.99 % en pH 5, seguido por el promedio de 49.08 % en pH 7, finalmente

con un promedio mínimo que fue 38.76 % en pH 9, siendo estas diferencias numéricas que fue estadísticamente diferentes de cada nivel de pH. Seguidamente se observó dentro del nivel de concentración 100 ppm obtuvo un mayor promedio de 53.70 % en pH 5, que fue estadísticamente diferente a los pH 9 y 7, cuyos promedios fueron 44.70 % y 42.93 %, siendo estadísticamente iguales. Por último, se observó dentro del nivel de concentración 200 ppm, los niveles de pH 5 y 9 presentaron un promedio de 43.98 y 43.69 % respectivamente, siendo estos que fueron estadísticamente iguales los pH 5 y 9, y diferentes a pH 7 que obtuvo un promedio mínimo de 39.88 %.

**Tabla 19:** Comparación de medias efectos simples del pH dentro de cada nivel de concentraciones para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

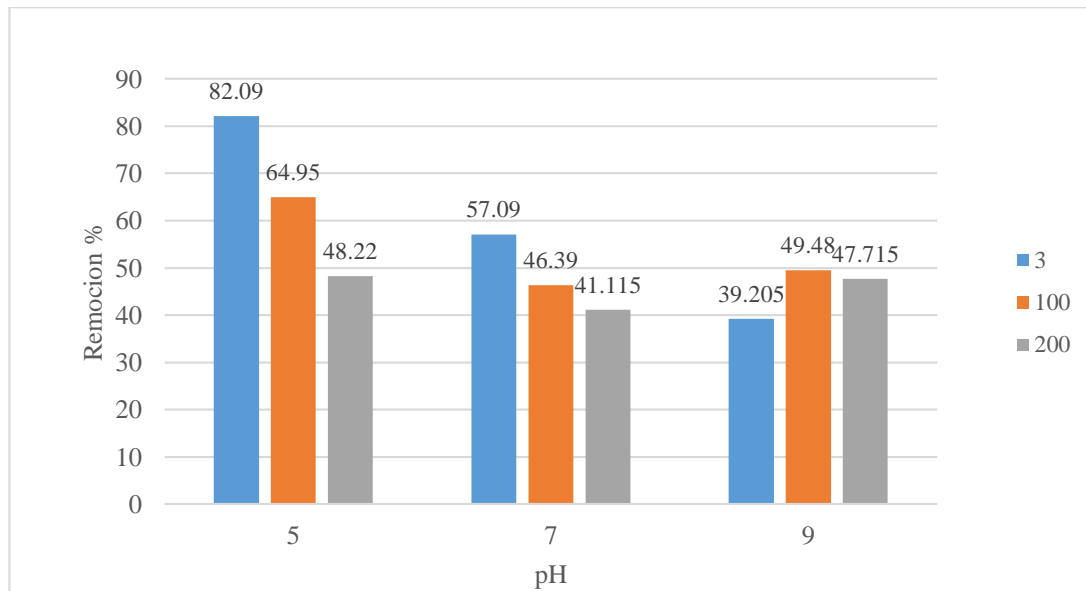
CONC	N	pH	MEDIA	GRUPO TUKEY
3	2	5	64.99	a
3	2	7	49.08	b
3	2	9	38.76	c
100	2	5	53.70	a
100	2	9	44.70	b
100	2	7	42.93	b
200	2	5	43.98	a
200	2	9	43.69	a
200	2	7	39.88	b

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.6.3. Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

La comparación de la capacidad de eliminación de Cd en los tres pH para el género de *Apophysomyces* sp. (T1B2) mostró que existe una relación específica entre el hongo y pH en la remoción luego su capacidad de eliminación según la Figura 17. Los resultados mostraron que *Apophysomyces* sp. (T1B2) tuvo la capacidad máxima para eliminar los iones de cadmio en pH 5 con 82.09 % (18.50 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración 3 ppm. En pH 7 la capacidad de eliminación fue considerablemente alto

con 64.95 % (13.20 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración 100 ppm. Y con una mínima capacidad de eliminación de cadmio que fue pH 9 con 39.20 % (8.37 mg/g en base al hongo peso seco) de la concentración 3 ppm.



**Figura 17:** Efecto y comparación de la capacidad de eliminación al cadmio en pH (5, 7 y 9) del género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

De acuerdo con los resultados, la absorción máxima se evaluó a pH = 5. Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014) reporta de la eliminación de cadmio en las especies de *Trichoderma* sp. la capacidad de eliminación más baja se evaluó en pH = 5, en pH = 7, la capacidad de eliminación fue considerablemente alta, pero fue inferior a la de su cantidad a pH = 9, la eliminación óptima se obtuvo 91.06 %. en comparación de este género estudiado fue lo contrario la eliminación de cadmio en pH 5, 7 y 9.

En el proceso de eliminación biológica, el pH tiene dos factores de impacto: la primera solubilidad de los iones metálicos y la otra carga total del adsorbente, ya que los protones pueden ser absorbidos por la biomasa o ejercidos por ella, en el caso de los hongos, este proceso depende de los grupos funcionales en la superficie de las células fúngicas y el valor de pH de los medios son efectivos en el equilibrio del estado del sistema Jianlong *et al.* (2001). Según la figura 17 al aumentar la cantidad de pH, disminuyó la capacidad

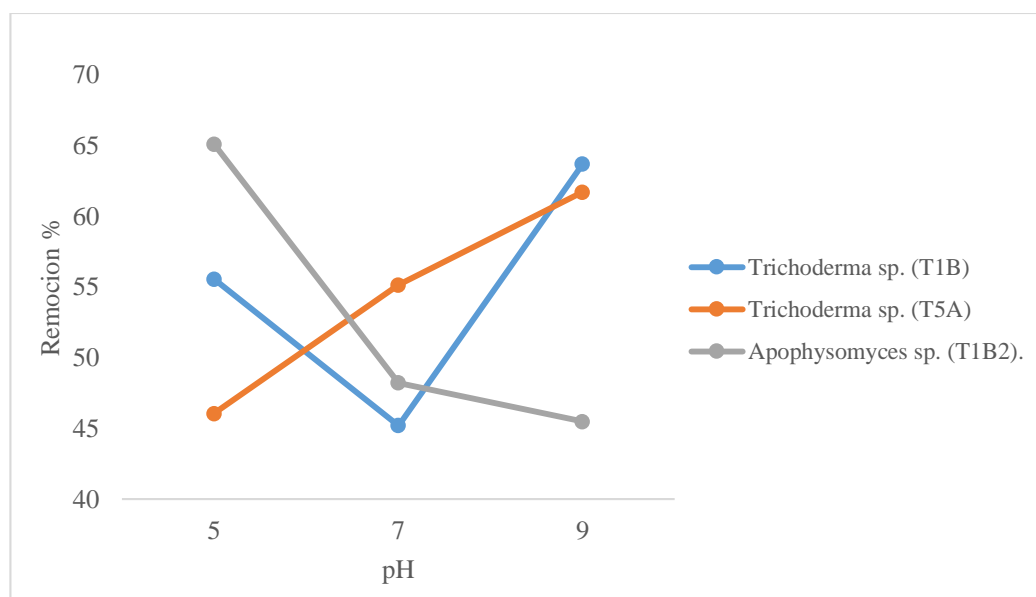
de adsorción, la concentración de 3 ppm fue con mayor adsorción y disminuyó gradualmente para las concentraciones de 100 y 200 ppm. El pH de una solución también se ve afectado por las propiedades químicas del material y la actividad de los grupos funcionales (carboxílico, fosfato y amino) en la pared celular que están en combinación con iones metálicos en la posición deseada Liu *et al.* (2009). Por supuesto, la unión del metal a la pared celular se ve afectada por el pH, que compite con otros iones metálicos Nwuche and Ugoji (2008). Lanouette en Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014) informó que en la concentración inicial de 100 ppm y pH = 8, la sedimentación de iones de hidróxido de níquel es visible. Akhtar *et al.* (2013) también se demostró que los grupos carboxílicos son componentes de la pared celular de *Aspergillus niger*, son sitios para la absorción de iones metálicos y en los valores de pH muy ácidos, la carga superficial total de la célula es positiva y, por lo tanto, los cationes metálicos y los protones son positivos compitiendo por los sitios en la pared celular y tienden a reducir la absorción de metal.

En un pH inferior a 3, los grupos funcionales en la pared celular ocupan iones  $H^+$  y se produce una limitación para la posición de los iones metálicos Guibal *et al.* (1992). Según mis resultados el comportamiento de este hongo es lo contrario mientras que con el aumento del pH de 3 a 9, el carboxílico y fosfato, tienen cargas negativas y, por lo tanto, su capacidad disminuye los iones metálicos que tienen una carga positiva RS Bai, TE Abraham - Bioresource Technology, 2003. Barros Júnior *et al.* (2003) mostró que el porcentaje de eliminación de Cd fue de alrededor del 37 % en la solución con pH = 5 por la biomasa fúngica de *Aspergillus niger*, que en comparación con la cantidad en este estudio fue 39.20 % (8.37 mg/g en base al hongo peso seco) de *Apophysomyces* sp. (T1B2) mostró la mayor capacidad de remoción de metales en las condiciones favorables con respecto a la concentración inicial de iones metálicos y el pH adecuado para la absorción de metales pesados.

#### **4.2.7. COMPARACIÓN DE EFECTOS DE pH Y CONCENTRACIONES DE LOS GENEROS DE *Trichoderma* sp. (T1B), *Trichoderma* spp. (T5A) Y *Apophysomyces* sp. (T1B2) EN LA CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN AL CADMIO**

##### **4.2.7.1. Efecto del pH (5, 7 y 9) en la eliminación de cadmio**

El efecto del pH en la eliminación de Cd por los hongos estudiados en la comparación de muestras de concentración inicial (controles). De acuerdo con la Figura 18 la capacidad máxima para remover el cadmio fue en pH 5, La capacidad de eliminación más baja se evaluó en pH 7, y en pH 9, la capacidad de eliminación fue considerablemente alta, pero fue inferior a la de su cantidad a pH 5, la eliminación óptima fue 65.08 % (15.05 mg/g basado en el peso seco del hongo) para *Apophysomyces* sp. (T1B2), 63.67 % (14.24 mg/g basado en el peso seco del hongo) para *Trichoderma* sp. (T1B) en pH 9 y 61.69 % (14.16 mg/g basado en el peso seco del hongo) para *Trichoderma* spp (T5A) en pH 9. Todos los datos mencionados anteriormente representaron un decrecimiento y elevacion regular de Cd en las muestras experimentales, la capacidad de eliminación de cadmio se redujo hasta el 45.18 % (9.79 mg/g basado en el peso seco del hongo) para *Trichoderma* sp. (T1B) en pH 7, 46.03 % (10.24 mg/g basado en el peso seco del hongo) para *Trichoderma* spp. (T5A) en pH 5 y 45.46 % (10.70 mg/g basado en el peso seco del hongo) para *Apophysomyces* sp. (T1B2), en pH 9.



**Figura 18:** Efecto del pH en la capacidad de eliminación de cadmio por los géneros de *Trichoderma* sp. (T1B), *Trichoderma* spp. (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2)

En el proceso de eliminación biológica, el pH tiene dos factores de impacto: primero la solubilidad de los iones metálicos y la otra carga total del adsorbente, ya que los protones pueden ser absorbidos por la biomasa o ejercidos por ella, en el caso de los hongos, este proceso depende de los grupos funcionales en la superficie de las células de hongos y el valor de pH de los medios y efectivo en el equilibrio del estado del sistema. Los grupos funcionales, como carboxilo, hidroxilo, amino y fosfato, en las superficies celulares de los hongos tienen un papel importante en la captación de iones Cd y tienen un comportamiento diferente en diversas condiciones de pH.

