



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR  
RELAVES MINEROS EN ZONAS ÁRIDAS MEDIANTE  
*Melocactus peruvianus* Y *Haageocereus acranthus*”**

Tesis para optar el título profesional de:  
INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:  
Hector Ivan Macedo Romero (0000-0003-0056-9654)

Asesor:  
Susan Mery Medina Canzio (0000-0003-2574-7728)

Lima – Perú  
2022

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 10 de Febrero 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. María de los Ángeles La Torre Cuadros
Miembro: Mg. Ing. Alexander Emanuel Diaz Sotil
Miembro: Dr. Brenton Mark Ladd

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**“FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR RELAVES MINEROS EN ZONAS ÁRIDAS  
MEDIANTE *Melocactus peruvianus* Y *Haageocereus acranthus*”**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Héctor Ivan Macedo Romero**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Dra. Susan Mery Medina Canzio

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental a en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesisista: Héctor Ivan Macedo Romero		Nota (en letras): 16 (dieciséis)	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena ( X )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dra. María de los Ángeles La Torre Cuadros**  
Presidente



**Mg. Ing. Alexander Emanuel Diaz Sotil**  
Miembro 1



**Dr. Brenton Mark Ladd**  
Miembro 2



**Dra. Susan Mery Medina Canzio**  
Asesor

## DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mi hijo Francesco por devolver el norte a mi vida y sacar siempre lo mejor de mí. De igual forma, a mis padres, por nunca dejar de creer en mí, por apoyarme incondicionalmente en cada momento y por todo el esfuerzo y sacrificio que hicieron durante cada etapa de mi vida para que yo pudiera llegar hasta aquí, siempre prevaleciendo que la educación y el conocimiento son la mejor herencia que pueden dejarme.

Asimismo, a mi novia por todo el apoyo brindado para poder finalizar mi meta universitaria y por siempre creer en que llegare lejos. Por último, dedico este proyecto a todos mis abuelos y abuelas, ya que me hubiera gustado el privilegio de tenerlos a todos presentes, mostrándoles la culminación de mi vida universitaria.

**AGRADECIMIENTOS**

Quisiera comenzar agradeciendo a Dios por siempre guiar mis pasos y nunca abandonarme, agradezco al Señor Carlos Segura del Municipio de Sisicaya por facilitar el conocimiento para poder encontrar las especies que usaría en mi experimento. Agradezco a Edson Villavicencio, José Luis Apeña y Paolo Gongora por la gran amistad y todo el tiempo brindado para encontrar, elaborar, construir y transportar mi proyecto, a fin de que estuviera listo para iniciarlo y finalizarlo.

De misma manera, agradezco al Lic. Gustavo Dreyfus por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera universitaria, al Mg. Gonzalo Flores por facilitarme el uso de las instalaciones de la facultad de ingeniería ambiental. También estoy muy agradecido del Dr. Miguel Fernández, por el interés y soporte ofrecido para la elaboración y culminación de mi proyecto. Agradezco al fondo semilla por la confianza en este proyecto de tesis y los fondos brindados para este proyecto. De forma muy especial, quiero agracer a la empresa Innova exploration and logistics por proporcionar sus recursos desinteresadamente, con el único fin de apoyar mi desarrollo y mi meta profesional.

Por último y principalmente; quiero agradecer a mi asesora de tesis, la Dra. Susan Medina, por ser la heroína de mi historia universitaria, la persona que jamás me dejo de lado y que siempre estuvo pendiente de mis procesos de mejora, como persona y como futuro profesional, no solo ha sido una gran asesora de tesis sino una gran amiga que me exige dar más.

FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR  
RELAVES MINEROS EN ZONAS ÁRIDAS MEDIANTE  
*Melocactus peruvianus* Y *Haageocereus acranthus*

Hector Macedo-Romero<sup>1</sup>, Susan Medina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

Autor de correspondencia: [smedinaca@cientifica.edu.pe](mailto:smedinaca@cientifica.edu.pe)

**RESUMEN:**

El crecimiento de la minería y las actividades de procesamiento de minerales ha provocado un aumento peligroso en la cantidad de materiales que se liberan, generalmente metales pesados que representan un riesgo grave para los seres humanos, animales y para el ambiente.

El uso de plantas para descontaminar suelos es una tecnología prometedora dados sus potenciales fitorremediadores. La fitorremediación es un proceso ecológico con un enfoque práctico para limpiar suelos contaminados con metales, siendo uno de los métodos más rentables de extracción de metales del suelo. El presente estudio evaluó la eficacia de la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros con las cactáceas *Melocactus peruvianus* y *Haageocereus acranthus*. Se realizó un experimento donde se encontró acumulación heterogénea de metales tanto en raíces y tallos, así como en el suelo de siembra para ambas especies de cactáceas. Se obtuvieron resultados positivos en el factor de translocación de todas las especies, se encontró que *Melocactus peruvianus* tiene el BFC (Factor de bioconcentración) máximo para cobre de 50,016 en la raíz y seguido de *Haageocereus acranthus* que posee un BCF máximo de 32,327 para cobre. Ambas especies han demostrado tener un potencial fitorremediador que puede ser usado con enfoque sostenible, respondiendo a los desafíos y las oportunidades en la fitorremediación para la recuperación de metales pesados de suelos contaminados de ambientes áridos como biotecnología sostenible en el campo ambiental.

**Palabras clave:** Cactus, fitorremediación, metales pesados, zonas áridas, contaminantes

**ABSTRACT:**

The increment of mining and mineral processing activities has led to a dangerous increase in the number of materials which are being released, usually heavy metals that pose a serious risk to humans, animals, and the environment. The use of plants to decontaminate soils is a promising technology given their phytoremediation potential. Phytoremediation is an ecological process with a practical approach to clean up metal-contaminated soils, being one of the most cost-effective methods of removing metals from soil. This study evaluated the efficacy of phytoremediation of soils contaminated by mine tailings with the cacti *Melocactus peruvianus* and *Haageocereus acranthus*. An experiment was carried out where heterogeneous accumulation of metals was found in roots and stems, as well as in the substrate soil for both species of cacti. Positive results were obtained in the translocation factor for all species, it was found that *Melocactus peruvianus* has the maximum BCF (Bioconcentration Factor) for root of 50.016 and followed by *Haageocereus acranthus* which has a maximum BCF of 32.327. Both species have demonstrated a phytoremediation potential that can be used with sustainable approach, responding to the challenges and opportunities in phytoremediation for the recovery of heavy metals from contaminated soils of arid zones as sustainable biotechnology in the environmental field.

**Keywords:** Cacti, phytoremediation, heavy metals, arid zones, pollutants, contaminants