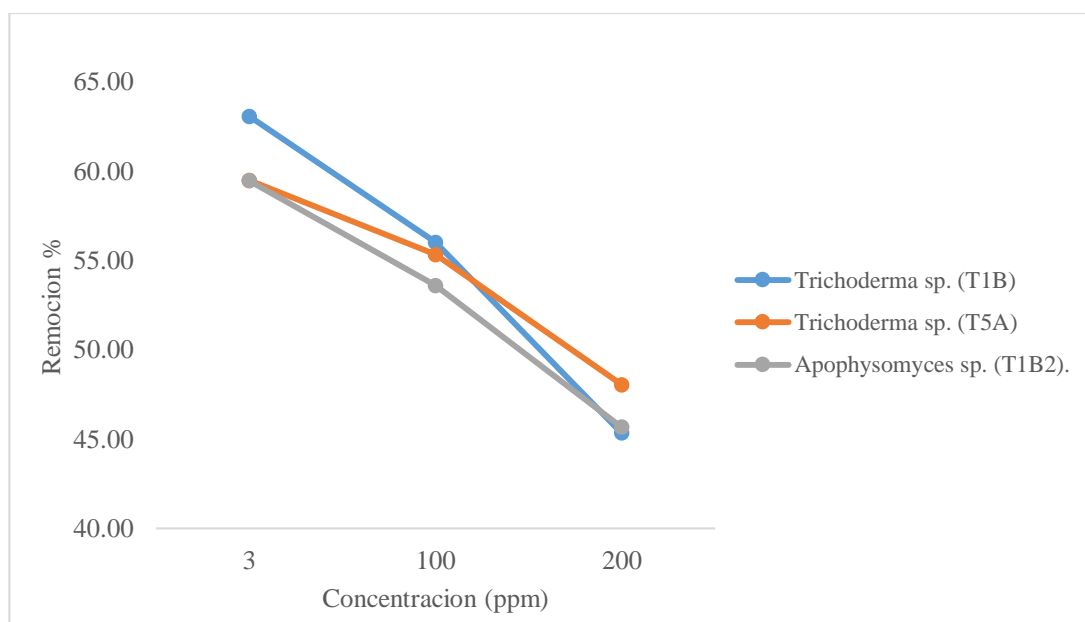
El efecto de este factor, nos ayudará a determinar el punto en el que la biomasa absorberá al máximo según la Figura 18 al aumentar la cantidad de pH, se incrementó la capacidad de adsorción para *Trichoderma* spp (T5A), también se indica en pH, bajo con respecto al nitrato de cadmio que se utilizó en este estudio, los iones Cd están presentes en la forma  $Cd^{+2}$ , por lo tanto, estos cationes deben ser más duros para absorber la biomasa que absorbió el protón y se acidifica para *Trichoderma* spp (T5A) pero fue lo contrario para los géneros de *Trichoderma* sp (T1B) y *Apophysomyces* sp. (T1B2). De acuerdo con los resultados, la absorción máxima se evaluó a pH 9. Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014)

reporta de la eliminación de cadmio en las especies de *Trichoderma* sp. La capacidad de eliminación óptima se obtuvo 91.06 %, en pH 9, S. K. Das and Guha (2007) reportó un resultado similar sobre varias cepas de *Termitomyces clypeatus* en la absorción de Cd, Cu y Cr.

#### **4.2.7.2. Efecto de la concentración de 3, 100 y 200 ppm en la acumulación de cadmio**

El efecto de la concentración inicial de Cd en la capacidad de acumulación de los hongos estudiados. Los resultados mostraron que la capacidad de acumulación de Cd en los géneros de hongos se vio afectada por sus concentraciones iniciales en el medio experimental según la Figura 19. De acuerdo con los resultados, armados con las crecientes concentraciones iniciales de iones metálicos de 3 ppm a 200 ppm, la capacidad de adsorción disminuyó gradualmente y la capacidad de eliminación de Cd se incrementó de 45.35 % a 63.05 % para *Trichoderma* sp (T1B), de 48.05% a 59.48 % para *Trichoderma* spp (T5A) y para *Apophysomyces* sp. (T1B2) de 45.68% a 59.46 %. En la concentración inicial de más de 100 ppm, a 200 ppm no se observó un cambio significativo en la tasa de remoción de metal y la diferencia entre la tasa de absorción en las soluciones con una concentración inicial de 100 ppm y 200 ppm no fue significativa ( $p \leq 0.05$ ).





**Figura 19:** Efectos de la concentración de iones Cd en la capacidad de eliminación por los géneros de *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y la especie de *Apophysomyces* sp. (T1B2)

### **Efecto de la concentración inicial de iones cadmio en la capacidad de remoción de metales**

La absorción de metales por biomasa de hongos depende de su concentración, como se ve en la Figura 19 la absorción de iones Cd disminuyó al aumentar las concentraciones iniciales, por lo tanto, al aumentar la concentración de equilibrio tiende a disminuir la fuerza de absorción o el gradiente de concentración por factor tiempo. Después de un aumento de la captación al aumentar la concentración inicial, la tasa de absorción bajó, lo que podría deberse a la rápida ocupación de los sitios de adsorción (debido a la alta carga superficial) causada por la alta concentración que causa la reducción de la entrada de iones metálicos en los poros profundos y por lo tanto la eficiencia de absorción se reduce. El resultado similar fue de Mohsenzadeh and Shahrokhi (2014) que usó las especies de *Trichoderma* sp. para la eliminación de cadmio en agitación durante dos meses en tres pHs y tres concentraciones, Chergui *et al.* (2007) reportó un resultado similar sobre varias cepas que usó un tipo de actinomicetos, *Streptomyces rimosus*, para la eliminación de Cr, Cu y Zn. Los resultados mostraron que al aumentar la concentración

inicial más de 100 ppm, la tasa de absorción no aumenta y permanece constante o baja. Esto indica que los sitios activos se saturan en la superficie de la biomasa.

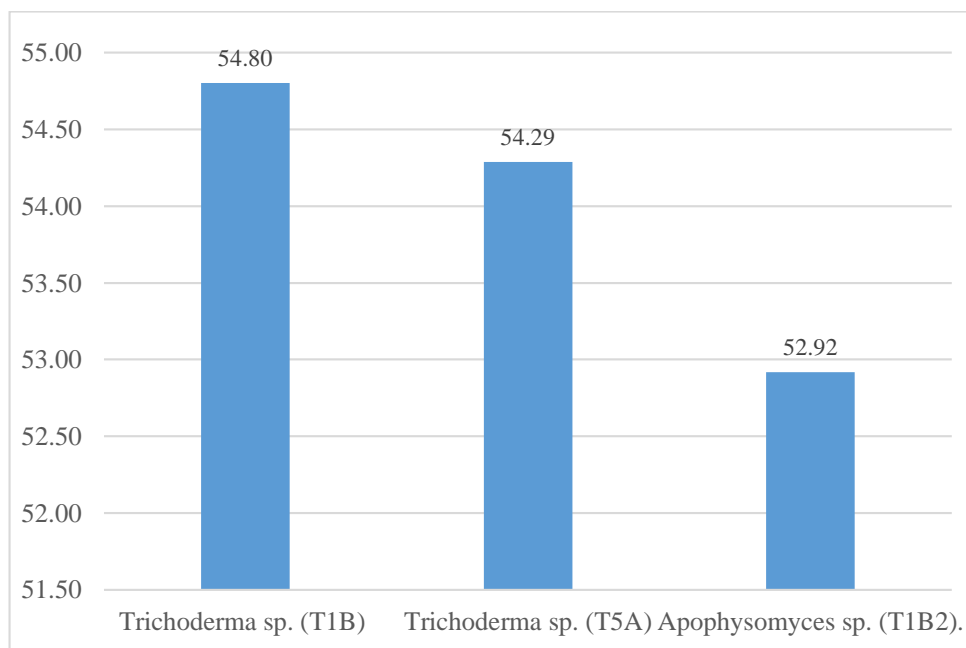
Este problema puede justificarse que al aumentar la concentración inicial aumentó la colisión entre el absorbente y los iones metálicos parcialmente y aumentó la tasa de absorción y no se afecta después de la saturación de los sitios de absorción. Iqbal and Edyvean (2004), Sing and Yu (1998) en sus estudios que han realizado sobre la absorción de Cu, Zn y Pb por *Phanerochaete-technys oспорium*, mostraron que el aumento de la concentración inicial causa un aumento de la absorción de metales debido al aumento de la electrostática. Interacción entre iones metálicos y sitios de absorción. Fazli *et al.* (2015), reportó que los hongos más tolerantes, *Aspergillus versicolor*, mostraron un índice de tolerancia de 0,8 en 100 mg/l de medios de agar cadmio se encontró que *A. versicolor* bioacumulaba más de 7 mg de cadmio por 1 g de micelio, seguido de 5.878, 5.243 y 5.075, 4.557 de *Paecilomyces sp*, *Aspergillus fumigatus*, *Microsporium sp* y *Trichoderma sp*, respectivamente.

Los valores obtenidos para la eficiencia de eliminación de cadmio varían dependiendo de las concentraciones del metal utilizado en los experimentos. Por ejemplo, Malik (2004) informó la capacidad de los aislados de *Giocladium roseum* para eliminar el cadmio con un rendimiento de 184 mg/g de biomasa producida. Además, Kapoor and Viraraghavan (1995), publicaron valores que oscilaron entre 0,4 mg/g y 71 mg/g.

#### **4.2.7.3. Comparación de la capacidad de eliminación de los géneros de *Trichoderma sp* (T1B), *Trichoderma spp* (T5A) y *Apophysomyces sp.* (T1B2)**

La comparación de la capacidad de eliminación de metal cadmio, los géneros de hongos estudiados mostró que existe una relación específica de género entre el hongos y Cd y la remoción luego su capacidad de eliminación. Según la Figura 20, los resultados mostraron

que *Trichoderma* sp (T1B) tiene la mayor capacidad para eliminar los iones de cadmio 54.80 %, (12.24 mg/g según el peso seco del hongo) seguido por *Trichoderma* spp (T5A) elimino el 54.29 % (12.00 mg/g según el peso seco del hongo) que fue semejante al género de *Trichoderma* sp (T1B) y *Apophysomyces* sp. (T1B2) tiene la capacidad baja para eliminar los iones de cadmio 52.92 %, (12.20 mg/g en base al peso seco del hongo).



**Figura 20:** Comparación y efecto de los géneros de *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2). sobre el porcentaje de remoción de iones cadmio

Muchas especies de hongos muestran potencial para la eliminación de cadmio. *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Giocladium roseum*, *Penicillium* spp., *Mucor rouxii*, *Helminthosporium* sp., Por ejemplo. Eliminación del metal en solución acuosa. Por lo tanto, estos datos muestran la capacidad de eliminar la célula de iones metálicos para la biomasa celular a través de mecanismos que no dependen del metabolismo activo (Cepis (2002); Gharieb and Gadd (2004); Göksungur, Üren, and Güvenç (2005); Kapoor and Viraraghavan (1995); Massaccesi, Romero, Cazau, and Bucsinszky (2002)).

Los resultados de este estudio, en comparación con la literatura, mostraron una capacidad prometedora para la eliminación de cadmio por la biomasa de *Trichoderma* sp (T1B) durante su crecimiento en presencia del metal, considerando las altas concentraciones utilizadas. Además, las pruebas también muestran la capacidad de eliminar el cadmio del medio de cultivo, lo que significa que el proceso depende del metabolismo activo y el crecimiento celular como resultado de la tolerancia mostrada por el organismo a la presencia del metal.

Aunque se ha encontrado una reducción en la producción de biomasa, lo que indica el efecto del metal sobre el crecimiento celular, el cadmio total eliminado por las células aumentó, y se relacionó con la concentración de metal utilizada. Por lo tanto, este estudio muestra por primera vez en el altiplano, el aislamiento del género *Trichoderma* sp (T1B), es capaz de crecer a altas concentraciones de cadmio y, en consecuencia, el microorganismo puede usarse potencialmente en la biorremediación de sistemas contaminados con este metal.

Otros investigadores también han informado sobre la biosorción de metales pesados por hongos aislados de sitios contaminados por aguas residuales. Faryal, Lodhi, and Hameed (2006) los hongos filamentosos aislados del suelo de la industria textil local. Pudieron aislar *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Rhodotorula* sp., *Drechslera* sp. y *Curvularia* sp. Parameswari, Lakshmanan, and Thilagavathi (2010) *Aspergillus niger* aislado, *Phanerochaete chrysosporium* y *Trichoderma viride* de aguas residuales municipales contaminadas con metales pesados. Entre sus aislamientos, *P. chrysosporium* acumuló 64.25 % de Cr y 57 % de Ni. Javaid and Bajwa (2007) informaron que *Pleurotus ostreatus* tiene un 55 % de eficiencia de biosorción para los iones Cr (III), mientras que Javaid, Bajwa, and Javaid (2010) reveló que la comuna de *Schizophyllum* tiene una eficiencia de

biosorción de 72.01, 53.16, 7.08 y 19.87 % para los iones Cu (II), Ni (II), Zn (II) y Cr (VI), respectivamente.

Por lo tanto, estos estudios implican que la eficiencia de biosorción de ciertas especies de hongos puede depender del tipo de metales pesados a los que están sujetos. Por ejemplo, Khattab (2007) informó que *Penicillium viridicatum* tenía una alta actividad de extracción para Pb pero que tenía una baja actividad de disolución para Zn y Cu de los efluentes.

Finalmente, la biosorción de metales tóxicos depende del grado de dependencia metabólica (Gadd G. M. (1994)). El estado fisiológico del organismo, la edad de las células, la disponibilidad de micronutrientes durante su crecimiento y las condiciones ambientales durante el proceso de biosorción (como el pH, la temperatura y la presencia de ciertos coiones) son parámetros importantes que afectan el rendimiento de un biosorbente vivo.

#### 4.3. DETERMINACION DEL COSTO DE AISLAMIENTO E IDENTIFICACION DE HONGOS REMEDIADORES DE SUELOS CONTAMINADOS CON CADMIO PROVENIENTES DEL BOTADERO DE CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO

##### 4.3.1. Determinación de costo para los géneros de *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2)

El coste de los géneros identificados se homogenizo por lo que los insumos son iguales para los tres géneros; como se muestra en la tabla 20, el género *Trichoderma* sp (T1B) requiere de 0.7443 kg de hongos para una hectárea, el género *Trichoderma* spp (T5A) requiere 0.7367 kg de hongos para una hectárea y el género *Apophysomyces* sp. (T1B2) requiere una cantidad de 0.7367 kg de hongos para una hectárea, ya que las cantidades de los hongos tuvieron una diferencia mínima en la eficiencia de remoción al cadmio teniendo un costo bajo y amigable con en medio ambiente.

**Tabla 20:** Estimación de costeo para los géneros de *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2)

Genero	Eficiencia remoción Cd (%) con mg/g	Biomasa de hongos (kg/ha)	Costo total (S/.)
<i>Trichoderma</i> sp (T1B)	54.80 (12.24)	0.7443	<b>12707.1</b>
<i>Trichoderma</i> spp (T5A)	54.29 (12.00)	0.7367	<b>12707.1</b>
<i>Apophysomyces</i> sp. (T1B2)	52.92 (12.20)	0.7367	<b>12707.1</b>

Fuente: Elaboración propia

Los tres géneros tuvieron una diferencia mínima en la remoción al cadmio, ya que sacando los cálculos para 10 hectáreas; el género *Trichoderma* sp (T1B) requiere 7.44 kg de hongos en 10 hectáreas, seguido por el género *Trichoderma* spp (T5A) requiere 7.36 kg de hongos en 10 hectáreas, y finalmente el género *Apophysomyces* sp. (T1B2) requiere

7.68 kg de hongos en 10 hectáreas con un costo general de 12707.1 soles. Según Volesky (1990) recomienda por las principales ventajas de este proceso sobre las técnicas de tratamientos convencionales son: bajo costo, alto rendimiento, reducción de productos químicos y lodos biológicos, no se requiere nutrientes adicionales. Mohsenzadeh *et al.* (2012) también reportó sobre la absorción biológica que es una tecnología eficaz para la eliminación óptima de los metales pesados, siendo esta técnica como los mejores métodos, con un bajo costo para eliminar metales tóxicos del ambiente. El género *Trichoderma* spp (T5A) requiere una mínima biomasa de hongos con 7.36 kg de hongos en 10 hectáreas ya que los géneros *Trichoderma* sp (T1B), y *Apophysomyces* sp. (T1B2) requieren más biomasa de hongos.

## V. CONCLUSIONES

Los géneros como, *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2), en forma aislada de áreas contaminadas fueron tolerantes al cadmio teniendo la capacidad de biorremediar.

El efecto del pH de los hongos aislados en la remoción al cadmio provenientes del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno. Según resultados, la capacidad máxima de remover el Cd fue en pH = 5 con 65.08 % (15.05 mg/g basado en el peso seco del hongo), y la capacidad de remoción baja se evaluó en pH = 7 con 63.67 % (14.24 mg/g basado en el peso seco del hongo). El efecto de la concentración inicial de Cd según resultados, la capacidad de eliminación al Cd se incrementó de 45.35 % a 63.05 % para *Trichoderma* sp (T1B), de 48.05 % a 59.48 % para *Trichoderma* spp (T5A) y para *Apophysomyces* sp. (T1B2) de 45.68 % a 59.46 %. La comparación en la capacidad de eliminación de Cd, el género *Trichoderma* sp (T1B) tiene la mayor capacidad de eliminar los iones de Cd (54.80 %), (12.24 mg/g según el peso seco del hongo), y el género *Apophysomyces* sp. (T1B2) mostró la capacidad baja para eliminar los iones de cadmio (52.92 %), (12.20 mg/g en base al peso seco del hongo).

La estimación del costo, de hongos remediadores de suelos contaminados con cadmio. La producción para remediar el área de una hectárea de suelos del botadero Cancharani, el género *Trichoderma* spp (T5A) requeriría una baja biomasa de hongos con 0.7367 kg, siendo menor que los géneros, *Trichoderma* sp (T1B) y *Apophysomyces* sp. (T1B2) que requerirían de 0.7443 y 0.7367 kg de hongos por hectárea, el costo sería igual para los tres géneros con 12707.1 soles por lo que se homogenizo, siendo este proyecto sumamente económico y amigable con el medio ambiente.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda más estudios de biosorción en diferentes concentraciones empleando diferentes metales como plomo, cobre, mercurio entre otros metales tóxicos para aumentar informaciones bibliográficas de estos adsorbentes, ya que hay pocos estudios de la remoción de metales pesados empleando biomasa de hongos.

Evaluar el proceso de biosorción con biomasa inmovilizada para incrementar la superficie de adsorción y la bioacumulación de cadmio con hongos resistentes a este metal.

Se recomienda investigar con otros metales pesados los géneros de *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) *Apophysomyces* sp ya que diferenció notablemente la eliminación de iones de cadmio con hongos aislados en este estudio.

Optimizar la producción de biomasa para la cepa en estudio, de géneros de *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2).

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 011-2017-MINAM, D. S. N.-.-M.-A. E. d. C. A. E. p. S. P. D. S. N. (2017). Ministerio del Ambiente - MINAM.
- Art. 32.1, Identificación Ley General del Ambiente I. L. G. d. A. A. (2005).
- Ahamed, A., & Vermette, P. (2009). Effect of culture medium composition on *Trichoderma reesei*'s morphology and cellulase production. *Bioresource technology*, 100(23), pp. 5979-5987.
- Ahumada, I., Mendoza, J., Navarrete, E., & Ascar, L. (1999). Sequential extraction of heavy metals in soils irrigated with wastewater. *Communications in soil science and plant analysis*, 30(9-10), pp. 1507-1519.
- Akhtar, S., Mahmood-ul-Hassan, M., Ahmad, R., Suthor, V., & Yasin, M. (2013). Metal tolerance potential of filamentous fungi isolated from soils irrigated with untreated municipal effluent.
- Alloway, B. J. (2012). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (Vol. 22): Springer Science & Business Media.
- Arboleda Valencia, J., Soto, R., & Arnul, R. T. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua.
- Atlas, R. M., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*: Pearson-Addison Wesley.
- Baldrian, P., & Gabriel, J. i. (2002). Intraspecific variability in growth response to cadmium of the wood-rotting fungus *Piptoporus betulinus*. *Mycologia*, 94(3), pp. 428-436.
- Barlett, M. S. (1947). "The Use of Transformations."
- Barnett, H., & Hunter, B. (1998). Illustrated genera of imperfect fungi 4th ed. *The American Phytopathological Society. Minnesota. USA.*

- Barreto, M. R. (2017). Cantidad y disposicion final de Residuos Solidos en la Ciudad de Puno. *Revista de Investigacion Carrera Profesional de Obstetricia*, 1(1), p. 28.
- Barron, G. L., & Peterson, J. (1968). The genera of Hyphomycetes from soil. *Soil Science*, 106(6), p. 477.
- Barros Júnior, L., Macedo, G., Duarte, M., Silva, E., & Lobato, A. (2003). Biosorption of cadmium using the fungus *Aspergillus niger*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 20(3), pp. 229-239.
- Biometrics, . Vol. 3, pp. 39-52.
- Carrera, A. (2008). Adsorción siguiendo el modelo de isoterma de adsorción de Langmuir.
- Castillo, F. (2005). *Biotecnología ambiental*: Editorial Tebar.
- Castro, E. (1998). *Território, biodiversidade e saberes de populações tradicionais*: NAEA.
- Cepis, C. P. d. I. S. y. C. d. A. (2002). Diagnóstico de la situación del Manejo de Residuos Sólidos.
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C., & López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 149(3), pp. 1579-1592.
- Cullen, J. T., & Maldonado, M. T. (2013). Biogeochemistry of cadmium and its release to the environment *cadmium: From toxicity to essentiality* (pp. 31-62): Springer.
- Chergui, A., Bakhti, M., Chahboub, A., Haddoum, S., Selatnia, A., & Junter, G. (2007). Simultaneous biosorption of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Cr}^{6+}$  from aqueous solution by *Streptomyces rimosus* biomass. *Desalination*, 206(1-3), pp. 179-184.

- Choque Yucra, M. (2017). Remoción de iones Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) de lodos sedimentados en la bahía interior de Puno-Lago Titicaca utilizando bioadsorbente acuoso de la semilla de tarwi (*Lupinus mutabilis*).
- Chulalaksananukul, W. (2008). *Construction of cellulase hyperproducers of Trichoderma reesei by genetic techniques*. Paper presented at the Sci Forum.
- Das, P., Samantaray, S., & Rout, G. (1997). Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental pollution*, 98(1), pp. 29-36.
- Das, S. K., & Guha, A. K. (2007). Biosorption of chromium by *Termitomyces clypeatus*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 60(1), pp. 46-54.
- De Azevedo, A. M., De Marco, J. L., & Felix, C. R. (2000). Characterization of an amylase produced by a *Trichoderma harzianum* isolate with antagonistic activity against *Crinipellis pernicioso*, the causal agent of witches' broom of cocoa. *FEMS microbiology letters*, 188(2), pp. 171-175.
- De Freitas Lima, A., Ferreira de Moura, G., Barbosa de Lima, M. A., Mendes de Souza, P., Alves da Silva, C. A., de Campos Takaki, G. M., & Do Nascimento, A. E. (2011). Role of the morphology and polyphosphate in *Trichoderma harzianum* related to cadmium removal. *Molecules*, 16(3), pp. 2486-2500.
- ECA., Estándares de calidad Ambiental C. E. Q. G. C. N. d. C. A. C. E. d. c. A.
- Faryal, R., Lodhi, A., & Hameed, A. (2006). Isolation, characterization and biosorption of zinc by indigenous fungal strains *Aspergillus fumigatus* RH05 and *Aspergillus flavus* RH07. *Pakistan Journal of Botany*, 38(3), p. 817.
- Fazli, M. M., Soleimani, N., Mehrasbi, M., Darabian, S., Mohammadi, J., & Ramazani, A. (2015). Highly cadmium tolerant fungi: their tolerance and removal potential. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), p. 19.

- Fisher, N. (1984). Goodness-of-fit tests for Fisher's distribution on the sphere. *Australian Journal of Statistics*, 26(2), pp. 142-150.
- Gadd, G. (1990). Metal tolerance, pp. 178-210. *Microbiology of extreme environments*. Open University Press, Milton Keynes, United Kingdom.
- Gadd, G. M. (1994). Interactions of fungi with toxic metals *The Genus Aspergillus* (pp. 361-374): Springer.
- Gadd, G. M. (2000). Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. *Current opinion in biotechnology*, 11(3), pp. 271-279.
- Gharieb, M., & Gadd, G. (2004). Role of glutathione in detoxification of metal (loid) by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biometals*, 17(2), pp. 183-188.
- Göksungur, Y., Üren, S., & Güvenç, U. (2005). Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass. *Bioresource technology*, 96(1), pp. 103-109.
- González, A., Marañón, N., Espinosa, M., & Argota, H. (2004). Granulometría, sedimentación, composición y contenido total de metales pesados en los sedimentos del río Cobre, de Santiago de Cuba. *Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Química, Universidad de Oriente–2004*.
- Guibal, E., Roulph, C., & Le Cloirec, P. (1992). Uranium biosorption by a filamentous fungus *Mucor miehei* pH effect on mechanisms and performances of uptake. *Water Research*, 26(8), pp. 1139-1145.
- Hidalgo, J., Castro, N., & Gonzalez, S. (2004). La revisita de Codpa (Altos de Arica) de 1772-73 efectuada por el corregidor Demetrio Egan. *Chungará (Arica)*, 36(1), pp. 103-112.

- Hidalgo, S., & Martínez, M. (2004). Reutilización de residuos de raspo de uva para la eliminación de metales tóxicos en los efluentes líquidos. *Ingeniero Químico. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Química*, 58, pp. 487-490.
- Ho *et al.*, c. p. L., M<sup>a</sup> Ángeles Martín. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados.
- Institucionales, C., Egg, A. B., del Ambiente, M., General, C., Cárdenas-MINAM, K. P. B., Pinto, R. R., Alvarado, L. S. (2009). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado.
- Iqbal, M., & Edyvean, R. (2004). Biosorption of lead, copper and zinc ions on loofa sponge immobilized biomass of *Phanerochaete chrysosporium*. *Minerals Engineering*, 17(2), pp. 217-223.
- Jaeckel, P., Krauss, G.-J., & Krauss, G. (2005). Cadmium and zinc response of the fungi *Heliscus lugdunensis* and *Verticillium cf. alboatrum* isolated from highly polluted water. *Science of the total environment*, 346(1-3), pp. 274-279.
- Javaid, A., & Bajwa, R. (2007). Biosorption of Cr (III) ions from tannery wastewater by *Pleurotus ostreatus*. *Mycopathologia*, 5, pp. 71-79.
- Javaid, A., Bajwa, R., & Javaid, A. (2010). Biosorption of heavy metals using a dead macro fungus *Schizophyllum commune* fries: evaluation of equilibrium and kinetic models. *Pak. J. Bot*, 42(3), pp. 2105-2118.
- Jianlong, W., Xinmin, Z., Decai, D., & Ding, Z. (2001). Bioadsorption of lead (II) from aqueous solution by fungal biomass of *Aspergillus niger*. *Journal of Biotechnology*, 87(3), pp. 273-277.

- Juli, S., & Susana, M. (2017). Remoción de metales pesados Cd y Hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria El Espinar–Puno, utilizando vermicomposteo.
- Kapoor, A., & Viraraghavan, T. (1995). Fungal biosorption—an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review. *Bioresource technology*, 53(3), pp. 195-206.
- Khattab, O. K. H. (2007). Biosorption of heavy metals using aquatic pycnidial and hyptomycetes fungi. *Journal of Biological Sciences*, 7(2), pp. 374-378.
- Kumar, R., Bishnoi, N. R., & Bishnoi, K. (2008). Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass. *Chemical Engineering Journal*, 135(3), pp. 202-208.
- Laricano Flores, E. (2018). Análisis comparativo de la biorremediación de suelos contaminados con mercurio por actividad minera, aplicando la tecnología de vermicomposta.
- Lenntech, B. (2016). Historia del tratamiento de agua potable: Obtenido de Water Treatment Solutions: <http://www.lenntech.es/procesos>.
- Leon Hanco, D. (2017). Bioadsorción de mercurio (II) en aguas residuales generados por el Centro minero informal de Lunar de Oro, ubicado en el distrito de Ananea con biomasa de Waraqqo (*Echinópsis maximiliana*).
- Ley General del Ambiente LEY N° 28611, A. (2005).
- Liu, T., Wang, T., Sun, C., & Wang, Y. (2009). Single and joint toxicity of cypermethrin and copper on Chinese cabbage (Pakchoi) seeds. *Journal of hazardous materials*, 163(1), pp. 344-348.

- Lorito, M., Woo, S. L., Harman, G. E., & Monte, E. (2010). Translational research on Trichoderma: from'omics to the field. *Annual review of phytopathology*, 48, pp. 395-417.
- Lovley, D. R. (2000). Fe (III) and Mn (IV) reduction *Environmental microbe-metal interactions* (pp. 3-30): American Society of Microbiology.
- Lue-Hing, C., Zenz, R., & Kuchenrither, D. (1992). Sewage Sludg management, processing, utilization and disposal. *Technomic. USA*, 69, p. 653.
- Magyarosy, A., Laidlaw, R., Kilaas, R., Echer, C., Clark, D., & Keasling, J. (2002). Nickel accumulation and nickel oxalate precipitation by *Aspergillus niger*. *Applied microbiology and biotechnology*, 59(2-3), pp. 382-388.
- Maldonado, A., Luque, C., & Urquizo, D. (2012). Biosorción de plomo de aguas contaminadas utilizando pennisetum clandestinum hochst (Kikuyo) (lead biosorption of contaminated waters using pennisetum clandestinum hochst (kikuyu)). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*(1), pp. 52-57.
- MALIK, A. (2004). Metal bioremediation through growing cells. *Environment international*, 30(2), pp. 261-278.
- Manguilimotan & Bitacura (2018) La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1 y 2), pp. 42-47.
- Martín-Lara, M. d. I. Á. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados.
- Martín del Campo, S., Vaca, P., Lugo, F., Gómez, B., Esteller, A. M. V., & Garrido Hoyos, S. E. (2002). *Aplicación de lodos residuales municipales en cultivo de haba (vicia faba l.) en suelos agrícolas del Valle de Toluca*. Paper presented at the Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, p. 28.



- Massaccesi, G., Romero, M. C., Cazau, M. C., & Bucsinszky, A. M. (2002). Cadmium removal capacities of filamentous soil fungi isolated from industrially polluted sediments, in La Plata (Argentina). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18(9), pp. 817-820.
- Mohsenzadeh, F., Rad, A. C., & Akbari, M. (2012). Evaluation of oil removal efficiency and enzymatic activity in some fungal strains for bioremediation of petroleum-polluted soils.
- Mohsenzadeh, F., & Shahrokhi, F. (2014). Biological removing of Cadmium from contaminated media by fungal biomass of *Trichoderma* species. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), p. 102.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (Eighth Edition ed.).
- Morral, N. (2003). *L'Impacte Econòmic de la Universitat de VIC sobre el Territori*. Municipales en América Latina y el Caribe: Marzo-Abril., pp. 83-87.
- Natividad, H., & Luis, J. (2014). Efecto de la materia orgánica en la absorción de Cadmio en el suelo en la localidad de Supte.
- Navarro, A., Ramos, K., Campos, K., & Maldonado, H. (2006). Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 7(2), pp. 115-128.
- Nwuche, C., & Ugoji, E. (2008). Effects of heavy metal pollution on the soil microbial activity. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(3), pp. 409-414.
- Olórtegui Muñoz, R. (2015). Microalgas verde amarillentas-dulce acuícola con potencial de remoción de cadmio.

- Ortega, P., Yomaira, B., & Valdez Álvarez, C. A. (2017). *Análisis de remoción de cadmio por acción de la microalga Chlorella sp. inmovilizada en perlas de alginato*.
- Pagnanelli, F., Furlani, G., Valentini, P., Vegliò, F., & Toro, L. (2004). Leaching of low-grade manganese ores by using nitric acid and glucose: optimization of the operating conditions. *Hydrometallurgy*, 75(1-4), pp. 157-167.
- Parameswari, E., Lakshmanan, A., & Thilagavathi, T. (2010). Biosorption and metal tolerance potential of filamentous fungi isolated from metal polluted ecosystem. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemistry*, 9(4).
- Pasquali, R., Pelusi, C., Genghini, S., Cacciari, M., & Gambineri, A. (2003). Obesity and reproductive disorders in women. *Human reproduction update*, 9(4), pp. 359-372.
- Pesca, F. D. T. D. (1998). *Ingeniería Económica Aplicada a la Industria Pesquera*.
- Pineda, D. (2006). *Educación ambiental y gestión de residuos sólidos. Puno: Editorial Sagitario*.
- Pinto, A., Mota, A. d., De Varennes, A., & Pinto, F. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the total environment*, 326(1-3), pp. 239-247.
- Pointing, S. (2001). Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Applied microbiology and biotechnology*, 57(1-2), pp. 20-33.
- Ramírez, A. (2002). *Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos*. Paper presented at the Anales de la Facultad de Medicina.
- Reyes, t., Daniel, E., Córdova, C., de Jesús, F., & Suárez Herrera, M. A. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. *Ingenierías*, 9(31), pp. 59-64.

- Rojas, M. (2004). Cantidad y Disposición Final de Residuos Sólidos en la Ciudad de Puno: Puno:(Tesis de la Escuela Profesional Ciencias Biológicas). Universidad.
- Sanga Flores, J. (2016). Biosorción de plomo por biomasa inactiva de bacterias aisladas en sedimentos de lixiviados del botadero de Haqira-Cusco.
- Silva, T. B. P., Campos, E., & Gutiérrez, M. T. O. (2000). Remoción de níquel, cadmio y zinc del agua, utilizando clinoptilolita heulandita.
- Sing, C., & Yu, J. (1998). Copper adsorption and removal from water by living mycelium of white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Water Research*, 32(9), pp. 2746-2752.
- Spain, A., & Alm, E. (2003). Implications of microbial heavy metal tolerance in the environment.
- Srinath, T., Verma, T., Ramteke, P., & Garg, S. (2002). Chromium (VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria. *Chemosphere*, 48(4), pp. 427-435.
- Svecova, L., Spanelova, M., Kubal, M., & Guibal, E. (2006). Cadmium, lead and mercury biosorption on waste fungal biomass issued from fermentation industry. I. Equilibrium studies. *Separation and Purification Technology*, 52(1), pp. 142-153.
- Torres Quispe, N. E. (2018). Evaluación de la concentración de metales pesados como As, Cu, Cd, Hg y Pb en el botadero de Cancharani de la ciudad de Puno.
- Vankar, P. S., & Bajpai, D. (2008). Phyto-remediation of chrome-VI of tannery effluent by *Trichoderma* species. *Desalination*, 222(1-3), pp. 255-262.
- Veglio, F., & Beolchini, F. (1997). Removal of metals by biosorption: a review. *Hydrometallurgy*, 44(3), pp. 301-316.

- Villanueva Vega, J. A. (2015). Determinación de la biorremoción de plomo ( $Pb^{2+}$ ) mediante hongos y microalgas nativas aisladas de efluentes industriales empacadas en un sistema en serie de agitación continua.
- Volesky, B. (1990). Biosorption and biosorbents in *Biosorption of Heavy Metals*, ed. B. Volesky: CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- Vullo, D. L. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva*, 2(3), pp. 93-104.
- Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B., & Beyersmann, D. (2003). Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*, 192(2-3), pp. 95-117.
- Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology advances*, 27(2), pp. 195-226.
- Wang, M., & Zhou, Q. (2005). Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium, and copper acting on wheat *Triticum aestivum*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(2), pp. 169-175.
- Welch, R. M., & Shuman, L. (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in plant sciences*, 14(1), pp.49-82.
- Welsh, R. A. A. (2000). *Costeo basado en actividades (ABC) conceptos teóricos y metodología de implementación*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Yu, X., Cheng, J., & Wong, M. H. (2005). Earthworm–mycorrhiza interaction on Cd uptake and growth of ryegrass. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(2), pp. 195-201.

## ANEXOS

## A. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION

Tabla 21: Diseño experimental del género de *Trichoderma* sp. (T1B)

Especie	pH	Concent ppm	Rep	Antes (mg/l)	Despues (mg/l)	Eficiencia de Remoción Total (mg/l)	(%) Remoción	Peso en (g)	Peso (mg/g)
T1B	5	3	1	2.72	1.26	1.46	53.68	0.00735	11.92
T1B	5	3	2	2.88	1.14	1.74	60.42	0.00744	14.03
T1B	5	100	1	96.96	36.22	60.74	62.64	0.25566	14.25
T1B	5	100	2	97.04	35.78	61.26	63.13	0.25546	14.39
T1B	5	200	1	196.55	104.84	91.71	46.66	0.52902	10.40
T1B	5	200	2	197.45	105.16	92.29	46.74	0.50243	11.02
T1B	7	3	1	2.72	1.78	0.94	34.56	0.00822	6.86
T1B	7	3	2	2.88	1.82	1.06	36.81	0.00798	7.97
T1B	7	100	1	96.96	40.06	56.90	58.68	0.26572	12.85
T1B	7	100	2	97.04	39.94	57.10	58.84	0.25499	13.44
T1B	7	200	1	196.55	115.98	80.57	40.99	0.57956	8.34
T1B	7	200	2	197.45	116.02	81.43	41.24	0.52518	9.30
T1B	9	3	1	2.72	0.11	2.61	95.96	0.00778	20.13
T1B	9	3	2	2.88	0.09	2.79	96.88	0.00792	21.14
T1B	9	100	1	96.96	51.98	44.98	46.39	0.26768	10.08
T1B	9	100	2	97.04	52.02	45.02	46.39	0.26570	10.17
T1B	9	200	1	196.55	101.92	94.63	48.15	0.48050	11.82
T1B	9	200	2	197.45	102.08	95.37	48.30	0.47157	12.13
<i>Fuente: Elaboración propia</i>								<b>0.26112</b>	<b>12.24</b>

**Tabla 22:** Diseño experimental del género de *Trichoderma* sp. (T5A)

Especie	pH	Concent (ppm)	Rep	Antes (mg/l)	Despues (mg/l)	Eficiencia de Remoción total (mg/l)	(%) Remoción	peso en (g)	peso (ml/g)
T5A	5	3	1	2.72	1.94	0.78	28.68	0.00873	5.36
T5A	5	3	2	2.88	1.86	1.02	35.42	0.00760	8.05
T5A	5	100	1	96.96	35.92	61.04	62.95	0.26213	13.97
T5A	5	100	2	97.04	34.08	62.96	64.88	0.24962	15.13
T5A	5	200	1	196.55	113.86	82.69	42.07	0.52766	9.40
T5A	5	200	2	197.45	114.14	83.31	42.19	0.52419	9.54
T5A	7	3	1	2.72	0.64	2.08	76.47	0.00828	15.07
T5A	7	3	2	2.88	0.62	2.26	78.47	0.00829	16.36
T5A	7	100	1	96.96	57.88	39.08	40.31	0.28515	8.22
T5A	7	100	2	97.04	58.12	38.92	40.11	0.28629	8.16
T5A	7	200	1	196.55	102.74	93.81	47.73	0.51421	10.95
T5A	7	200	2	197.45	103.26	94.19	47.70	0.52059	10.86
T5A	9	3	1	2.72	0.85	1.87	68.75	0.00780	14.38
T5A	9	3	2	2.88	0.89	1.99	69.10	0.00790	15.11
T5A	9	100	1	96.96	36.95	60.01	61.89	0.27180	13.25
T5A	9	100	2	97.04	37.05	59.99	61.82	0.27253	13.21
T5A	9	200	1	196.55	90.12	106.43	54.15	0.44545	14.34
T5A	9	200	2	197.45	89.88	107.57	54.48	0.43940	14.69
<i>Fuente: Elaboración propia</i>								<b>0.25820</b>	<b>12.00</b>

**Tabla 23:** Diseño experimental del género de *Apophysomyces* sp. (T1B2)

Especie	pH	Concent (ppm)	Rep	Antes (mg/l)	Despues (mg/l)	Eficiencia de Remoción total (mg/l)	(%) Remoción	peso en (g)	peso (ml/g)
T1B2	5	3	1	2.72	0.54	2.18	80.15	0.00747	17.51
T1B2	5	3	2	2.88	0.46	2.42	84.03	0.00745	19.49
T1B2	5	100	1	96.96	33.78	63.18	65.16	0.25163	15.06
T1B2	5	100	2	97.04	34.22	62.82	64.74	0.26800	14.06
T1B2	5	200	1	196.55	102.04	94.51	48.08	0.49241	11.52
T1B2	5	200	2	197.45	101.96	95.49	48.36	0.45269	12.66
T1B2	7	3	1	2.72	1.22	1.50	55.15	0.00716	12.57
T1B2	7	3	2	2.88	1.18	1.70	59.03	0.00737	13.84
T1B2	7	100	1	96.96	52.15	44.81	46.21	0.27472	9.79
T1B2	7	100	2	97.04	51.85	45.19	46.57	0.25472	10.64
T1B2	7	200	1	196.55	115.82	80.73	41.07	0.53229	9.10
T1B2	7	200	2	197.45	116.18	81.27	41.16	0.52875	9.22
T1B2	9	3	1	2.72	1.73	0.99	36.40	0.00819	7.25
T1B2	9	3	2	2.88	1.67	1.21	42.01	0.00765	9.49
T1B2	9	100	1	96.96	48.65	48.31	49.82	0.22561	12.85
T1B2	9	100	2	97.04	49.35	47.69	49.14	0.23791	12.03
T1B2	9	200	1	196.55	102.74	93.81	47.73	0.49736	11.32
T1B2	9	200	2	197.45	103.26	94.19	47.70	0.50123	11.28
<i>Fuente: Elaboración propia</i>								<b>0.25348</b>	<b>12.20</b>

**B. TABLAS ESTADÍSTICAS**

**Tabla 24:** Prueba de la homogeneidad de la varianza

Fuente	Grados de libertad	Pr >chisq
<i>Trichoderma</i> sp. T1B	8	0.5121
<i>Trichoderma</i> spp. T5A	8	0.0826
<i>Apophysomyces</i> sp.T1B2	8	0.9117

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 25:** Prueba normalidad por el método de Kolmogorov-Smirnov

Fuente	Pr > D	Fuente	Pr > D	Fuente	Pr > D
<b>T1B53</b>	>0.150	<b>T5A53</b>	>0.150	<b>T1B253</b>	>0.150
<b>T1B5100</b>	>0.150	<b>T5A5100</b>	>0.150	<b>T1B25100</b>	>0.150
<b>T1B5200</b>	>0.150	<b>T5A5200</b>	>0.150	<b>T1B25200</b>	>0.150
<b>T1B73</b>	>0.150	<b>T5A73</b>	>0.150	<b>T1B273</b>	>0.150
<b>T1B7100</b>	>0.150	<b>T5A7100</b>	>0.150	<b>T1B27100</b>	>0.150
<b>T1B7200</b>	>0.150	<b>T5A7200</b>	>0.150	<b>T1B27200</b>	>0.150
<b>T1B93</b>	>0.150	<b>T5A93</b>	>0.150	<b>T1B293</b>	>0.150
<b>T1B9100</b>	>0.150	<b>T5A9100</b>	>0.150	<b>T1B29100</b>	>0.150
<b>T1B9200</b>	>0.150	<b>T5A9200</b>	>0.150	<b>T1B29200</b>	>0.150

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 26:** Análisis de varianza para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados tipo III	Cuadrados medios	Fc	Ft		Sig
					0.05	0.01	
pH	2	519.271857	259.635929	243.46	4.26	8.02	**
CONC	2	478.509072	239.254536	224.35	4.26	8.02	**
pH*CONC	4	1502.58406	375.646015	352.25	3.63	6.42	**
Error	9	9.597796	1.066422				
Total	17	2509.962784					

Fuente: *Elaboración propia* CV = 2.125473  $\bar{X}$  = 48.58575



**Tabla 27:** Prueba de efectos simples para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft		Sig
					0.05	0.01	
Concentración en pH 5	2	89.76	44.88	42.08	4.25	8.02	**
Concentración en pH 7	2	194.79	97.40	91.33	4.25	8.02	**
Concentración en pH 9	2	1696.54	848.27	795.44	4.25	8.02	**
pH en concentración 3ppm	2	1904.90	952.45	893.13	4.25	8.02	**
pH en concentración 100ppm	2	98.30	49.15	46.09	4.25	8.02	**
pH en concentración 200ppm	2	18.66	9.33	8.75	4.25	8.02	**
Error	9	9.60	1.07				

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28:** Análisis de varianza para el género *Trichoderma* spp. (T5A)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados tipo III	Cuadrados medios	Fc	Ft		Sig
					0.05	0.01	
pH	2	255.10286	127.551432	112.14	4.26	8.02	**
CONC	2	143.95459	71.9772929	63.28	4.26	8.02	**
pH*CONC	4	852.26217	213.065542	187.33	3.63	6.42	**
Error	9	10.236681	1.137409				
Total	17	1261.5563					

Fuente: Elaboración propia CV = 2.24173  $\bar{X} = 47.57459$

**Tabla 29:** Prueba de efectos simples para el género *Trichoderma* spp. (T5A)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft		Sig
					0.05	0.01	
Concentración en pH 5	2	361.52	180.76	158.92	4.25	8.02	**
Concentración en pH 7	2	559.95	279.98	246.15	4.25	8.02	**
Concentración en pH 9	2	74.74	37.37	32.86	4.25	8.02	**
pH en concentración 3ppm	2	827.37	413.69	363.71	4.25	8.02	**
pH en concentración 100ppm	2	230.84	115.42	101.48	4.25	8.02	**
pH en concentración 200ppm	2	49.15	24.58	21.61	4.25	8.02	**
Error	9	10.24	1.14				

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30:** Análisis de varianza para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados tipo III	Cuadrados medios	Fc	Ft		Sig
					0.05	0.01	
pH	2	496.00643	248.00322	181.39	4.26	8.02	**
CONC	2	213.53799	106.76899	78.09	4.26	8.02	**
pH*CONC	4	357.16453	89.291132	65.31	3.63	6.42	**
Error	9	12.304826	1.367203				
Total	17	1079.0138					

Fuente: *Elaboración propia* CV = 2.49542  $\bar{X}$  = 46.85683

**Tabla 31:** Prueba de efectos simples para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft		Sig
					0.05	0.01	
Concentración en pH 5	2	442.42	221.21	161.8	4.25	8.02	**
Concentración en pH 7	2	87.79	43.90	32.11	4.25	8.02	**
Concentración en pH 9	2	40.49	20.25	14.81	4.25	8.02	**
pH en concentración 3ppm	2	698.88	349.44	255.59	4.25	8.02	**
pH en concentración 100ppm	2	133.37	66.69	48.78	4.25	8.02	**
pH en concentración 200ppm	2	20.92	10.46	7.65	4.25	8.02	*
Error	9	12.30	1.37				

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 32:** Correlación de Pearson para el género *Trichoderma* sp. (T1B)

T1B	EFI	PORC	PESO
EFI		-0.36958	-0.28268
PORC	ns		0.99
PESO	ns	**	

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 33:** Correlación de Pearson para el género *Trichoderma* sp. (T5A)

T5A	EFI	PORC	PESO
EFI		-0.21429	0.04343
PORC	ns		0.94058
PESO	ns	**	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 34:** Correlación de Pearson para el género *Apophysomyces* sp. (T1B2)

T1B2	EFI	PORC	PESO
EFI		-0.36473	-0.26632
PORC	ns		0.97093
PESO	ns	**	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35:** Cuadro comparativo de análisis de medios líquidos con los estándares de calidad ambiental ECA de los géneros *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2)

Especie	pH	Conc (ppm)	Rep	Antes (mg/l)	Despues (mg/l)	ECA (mg/l)	Eficiencia de remoción total (mg/l)	(%) remoción
<i>Trichoderma</i> sp T1B	5	3	1	2.72	1.26	1.4	1.46	53.68
<i>Trichoderma</i> sp T1B	5	3	2	2.88	1.14	1.4	1.74	60.42
<i>Trichoderma</i> sp T1B	7	3	1	2.72	1.78	1.4	0.94	34.56
<i>Trichoderma</i> sp T1B	7	3	2	2.88	1.82	1.4	1.06	36.81
<i>Trichoderma</i> sp T1B	9	3	1	2.72	0.11	1.4	2.61	95.96
<i>Trichoderma</i> sp T1B	9	3	2	2.88	0.09	1.4	2.79	96.88
<i>Trichoderma</i> spp T5A	5	3	1	2.72	1.94	1.4	0.78	28.68
<i>Trichoderma</i> spp T5A	5	3	2	2.88	1.86	1.4	1.02	35.42
<i>Trichoderma</i> spp T5A	7	3	1	2.72	0.64	1.4	2.08	76.47
<i>Trichoderma</i> spp T5A	7	3	2	2.88	0.62	1.4	2.26	78.47
<i>Trichoderma</i> spp T5A	9	3	1	2.72	0.85	1.4	1.87	68.75
<i>Trichoderma</i> spp T5A	9	3	2	2.88	0.89	1.4	1.99	69.10
<i>Apophysomyces</i> sp. T1B2	5	3	1	2.72	0.54	1.4	2.18	80.15
<i>Apophysomyces</i> sp. T1B3	5	3	2	2.88	0.46	1.4	2.42	84.03
<i>Apophysomyces</i> sp. T1B4	7	3	1	2.72	1.22	1.4	1.5	55.15
<i>Apophysomyces</i> sp. T1B5	7	3	2	2.88	1.18	1.4	1.7	59.03
<i>Apophysomyces</i> sp. T1B6	9	3	1	2.72	1.73	1.4	0.99	36.40
<i>Apophysomyces</i> sp. T1B7	9	3	2	2.88	1.67	1.4	1.21	42.01

Fuente: Elaboración propia

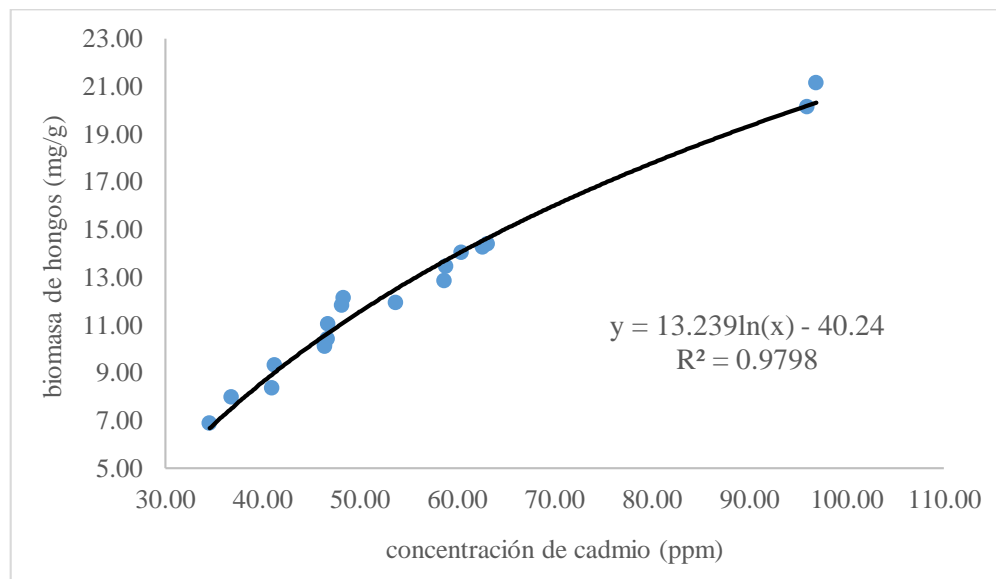
**Tabla 36.** Costo de producción para los géneros de *Trichoderma* sp (T1B), *Trichoderma* spp (T5A) y *Apophysomyces* sp. (T1B2)

DESCRIPCION	UNIDAD MEDIDA	CANTIDAD.	PRECIO UNIT. S/.	COSTO TOTAL S/.	COSTO TOTAL \$
<b>A. COSTO DIRECTO</b>					
<b>1. Siembra de hongos en placas</b>					
Desinfección de materiales en general	Días	2	50	100	29.90
Proceso de materiales e insumos en preparación	Días	1	50	50	14.95
Siembra de hongos en placas	Días	3	60	180	53.81
Observaciones técnicas.	Días	7	50	350	104.63
Siembra de hongos en sustratos	Días	3	50	150	44.84
Evaluaciones técnicas.	Días	15	50	750	224.22
Sellado y empaçado de hongos	Días	3	50	150	44.84
Otros		5	50	250	74.74
<b>Subtotal</b>				<b>1980</b>	<b>591.93</b>
<b>2. Materiales generalizados</b>					
Tanque de 10.000 lt. vaso	Unidades	2	3299.3	6598.6	1972.68
Placas petri 25ml	Unidades	30	6	180	53.81
Tubos de ensayo 25ml	Unidades	10	10	100	29.90
Vaso precipitado 1000ml	Unidades	4	30	120	35.87
Embudo de 500ml	Unidades			0	0.00
Ollas	Unidades	2	15	30	8.97
Alcohol al 70% y 96%.	Unidades	20	20	400	119.58
Algodón	kg	2	15	30	8.97
Bandejas	Unidades	3	5	15	4.48
Bolsas transparentes de polipropileno	Unidades	3	6	18	5.38
Mechero Bunsen	Unidades	2	7	14	4.19
Papel aluminio	Unidades	3	15	45	13.45
Papel toalla	Unidades	5	10	50	14.95
Solución desinfectante de lejía al 5%	Unidades	1	10	10	2.99
Papel Kraft	Unidades	15	1	15	4.48
Gradillas	Unidades	3	10	30	8.97
Otros		5	50	250	74.74
<b>Sub total</b>				<b>7905.6</b>	<b>2363.41</b>

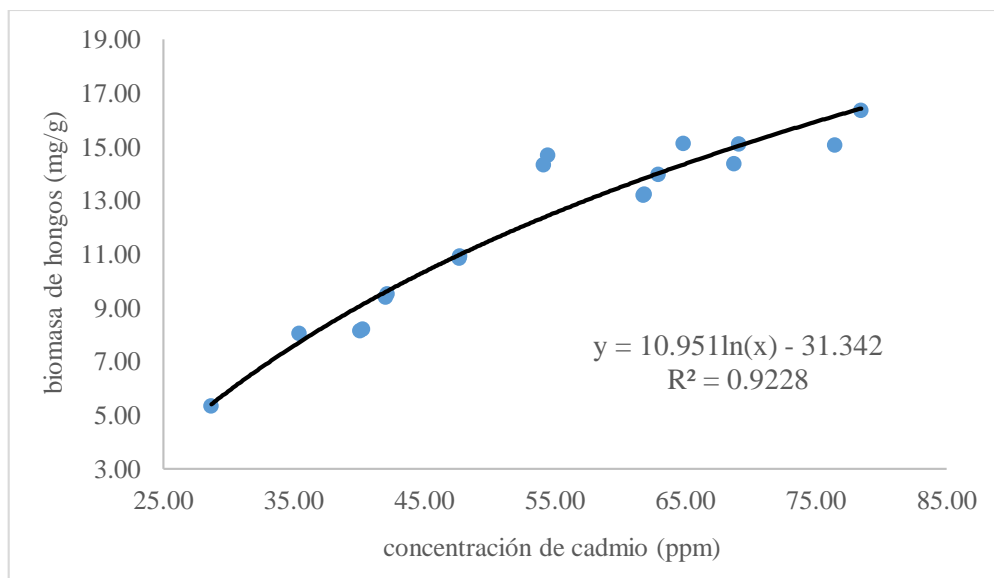
3. INSUMOS					
Agar agar	kg	0.5	900	450	134.53
papa	kg	5	4	20	5.98
Azúcar	kg	1	3.5	3.5	1.05
Agua destilada	Lt	80	3	240	71.75
Antibióticos	unidades	20	1	20	5.98
Otros		10	50	500	149.48
Sub total				<b>1233.5</b>	<b>368.76</b>
<b>SUB TOTAL GASTOS DIRECTOS</b>				<b>11119.1</b>	<b>3324.10</b>
B. COSTOS INDIRECTOS					
Asistencia técnica	%	10	50	500	149.48
Gastos Administrativos	%	15	60	544	162.63
Imprevistos	%	5	100	181	54.11
Gastos financieros	%	10	100	363	108.52
<b>SUB TOTAL GASTOS INDIRECTOS</b>				<b>1588</b>	<b>474.74</b>
<b>TOTAL DE COSTOS</b>				<b>*12707.1</b>	<b>*3798.83</b>

\* = COSTO ESTIMACION

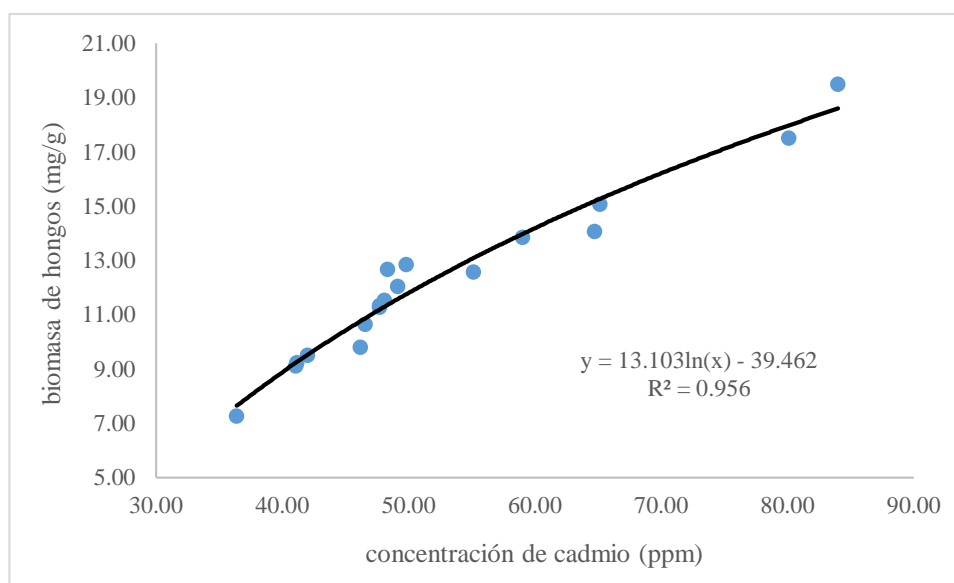
ANEXOS DE FIGURAS



**Figura 21:** Correlación de la remoción con la biomasa de hongos del genero *Trichoderma* sp. (T1B)



**Figura 22:** Correlación de la remoción con la biomasa de hongos del genero *Trichoderma* sp. (T5A)



**Figura 23:** Correlación de la remoción con la biomasa de hongos del genero *Apophysomyces* sp. (T1B2)

## ECUACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA DE HONGOS

### Determinación de costo para la especie de *Trichoderma* sp (T1B)

T1B = 54.80% con 12.24 mg/g en una solución de 60 ml

Si.

$$\begin{array}{r} 54.80\% \quad \text{—————} \quad 12.24 \text{ mg/g} \\ 100\% \quad \quad \quad \text{—————} \quad X \\ x = \frac{100\% * 12.24 \text{ mg/g}}{54.80\%} \\ = 22.33 \text{ mg/g en 60ml de solución} \end{array}$$

Donde:

%: porcentaje de la remoción, mg/g: peso seco del hongo, x: porcentaje de la remoción en 100% con mg/g de hongos

### 1 hectárea es igual a 10000 metros cuadrados

$$\begin{array}{r} 0.2 \text{ lt} \quad \text{—————} \quad 1 \text{ m}^2 \\ X \quad \quad \quad \text{—————} \quad 10000 \text{ m}^2 \\ x \text{ lt} = \frac{0.2 \text{ lt} * 10000 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} \\ = 2000 \text{ lt de agua en una hectárea.} \end{array}$$

### En 10 hectáreas es:

$$\begin{array}{r} 2000 \text{ lt} \quad \text{—————} \quad 10000 \text{ m}^2 \\ X \text{ lt} \quad \quad \quad \text{—————} \quad 100000 \text{ m}^2 \\ x \text{ lt} = \frac{2000 \text{ lt} * 100000 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2} \\ = 20000 \text{ lt de agua por 10 hectáreas} \end{array}$$

Donde:

lt es litros, m<sup>2</sup> en metros cuadrados

### 22.33 mg/g de hongos en solución de 60 ml

$$\begin{array}{r} 22.33 \text{ mg/g} \quad \text{—————} \quad 0.06 \text{ lt} \\ X \text{ mg/g} \quad \quad \quad \text{—————} \quad 2000 \text{ lt} \end{array}$$

$$x \text{ mg/g} = \frac{22.33 \text{ mg/g} * 2000 \text{ lt}}{0.06 \text{ lt}}$$

$$= 744333.33 \text{ mg/g de hongos en 1 hectárea}$$

**En gramos:**

$$1 \text{ g} \text{ ————— } 1000 \text{ mg}$$

$$X \text{ g} \text{ ————— } 744333.33 \text{ mg}$$

$$x \text{ g} = \frac{1 \text{ g} * 744333.33 \text{ mg}}{1000 \text{ mg}}$$

$$= 744.33 \text{ g de hongos en 1 hectárea}$$

$$= 0.7443 \text{ kg de hongos en 1 hectárea}$$

$$= 7.4433 \text{ kg de hongos en 10 hectáreas}$$

Dónde:

mg es en miligramos, g en gramos, kg en kilogramo.

**Determinación de costo para la especie de *Trichoderma spp* (T5A)**

Si.

$$54.29\% \text{ ————— } 12.00 \text{ mg/g}$$

$$100\% \text{ ————— } X$$

$$x = \frac{100 \% * 12.00 \text{ mg/g}}{54.29 \%}$$

$$= 22.10 \text{ mg/g en solución de 60ml}$$

Donde:

%: porcentaje de la remoción, mg/g: peso seco del hongo, x: porcentaje de la remoción en 100% con mg/g de hongos

**1 hectárea es igual a 10000 metros cuadrados**

$$0.2 \text{ lt} \text{ ————— } 1 \text{ m}^2$$

$$X \text{ ————— } 10000 \text{ m}^2$$

$$x \text{ lt} = \frac{0.2 \text{ lt} * 10000 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$= 2000 \text{ lt de agua en una hectárea.}$$

**En 10 hectáreas es:**



$$2000 \text{ lt} \text{ ————— } 10000 \text{ m}^2$$

$$X \text{ lt} \text{ ————— } 100000 \text{ m}^2$$

$$x \text{ lt} = \frac{2000 \text{ lt} * 100000 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2}$$

$$= 20000 \text{ lt de agua por 10 hectáreas}$$

Donde:

lt es litros, m<sup>2</sup> en metros cuadrados.

### 22.10 mg/g de hongos en 60 ml de solución

$$22.10 \text{ mg/g} \text{ ————— } 0.06 \text{ lt}$$

$$X \text{ mg/g} \text{ ————— } 2000 \text{ lt}$$

$$x \text{ mg/g} = \frac{22.10 \text{ mg/g} * 2000 \text{ lt}}{0.06 \text{ lt}}$$

$$= 736666.6667 \text{ mg/g de hongos en 10 hectáreas}$$

En gramos:

$$1 \text{ g} \text{ ————— } 1000 \text{ mg}$$

$$X \text{ g} \text{ ————— } 736666.6667 \text{ mg}$$

$$x \text{ g} = \frac{1 \text{ g} * 736666.6667 \text{ mg}}{1000 \text{ mg}}$$

$$= 736.67 \text{ g de hongos en 1 hectárea}$$

$$= 0.7367 \text{ kg de hongos en 1 hectárea}$$

$$= 7.367 \text{ kg de hongos en 10 hectáreas}$$

Dónde:

mg es en miligramos, g en gramos, kg en kilogramo.

### Determinación de costo para la especie de *Apophysomyces* sp. (T1B2)

Si.

$$52.92 \% \text{ ————— } 12.20 \text{ mg/g}$$

$$100 \% \text{ ————— } X$$

$$x = \frac{100 \% * 12.20 \text{ mg/g}}{52.92 \%}$$

$$= 23.05 \text{ mg/g en solución de 60ml}$$

Donde:

%: porcentaje de la remoción, mg/g: peso seco del hongo, x: porcentaje de la remoción en 100% con mg/g de hongos

**1 hectárea es igual a 10000 metros cuadrados**

$$\begin{array}{l} 0.2 \text{ lt} \quad \text{—————} \quad 1 \text{ m}^2 \\ X \quad \text{—————} \quad 10000 \text{ m}^2 \\ x \text{ lt} = \frac{0.2 \text{ lt} * 10000 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} \\ = 2000 \text{ lt de agua en una hectárea.} \end{array}$$

**En 10 hectáreas es:**

$$\begin{array}{l} 2000 \text{ lt} \quad \text{—————} \quad 10000 \text{ m}^2 \\ X \text{ lt} \quad \text{—————} \quad 100000 \text{ m}^2 \\ x \text{ lt} = \frac{2000 \text{ lt} * 100000 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2} \\ = 20000 \text{ lt de agua por 10 hectáreas} \end{array}$$

Donde:

lt es litros, m<sup>2</sup> en metros cuadrados

**23.05 mg/g de hongos en 60 ml de solución**

$$\begin{array}{l} 23.05 \text{ mg/g} \quad \text{—————} \quad 0.06 \text{ lt} \\ X \text{ mg/g} \quad \text{—————} \quad 2000 \text{ lt} \\ x \text{ mg/g} = \frac{23.05 \text{ mg/g} * 2000 \text{ lt}}{0.06 \text{ lt}} \\ = 768333.3333 \text{ mg/g de hongos en 10 hectáreas} \end{array}$$

**En gramos:**

$$\begin{array}{l} 1 \text{ g} \quad \text{—————} \quad 1000 \text{ mg} \\ X \text{ g} \quad \text{—————} \quad 768333.3333 \text{ mg} \\ x \text{ g} = \frac{1 \text{ g} * 768333.3333 \text{ mg}}{1000 \text{ mg}} \\ = 768.33 \text{ g de hongos en 1 hectárea} \\ = 0.7683 \text{ kg de hongos en 1 hectárea} \\ = 7.6833 \text{ kg de hongos en 10 hectáreas} \end{array}$$

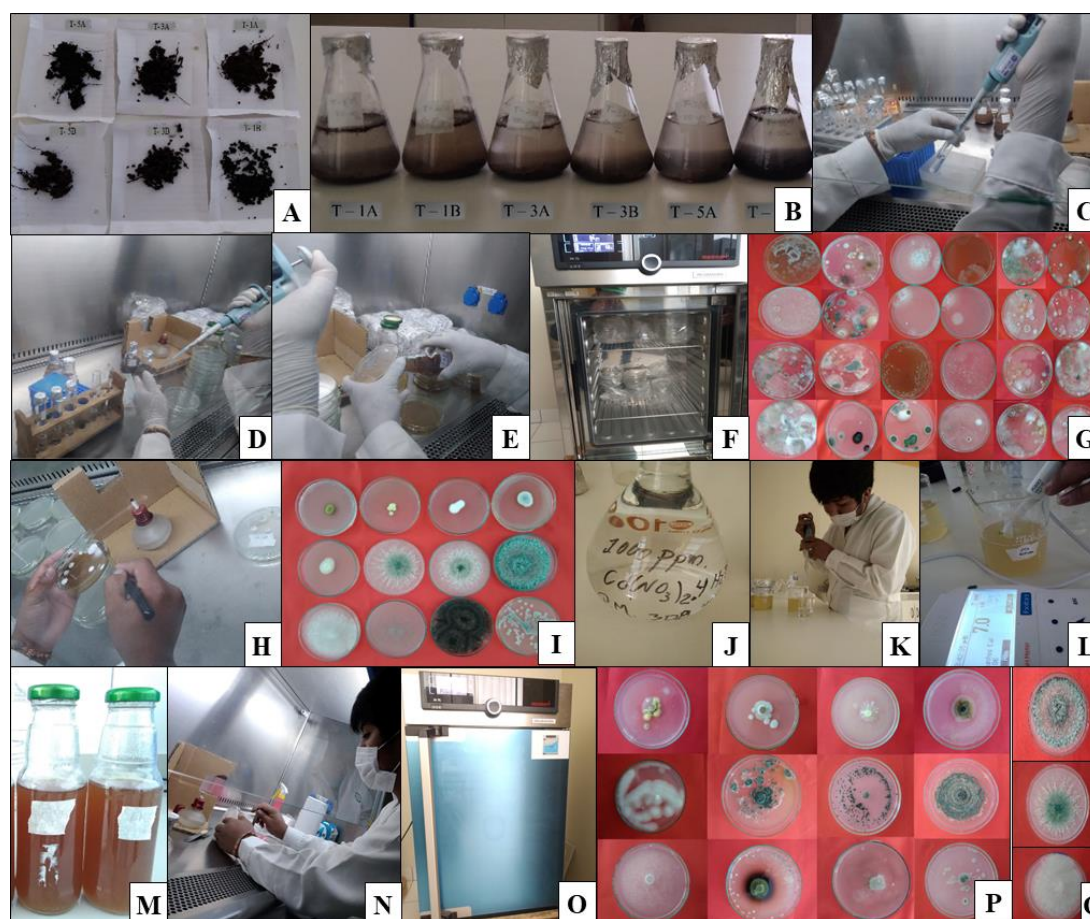
Dónde:

mg es en miligramos, g en gramos, kg en kilogramo.

A. PANEL FOTOGRAFICO



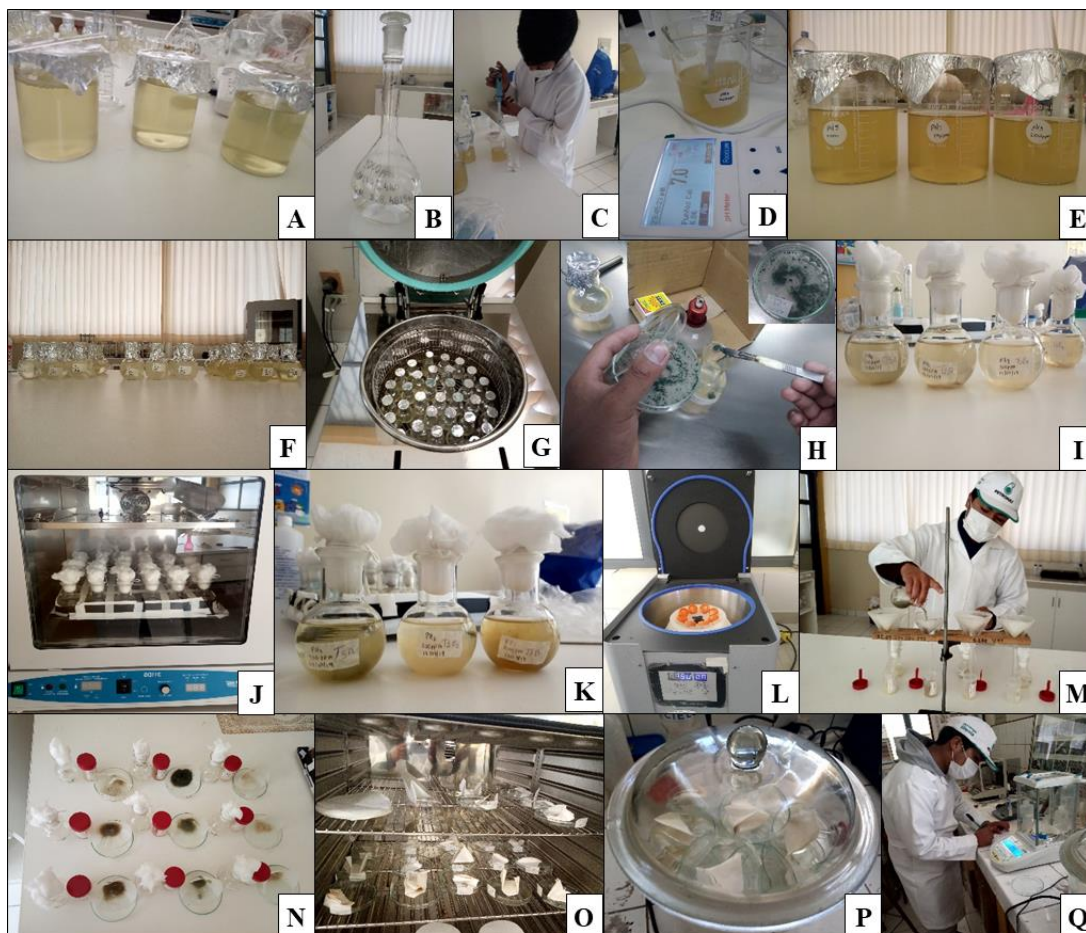
**Figura 24:** Toma de muestras para el aislamiento de hongos del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno. A) Punto de muestreo. B) Toma de muestra del botadero de Cancharani de la ciudad de Puno para el aislamiento de hongos. C) Profundidad de muestreo de suelos.



**Figura 25:** Diluciones seriadas y la sensibilidad de hongos A) muestras de suelos de 10 g. B) matraz de 250 ml con contenido de 10g de suelo y 90 ml de agua. C) muestras de suelos en dilución seriada del  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  D) esparcido del  $10^{-3}$  1 ml en placas. E) plaqueado con medios de agar. F) incubado de hongos a temperatura constante de  $27^{\circ}\text{C}$  durante 7 días G) colonias de hongos en placas con PDA. H) purificado de hongos de suelos. I) colonias de hongos purificados. J) metal nitrato de cadmio  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ . K)



preparado de concentraciones del de nitrato de cadmio  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , de 100 ppm en medios con agar. L) preparado del pH 7 en medios con agar y concentración de 100 ppm. M) medios líquidos de agar con concentración de 100 ppm N) sembrado de micelios de hongos en medios con  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ . O) incubado de hongos a temperatura constante de  $27^\circ\text{C}$ . P) micelios en medio agar con  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ . Q) hongos seleccionados.



**Figura 26:** Proceso del experimento en medios líquidos de tres concentraciones de 3, 100 y 200ppm en los pHs 5, 7 y 9. A) medios líquidos. B) metal madre de  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ . C) medios preparados con cadmio. D) ajustes de pH en medios con cadmio. E) medios preparados con cadmio y ajustado a tres pH. F) distribución de medios en fiolas. G) autoclavados de medios durante 30 min. H) siembra de hongos en medios preparados I) medios insertados con 5 tapones de 5mm de diámetro con micelios. J) incubado de medios con hongos a una temperatura constante de  $27^\circ\text{C}$  a 160 rpm. K) medios reproducidos de micelios. L) centrifugado de hongos. M) filtrado de medios en envases. N) hongos y medios caldos de la cena. O) secados de hongos en estufa a  $65^\circ\text{C}$  durante 48 horas. P) refrigerado de hongos a temperatura ambiente. Q) pesado de la masa de hongos.

## B. ANALISIS DE SUELOS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL BOTADERO CANCHARANI DE LA CIUDAD DE PUNO

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S24/19

Página 1 de 3

### INFORME DE ENSAYO EN SUELOS S24/19

Cliente:	Sr. Welian Frede Cruz Casas
Solicitante:	UNA - PUNO
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	Botadero: Comunidad de Cancharani Provincia: Puno Departamento: Puno
Punto de muestreo:	A 20 m. de la zona de seguridad del botadero
Responsable del muestreo:	Sr. Welian Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	31 de enero de 2019
Hora de muestreo:	06:00
Fecha de recepción de la muestra:	28 de marzo de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 28 de marzo al 18 de abril, 2019
Caracterización de la muestra:	Suelo de Botadero
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa plástica
Código LCA:	24-1
Código original de muestra:	M-1

### Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-1 24-1
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	2,0

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
- Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
\* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Abril 30 de 2019



CC: Archivo  
JCh/ica



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S24/19

Página 2 de 3

**INFORME DE ENSAYO EN SUELOS S24/19**

Cliente:	Sr. Welian Frede Cruz Casas
Solicitante:	<b>UNA - PUNO</b>
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	Botadero: Comunidad de Cancharani Provincia: Puno Departamento: Puno
Punto de muestreo:	A 40 m. carretera - napa freática a 30 cm.
Responsable del muestreo:	Sr. Welian Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	31 de enero de 2019
Hora de muestreo:	06:20
Fecha de recepción de la muestra:	28 de marzo de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 28 de marzo al 18 de abril, 2019
Caracterización de la muestra:	Suelo de Botadero
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa plástica
Código LCA:	24-2
Código original de muestra:	M-2

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-2 24-2
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	1,4

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Abril 30 de 2019



CC: Archivo  
 JChfca

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S24/19

Página 3 de 3

**INFORME DE ENSAYO EN SUELOS S24/19**

Cliente: Sr. Welian Frede Cruz Casas  
 Solicitante: **UNA - PUNO**  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: Botadero: Comunidad de Cancharani  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Margen derecho del botadero  
 Responsable del muestreo: Sr. Welian Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 31 de enero de 2019  
 Hora de muestreo: 06:30  
 Fecha de recepción de la muestra: 28 de marzo de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 28 de marzo al 18 de abril, 2019  
 Caracterización de la muestra: Suelo de Botadero  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Bolsa plástica  
 Código LCA: 24-3  
 Código original de muestra: M-3


**Resultado de Análisis**


Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-3 24-3
Cadmio total	Microwave Reaction System/EPA 213.1	mg/kg	0,20	2,6

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)  
 - Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

\* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 \* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Abril 30 de 2019

  
 Ing. Jaime Chincheros Paniagua  
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



CC: Archivo  
 JChfca

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

**C. ANALISIS DE LOS MEDIOS LIQUIDOS DESPUES DEL TRATAMIENTO.**

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 1 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	UNA - PUNO
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio (Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 14 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-1
Código original:	T 1B3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-1 T 1B3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	0,10

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 2 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-2
Código original :	T 1B100

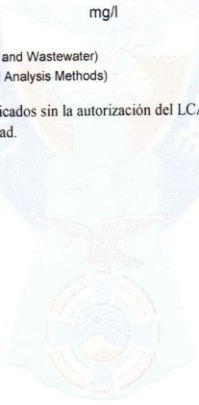
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-2 T 1B100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	52

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

*Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia*

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 3 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio (Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 19 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-3  
 Código original: T 1B200

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-3 T 1B200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	102

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



e.c.: Arch  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 4 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA -PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-4
Código original :	TSA3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-4 TSA3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	0,87

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 5 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 19 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-5  
 Código original : T SA100

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-5 T SA100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	37

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

*Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia*





Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 6 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio (Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-6
Código original :	T SA200

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-6 T SA200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	90

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 7 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	UNA -PUNO
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-7
Código original :	T 1B23

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-7 T 1B23
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	1,7

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 8 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA -PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 19 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-8  
 Código original : T 1B2100

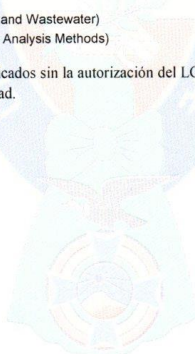
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-8 T 1B2100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	49

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 9 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-9
Código original :	T 1B2 200

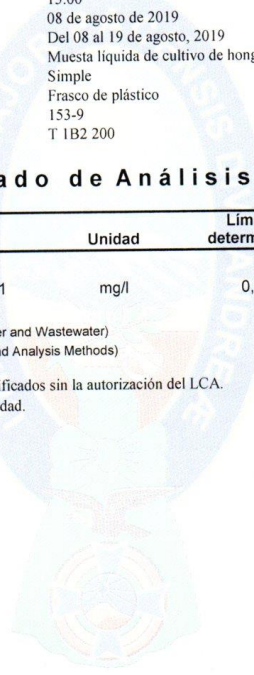
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-9 T 1B2 200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	103

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 10 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-10
Código original :	T 1B3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	153-10 T 1B3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	1,8

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

*Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia*

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 11 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>	
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas	
Dirección del cliente:	Puno	
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO	
	Provincia: Puno	
	Departamento: Puno	
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)	
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas	
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019	
Hora de muestreo:	15:00	
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019	
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019	
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos	
Tipo de muestra:	Simple	
Envase:	Frasco de plástico	
Código LCA:	153-11	
Código original :	T1B 100	11

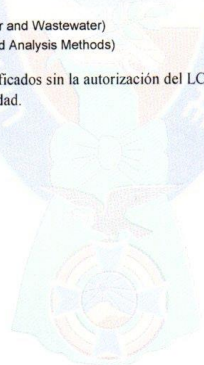
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-11 T1B 100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	40

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 12 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA -PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-12
Código original :	T 1B 200

**Resultado de Análisis**

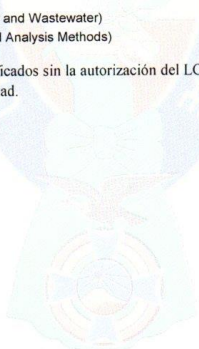
Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-12 T 1B 200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	116

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 13 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-13
Código original :	TSA 3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-13 TSA 3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	0,63

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 14 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 14 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-14
Código original :	TSA 100

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-14 TSA 100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	58

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 15 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 14 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-15
Código original :	TSA200

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-15 TSA200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	103

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 16 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 14 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-16  
 Código original : T 1B2 3

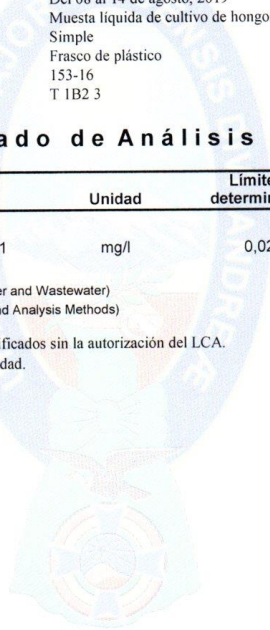
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-16 T 1B2 3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	1,2

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 17 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 14 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-17
Código original :	T 1B2 100

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-17 T 1B2 100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	52

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 18 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 14 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-18
Código original :	T 1B2 200

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-18 T 1B2 200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	116

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCHILCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 19 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Ciente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-19
Código original :	T 1B3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-19 T 1B3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	1,2

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 20 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 14 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-20  
 Código original : T 1B 100

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-20 T 1B 100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	36

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 21 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 14 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-21
Código original :	T 1B 200

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-21 T 1B 200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	105

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

*Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia*



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 22 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio (Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 14 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-22  
 Código original: TSA 3

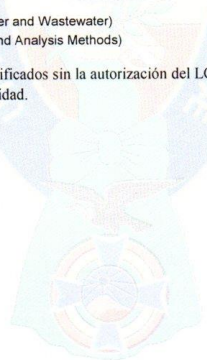
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	153-22 TSA 3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	1,9

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 23 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 14 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-23
Código original :	T SA100

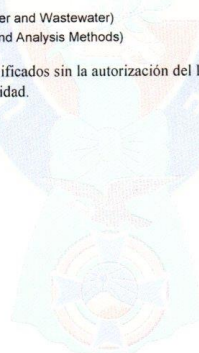
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-23 T SA100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	35

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

*Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia*

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 24 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 14 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-24  
 Código original : T SA 200

**Resultado de Análisis**

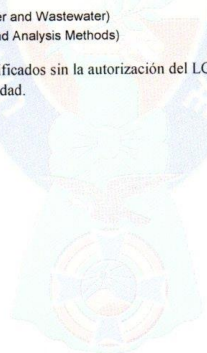
Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-24 T SA 200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	114

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 25 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-25
Código original :	T 1B2 3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-25 T 1B2 3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	0,50

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
JCH/LCA

*Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia*



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 26 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA -PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-26
Código original :	T 1B2 100

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-26 T 1B2 100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	34

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

*Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia*

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 27 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente: **UNA - PUNO**  
 Solicitante: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Dirección del cliente: Puno  
 Procedencia de la muestra: UNA - PUNO  
 Provincia: Puno  
 Departamento: Puno  
 Punto de muestreo: Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)  
 Responsable del muestreo: Sr. Weliam Frede Cruz Casas  
 Fecha de muestreo: 18 de julio de 2019  
 Hora de muestreo: 15:00  
 Fecha de recepción de la muestra: 08 de agosto de 2019  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 08 al 19 de agosto, 2019  
 Caracterización de la muestra: Muestra líquida de cultivo de hongos  
 Tipo de muestra: Simple  
 Envase: Frasco de plástico  
 Código LCA: 153-27  
 Código original : T 1B2 200

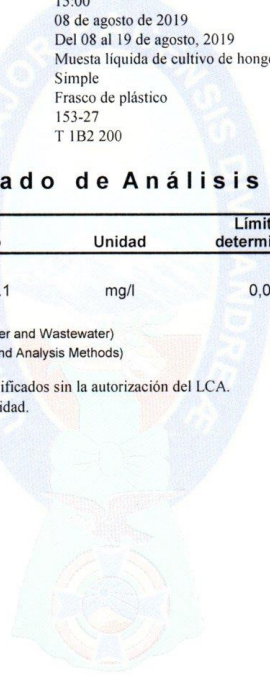
**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-27 T 1B2 200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	102

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 28 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-28
Código original :	Testigo 3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-28 Testigo 3
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	2,8

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 29 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-29
Código original :	Testigo 100

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-29 Testigo 100
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	97

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 153/19

Página 36 de 36

**INFORME DE ENSAYO EN MUESTRA LÍQUIDA A 153/19**

Cliente:	<b>UNA - PUNO</b>
Solicitante:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Dirección del cliente:	Puno
Procedencia de la muestra:	UNA - PUNO
	Provincia: Puno
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Mega Laboratorio /Sanidad Vegetal)
Responsable del muestreo:	Sr. Weliam Frede Cruz Casas
Fecha de muestreo:	18 de julio de 2019
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	08 de agosto de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 08 al 19 de agosto, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida de cultivo de hongos
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de plástico
Código LCA:	153-36
Código original :	Testigo 200

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	153-30 Testigo 200
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,020	197

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
 EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Agosto 22 de 2019

Ing. Jaime Chincheros Panigua  
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia