



Universidad  
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto de la aplicación de microorganismos eficaces  
en el contenido de cadmio y propiedades  
fisicoquímicas de un suelo contaminado del distrito  
de Orcotuna, Concepción, 2017**

para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

**Evelyn Katherine Llanos Quispe**

Huancayo, 2018



Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por a verme apoyado en todo momento, brindándome su tiempo, paciencia y contribuyendo a los recursos que requirió esta investigación.

A los docentes que, compartieron sus experiencias y conocimientos conmigo, dándome las herramientas que he utilizado en la presente investigación

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación, está dedicado a mis padres, por su apoyo incondicional durante toda mi formación, por su esfuerzo en brindarme una educación integral; a mis hermanos, por su confianza, paciencia y sus palabras de aliento.

## INDICE GENERAL

	Página
Carátula.....	i
Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiv
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.2 Formulación del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 General.....	3
1.2.2 Específicos.....	3
1.3 Justificación e importancia.....	3
1.3.1 Justificación tecnológica.....	3
1.3.2 Justificación social.....	3
1.3.3 Justificación académica.....	4
1.3.4 Importancia de la investigación.....	4
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 General.....	4
1.4.2 Específicas.....	4
1.5 Descripción de variables.....	4
1.5.1 Variable independiente.....	4
1.5.2 Variables dependiente.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes del problema.....	7

2.2 Base teórica.....	12
2.2.1 El cadmio en el suelo.....	12
2.2.2 Los microorganismos eficientes.....	17
2.2.3 El ECA de suelos del Perú.....	23
2.3 Definición de términos básicos.....	25
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	28
3.1 Método y alcance de la investigación.....	28
3.1.1 Método de la investigación.....	28
3.1.2 Alcances de la investigación.....	29
3.2 Diseño de la investigación.....	29
3.3 Población y muestra.....	31
3.3.1 Población.....	31
3.3.2 Muestra.....	32
3.4 Técnicas de recolección de datos.....	32
3.5 Técnicas de análisis de datos.....	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	34
4.1.1 Características físico-químicas del suelo del experimento.....	34
4.1.2 Contenido de cadmio al final del experimento.....	36
4.1.3 pH del suelo.....	39
4.1.4 Conductividad eléctrica del suelo.....	42
4.1.5 Carbonato de calcio del suelo.....	45
4.1.6 Materia orgánica del suelo.....	47
4.1.7 Fósforo disponible del suelo.....	49
4.1.8 Potasio disponible del suelo.....	52
4.1.9 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo (meq/100 g).....	55
4.2 Discusión de resultados.....	56
4.2.1 Contenido de cadmio en el suelo al final del experimento.....	58
4.2.2 pH del suelo.....	59
4.2.3 Conductividad eléctrica del suelo.....	59
4.2.4 Carbonato de calcio del suelo.....	58
4.2.5 Materia orgánica del suelo.....	60
4.2.6 Fósforo disponible del suelo.....	61
4.2.7 Potasio disponible del suelo.....	61
4.2.8 Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) del suelo.....	62

CONCLUSIONES.....	63
Recomendaciones.....	65
Referencias bibliográficas.....	66
ANEXOS.....	71

## INDICE DE TABLAS

Nº	Contenido	Página
1	Operacionalización de las variables en estudio.....	6
2	La exposición humana al cadmio del suelo en condiciones ambientales (lejos de las fuentes puntuales) y en la región donde la enfermedad del itai-itai relacionada con el cadmio se observó por primera vez en la década de 1960.....	14
3	Emisiones de cadmio antropogénicas totales en la Unión Europea (t/año) desde la industria de Cd/CdO y sus usuarios comunes y emisiones difusas de cadmio de otras fuentes estimadas en el año 2002.....	15
4	El balance de entradas y salidas (g Cd/ha/año) en suelos agrícolas europeos estimado para el año 2002.....	16
5	Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.....	23
6	Tratamientos en estudio.....	30
7	Resultado del análisis de caracterización del suelo del distrito de Orcotuna.....	34
8	Resultado del análisis de Cadmio del suelo del distrito de Orcotuna	35
9	Resultados del contenido de cadmio en el suelo (mg/kg).....	36
10	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para contenido de cadmio en el suelo.....	36
11	Análisis de variancia del contenido de cadmio.....	37
12	Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.....	38
13	Resultados del pH del suelo.....	39

14	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para pH del suelo.....	40
15	Prueba de Kruskal – Wallis. pH del suelo.....	41
16	Resultados de la conductividad eléctrica del suelo (dS/m).....	42
17	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para Conductividad Eléctrica del suelo.....	42
18	Análisis de variancia de la conductividad eléctrica del suelo.....	43
19	Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.....	44
20	Resultados del contenido de carbonato de calcio (%)......	4
21	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para contenido de carbonato de calcio en el suelo.....	45
22	Prueba de Kruskal – Wallis. CaCO <sub>3</sub> del suelo.....	46
23	Resultados del análisis de materia orgánica del suelo (%)......	47
24	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para materia orgánica del suelo.....	48
25	Prueba de Kruskal – Wallis. Materia orgánica del suelo.....	48
26	Resultados del fósforo disponible del suelo (ppm).....	49
27	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para fósforo disponible del suelo.....	50
28	Análisis de variancia del fósforo disponible del suelo.....	51
29	Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.....	51
30	Resultados del potasio disponible del suelo (ppm).....	52
31	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para potasio disponible del suelo.....	53
32	Análisis de variancia del potasio disponible del suelo (ppm).....	53
33	Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.....	54
34	Resultados de la CIC del suelo (meq/100 g).....	55
35	Prueba de normalidad de Shapiro – Wilks para CIC del suelo.....	56
36	Prueba de Kruskal – Wallis. CIC del suelo.....	56

## INDICE DE FIGURAS

Nº	Nombre	Página
1	Obtención de muestra de suelo individual.....	32
2	Promedios del contenido de cadmio en el suelo, para cada tratamiento	39
3	Promedios del pH en el suelo, para cada tratamiento.....	41
4	Promedios de la conductividad eléctrica en el suelo, para cada tratamiento.....	44
5	Promedios del contenido de CaCO <sub>3</sub> en el suelo, para cada tratamiento.....	47
6	Promedios del contenido de materia orgánica en el suelo, para cada tratamiento.....	49
7	Promedios de la disponibilidad de fósforo en el suelo, para cada tratamiento.....	52
8	Promedios de la disponibilidad de potasio en el suelo, para cada tratamiento.....	55
9	Promedios de la Capacidad de Intercambio catiónico en el suelo, para cada tratamiento.....	57

## RESUMEN

Los suelos del valle del Mantaro son de uso intensivo especialmente en la parte media y baja, debido a su alto potencial productivo, por lo que ha generado el uso de diversos insumos, como fertilizantes, pesticidas, hormonas y abonos, cuyos residuos han ido contaminado el suelo, junto con el agua de riego proveniente del río Mantaro; encontrándose altos niveles de cadmio total. El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el efecto de la aplicación de los microorganismos eficaces (EM-1) en el contenido de cadmio total y las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, planteándose como hipótesis que la aplicación de los microorganismos eficaces (EM-1) mejorarán las propiedades del suelo y disminuirá el cadmio total de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017. El método general de investigación fue hipotético deductivo, el tipo de investigación fue aplicada y las muestras de suelo fueron recolectadas de una parcela agrícola contaminada con cadmio del distrito de Orcotuna en un total promedio de 5 kg, del horizonte Ap, a una profundidad promedio de 20 cm; estas muestras fueron dispuestas en un diseño experimental Completamente al Azar, donde se aplicó los tratamientos .Se utilizó los instrumentos como la georeferenciación publicada en el Proyecto "Mantaro Revive", de Caritas Huancayo ,GPSMAP 64s, Garmin, bolsas de yute para obtener las 15 muestras simples.

Los resultados mostraron que el método aplicado no tiene efecto significativo en la disminución de cadmio, y la aparente disminución se debe a la dilución de las muestras realizadas en el procedimiento de la experimentación con humus de lombriz. Los resultados obtenidos con respecto al contenido inicial (14,89 mg/kg), habiéndose encontrado valores de 12,93 mg/kg (tratamiento 10: 20% EM+20% HL) y 14,86 mg/kg (tratamiento 1: testigo), después del periodo de incubación, durante las 8 semanas a 25°C); el pH del suelo se incrementó, en los tratamientos 4 (15% EM, pH = 7,98), 5 (20% EM, pH = 8,097) y 10 (20% EM + 20% HL, pH = 8,093), respecto al valor inicial (pH = 7,97); la conductividad eléctrica, varió de 0,513 dS/m (Tratamiento 1, testigo) a 8,070 dS/m (Tratamiento 5: 20% EM); la materia orgánica varió de 2,51% (Tratamiento 1: testigo) a 8,80% (Tratamiento 10: 20% MO+20% HL); el fósforo disponible del suelo aumentó, con valores entre 16,433 ppm (Tratamiento 2: 5% EM) hasta 153,567 ppm (Tratamiento 6: 20% HL); el potasio disponible aumentó significativamente, con desde 267,333 ppm (Tratamiento 1: testigo) hasta 5813,333 ppm (Tratamiento 10: 20% EM+20% HL); la Capacidad de Intercambio Catiónico se incrementó con la aplicación de microorganismos

eficaces y humus de lombriz, con valores de 20,373 meq/100 g (Tratamientos 3: 10% EM y 4: 155 EM) hasta 27,307 meq/100 g (Tratamientos 7: 5% EM+20% HL y 8: 10% EM+20% HL).

Concluyendo que la aplicación de EM-1 al suelo disminuyó la cantidad de Cd total en el suelo, incrementó la materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible y la capacidad de intercambio catiónico, incrementando así la fertilidad del suelo, desde un nivel medio hasta un nivel alto.

*Palabras clave: contaminación del suelo, cadmio en el suelo, propiedades físico-químicas del suelo, microorganismo eficaces.*

## ABSTRACT

The soils of the Mantaro valley are of intensive use especially in the middle and lower parts, due to its high productive potential, which has generated the use of various inputs, such as fertilizers, pesticides, hormones and fertilizers, whose waste has been contaminated the soil, together with the irrigation water from the Mantaro river; finding high levels of total cadmium. The objective of this research work was to determine the effect of the application of effective microorganisms (EM-1) on the total cadmium content and the physicochemical properties of a contaminated soil in the Orcotuna district, Concepción province, considering as hypothesis that the application of effective microorganisms (EM-1) will improve the properties of the soil and decrease the total cadmium of a contaminated soil in the district of Orcotuna, province of Concepción, 2017. The general method of investigation was hypothetical deductive, the type of research was applied and the soil samples were collected from an agricultural plot contaminated with cadmium from the district of Orcotuna at an average total of 5 kg, from the Ap horizon, at an average depth of 20 cm; These samples were arranged in a completely randomized experimental design, where the treatments were applied. Instruments such as georeferencing published in the "Mantaro Revive" Project, Caritas Huancayo, GPSMAP 64s, Garmin, jute bags to obtain the 15 simple samples.

The results showed that the applied method has no significant effect on the decrease of cadmium, and the apparent decrease is due to the dilution of the samples made in the experimental procedure with earthworm humus. The results obtained with respect to the initial content (14.89 mg / kg), having found values of 12.93 mg / kg (treatment 10: 20% EM + 20% HL) and 14.86 mg / kg (treatment 1: control), after the incubation period, during the 8 weeks at 25 ° C); the pH of the soil increased, in treatments 4 (15% EM, pH = 7.98), 5 (20% EM, pH = 8.097) and 10 (20% EM + 20% HL, pH = 8.093), at the initial value (pH = 7.97); electrical conductivity ranged from 0.513 dS / m (Treatment 1, control) to 8.070 dS / m (Treatment 5: 20% EM); organic matter varied from 2.51% (Treatment 1: control) to 8.80% (Treatment 10: 20% MO + 20% HL); available soil phosphorus increased, with values between 16.433 ppm (Treatment 2: 5% EM) to 153.567 ppm (Treatment 6: 20% HL);

available potassium increased significantly, from 267.333 ppm (Treatment 1: control) to 5813.333 ppm (Treatment 10: 20% EM + 20% HL); The Cationic Exchange Capacity was increased with the application of effective microorganisms and earthworm humus, with values of 20,373 meq / 100 g (Treatments 3: 10% EM and 4: 155 EM) up to 27,307 meq / 100 g (Treatments 7: 5 % EM + 20% HL and 8: 10% EM + 20% HL).

Concluding that the application of EM-1 to the soil decreased the amount of total Cd in the soil, it increased the organic matter, available phosphorus, available potassium and the cation exchange capacity, thus increasing the fertility of the soil, from a medium level to a high level.

Key words: soil contamination, cadmium in the soil, physical-chemical properties of the soil, effective microorganisms.f

## INTRODUCCION

El cadmio es un metal pesado presente normalmente en los suelos, pero cuando tiene altas concentraciones se convierte en contaminante, afectando el funcionamiento del suelo y sus propiedades. El exceso de elementos en el suelo afecta a las plantas, a los organismos del suelo y los demás seres vivos relacionados al suelo, como es el hombre y los animales, que consumen lo que produce el suelo.

La variabilidad espacial del contenido de metales pesados en la capa superficial de suelo puede estar afectada por el material parental del suelo y fuentes antropogénicas. Los problemas asociados con la caracterización de metales pesados en la mayoría de los lugares son frecuentemente debido a múltiples fuentes de contaminación (1). En ecosistemas agrícolas, donde la crianza de animales y las prácticas agrícolas relacionadas son intensivas, los metales pesados pueden también alcanzar el suelo debido a la aplicación de fertilizantes inorgánicos y abonos animales (o sus derivados, compost o lodos). Estas prácticas son una importante fuente de metales pesados, particularmente Zn, Cu y Cd (2).

La distribución y disponibilidad de metales pesados en el suelo depende de la clase de metal y tipo de suelo, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico, contenido y tipo de mineral de arcilla, contenido de materia orgánica, óxidos de hierro, manganeso y aluminio, condiciones redox, y quelatos exudados por las raíces en la rizosfera que facilitan la biodisponibilidad de metales (3).

Entre los metales pesados, el cadmio (Cd) y su destino en el suelo ha recibido gran atención debido a la facilidad en que es absorbido por las plantas, haciéndose más tóxico que otros metales pesados y consecuentemente imponiendo efectos dañinos nocivos sobre los humanos y otros animales al entrar a los canales alimenticios (4). Por lo tanto, el conocimiento acerca de los factores que afectan la disponibilidad de cadmio y la conversión de sus formas químicas en el suelo es importante. Los estudios sobre los cambios en la biodisponibilidad de elementos traza con el tiempo han mostrado generalmente que estos elementos tienen su más alta biodisponibilidad inmediatamente después de su aplicación al suelo. Sin embargo, conforme pasa el tiempo su movilidad y biodisponibilidad son

controlados por diferentes mecanismos como la adsorción superficial sobre los coloides del suelo, reacciones de intercambio, quelación, reacciones redox, etc., que resultan en la conversión de formas altamente solubles en formas menos solubles (5).

Por muchos años, los microbiólogos del suelo y ambientales han tendido a diferenciar los microorganismos del suelo entre benéficos y dañinos, acorde a sus funciones y a su efecto en la calidad del suelo, crecimiento, productividad y sanidad de las plantas. Entre los microorganismos benéficos están aquellos que fijan nitrógeno atmosférico, descomponen desechos y residuos orgánicos, desintoxican el suelo de pesticidas, suprimen enfermedades de plantas y patógenos del suelo, incrementan el reciclaje de nutrientes y producen componente bioactivos como vitaminas, hormonas y enzimas que estimulan el crecimiento de las plantas (6).

Una clasificación más específica de los microorganismos benéficos ha sido sugerida por Higa, quien hace referencia a los "Microorganismos efectivos" o EM. Estos organismos utilizados como inoculantes microbianos se utilizan para lograr un equilibrio microbiológico del suelo de manera que pueda mejorar su calidad, incrementando la producción y protección de los cultivos, conservando los recursos naturales y creando una agricultura y medio ambiente más sostenibles (6).

En este contexto se propone la utilización de microorganismos efectivos (EM) como inoculante en un suelo contaminado con cadmio, para evaluar el efecto en su concentración y las propiedades relacionadas del suelo.

La investigación está estructurada en cinco capítulos: el capítulo I detalla el problema de la investigación, así como los objetivos y las hipótesis, además de la justificación y la importancia de la presente; el capítulo II presenta el marco teórico que abarca las bases conceptuales y los antecedentes de la investigación; el capítulo III comprende la metodología de la investigación, donde detalla los procedimientos con los cuales se realizó la presente investigación, y el capítulo IV contiene los resultados y discusión, finalizando con las conclusiones.

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

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

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

Los suelos del valle del Mantaro son de uso intensivo debido a su alto potencial productivo, especialmente en la parte media y baja, pero eso mismo ha generado el uso de diversos insumos, como fertilizantes, pesticidas, hormonas y abonos, cuyos residuos progresivamente han ido contaminado el suelo, junto con el agua de riego proveniente del río Mantaro, que contiene residuos de relaves mineros; consecuencia de esto, los suelos agrícolas contaminados, han mostrado la necesidad de más insumos para lograr mantener e incrementar su productividad, ocasionando un progresivo deterioro de su fertilidad y capacidad productiva, que es la expresión de la interacción de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.

Cada año, millones de toneladas de productos industriales, domésticos, y agrícolas, potencialmente tóxicos y materiales de desecho encuentran su camino dentro de los suelos del mundo. Una vez en el suelo, se hacen parte de ciclos biológicos que afectan todas las formas de vida. El suelo tiene una enorme capacidad para acomodar productos químicos orgánicos e inorgánicos agregados. Toneladas de residuos orgánicos son descompuestas por los microorganismos del suelo, cada año, y grandes cantidades de productos químicos inorgánicos son fijados o enlazados por los minerales del suelo. Nosotros también hemos aprendido de los límites de la capacidad del suelo para adsorber estos compuestos químicos, y como experimenta la calidad ambiental cuando se excede estos límites (7).

Estos suelos, que progresivamente van perdiendo sus propiedades físico-químicas, y tienen menor potencial productivo, especialmente de cultivos anuales, requieren ser mejorados, para evitar que disminuyan los rendimientos, para lo cual se dispone de enmiendas orgánicas, como son el compost, el estiércol de lombriz, el guano de islas, y otras fuentes similares, así como enmiendas inorgánicas, como el yeso, la cal o la dolomita.

Una tecnología usada para mejorar los suelos, es a través de la aplicación de microorganismos eficaces (EM, por las siglas en inglés). “El EM consiste en cultivos mixtos de microorganismos benéficos y naturales que coexisten en un medio líquido. Cuando se aplican inoculadores microbianos a la basura orgánica o se introducen en el medio ambiente, su efecto benéfico individual se multiplica en forma sinérgica. El cultivo consiste sobre todo de bacterias lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras, y contiene más de 80 diferentes microorganismos en total” (8).

En la mayoría de los casos, la aplicación de organismos al suelo constituye el campo de la biorremediación de suelos, cuyo proceso depende de los organismos nativos del suelo. En ciertos casos, la biodegradación de contaminantes pueden ser acelerado si los microorganismos seleccionados específicamente por su habilidad para degradar contaminantes y materia orgánica son introducidos al suelo para incrementar la población microbiana natural.

### **1.1.2 Formulación del problema**

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

¿Cuál es el efecto de la aplicación de los microorganismos eficaces (EM-1) en el contenido de cadmio y las propiedades físicoquímicas de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017?

#### **B) Problemas específicos**

¿Cuál es el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM-1), en dosis de 5, 10, 15 y 20%, con y sin humus de lombriz, en el contenido de cadmio de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017.?

¿Cuál es el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM-1) en dosis de 5%,10%,15% y 20%, con y sin humus de lombriz, en las propiedades físicoquímicas de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017.?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

Determinar el efecto de la aplicación de los microorganismos eficaces (EM-1) en el contenido de cadmio y las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017.

### **1.2.2 Específicos**

- Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM-1), en dosis de 5, 10, 15 y 20%, con y sin humus de lombriz, en el contenido de cadmio de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017.
- Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM-1), en dosis de 5%,10%,15% y 20%, con y sin humus de lombriz, en las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017

## **1.3 Justificación e importancia**

### **1.3.1 Justificación tecnológica**

La utilización de microorganismos eficaces abre una ventana tecnológica de carácter biológico en la remediación de suelos contaminados, siendo esta de carácter natural, de bajo costo y accesible a los productores para disminuir la contaminación de cadmio en los suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, cuyo exceso de este metal pesado puede afectar a las plantas, a los animales, al hombre y a los organismos del suelo, asegurando de esta manera una alternativa factible para mejorar el servicio ecosistémico del suelo al ambiente.

### **1.3.2 Justificación social**

La remediación de suelos contaminados con cadmio, disminuirá los niveles de concentración de este metal pesado en el suelo, y evitará la contaminación del agua y del aire, componentes íntimamente relacionados al suelo, y de esa manera mejorará la calidad del ambiente donde los productores agrícolas desarrollan sus actividades que le sirven de sustento socioeconómico, pues son la principal labor que realizan en los suelos agrícolas del distrito de Orcotuna, que se mantiene de generación en generación y asegura los alimentos para los pobladores de la sierra central del Perú y de nuestra capital.

### **1.3.3 Justificación académica**

Los resultados que se obtengan de la aplicación de microorganismos eficaces al suelo contaminado con cadmio del distrito de Orcotuna, servirá de base para tener alternativas de remediación de suelos, basados en técnicas biológicas, seguras, y perdurables en el tiempo, pues se incrementa la población y actividad microbial del suelo, que asegura su sostenibilidad, junto con el efecto que producen los abonos orgánicos como el humus de lombriz, que recicla residuos orgánicos disponibles en la zona para contribuir a la mejora del suelo.

#### **1.3.4 Importancia de la investigación**

La aplicación de microorganismos eficaces al suelo, que tiene un exceso de cadmio, y que lo convierte en contaminado, por superar el Estándar de Calidad Ambiental, puede garantizar una técnica, que además de estar accesible a los productores del valle del Mantaro, por su bajo costo, asegura la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas, por utilizarse junto con fuentes orgánicas, como lo es el humus de lombriz, y de esa manera evitar que las plantas cultivadas absorban y acumulen en sus órganos vegetativos y se distribuyan a través de la cadena trófica a diferentes organismos, incluyendo el hombre y de esa manera, se mejore la calidad ambiental y la calidad de vida del poblador de la sierra central del Perú.

### **1.4 Hipótesis**

#### **1.4.1 General**

El uso de los microorganismos eficaces (EM-1) mejorarán las propiedades fisicoquímicas del suelo y disminuirá la cantidad total de cadmio de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017.

#### **1.4.2 Específicas**

Las dosis de 5%,10%.15% y 20% de EM-1, con y sin humus de lombriz, disminuirá el contenido de cadmio total un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017.

Las dosis de 5%,10%.15% y 20% EM-1, con y sin humus de lombriz, mejorarán las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, 2017.

### **1.5 Descripción de variables**

#### **1.5.1 Variable independiente**

X = Microorganismos eficaces

**Definición:** Cultivo mixto de organismos benéficos biosintetizadores de origen natural, aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbial de los suelos y plantas.

**Dimensiones:** Dosis de microorganismos eficaces

**Indicador:** % de EM

### **1.5.2 Variable dependiente**

Y1 = Propiedades físico-químicas del suelo

**Definición:** Características propias del suelo que determinan su calidad y productividad.

**Dimensiones:** Contenidos altos, bajos o medios de los contenidos en el suelo o calificaciones de cada propiedad del suelo.

**Indicadores:** cadmio total en el suelo, pH, conductividad eléctrica, calcáreo, materia orgánica, contenido de nutrientes, CIC.

Tabla 1. Operacionalización de las variables en estudio.

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
<p><b>V.I.</b>  <b>Microorganismos Eficaces</b>  <b>(EM - 1)</b></p>	<p>Cultivo mixto de organismos benéficos de origen natural, aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbial de los suelos y plantas.</p>	<p>Dosis de EM-1 al suelo</p>	<p>- EM aplicado al suelo</p>
<p><b>V.D.</b>  <b>1. Propiedades del suelo</b></p>	<p>PFQS: Características propias del suelo que determinan su calidad y productividad.</p>	<p>Propiedades químicas: fáciles de modificar a través del manejo del suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH</li> <li>- CaCO<sub>3</sub></li> <li>- Contenido de P</li> <li>- Contenido de K</li> <li>- CIC</li> <li>- Conductividad eléctrica</li> </ul>
	<p>CS: Cantidad de cadmio del suelo, que puede ser asimilado por organismos y la planta.</p>	<p>Concentración de cadmio en el suelo</p>	<p>- Cadmio total</p>

|

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

### **2.1 Antecedentes del problema**

En el trabajo de investigación titulado “Influence of Effective Microorganisms (EM) on vegetable production and carbon mineralization - A preliminary investigation”, se tuvo como objetivos evaluar la influencia de EM sobre el rendimiento de hortalizas, y determinar si bajo condiciones controladas, el EM podría estimular la mineralización del carbono. Los EM, inoculantes microbiales comerciales conteniendo levaduras, hongos, bacterias y actinomicetos fueron evaluados en campos experimentales de cultivo de hortalizas irrigadas, de producción comercial en fincas “orgánicas” en Canterbury, New Zelanda durante 1994-1995, y en una incubación de laboratorio. Los EM más la melaza fueron aplicadas, a 10 L/ha en 10000 L agua/ha, tres veces para las cebollas, dos veces para las arvejas y siete veces para el maíz dulce. El EM más la melaza incrementó el rendimiento de cebolla en 29% y la proporción de cebollas de alta calidad en 76%. El EM más la melaza también incrementó el rendimiento de arveja en 31% y el peso de maíz dulce en 23%. Se condujo una incubación por 4 semanas a 30° en arena franca y 1% de residuos de pasto masa/masa, tuvo tratamientos incluyendo un control, glucosa, y EM más glucosa, y el carbono respirado fue capturado usando trampas de NaOH. Al final de la incubación el tratamiento con glucosa respiró 30% más carbono que el control. El tratamiento con EM respiró 8% más carbono que el tratamiento con glucosa. Usando EM se estimuló la mineralización del carbono en la incubación de laboratorio (9).

En el trabajo de investigación titulado “Efecto de la tecnología de microorganismos eficaces en suelos intervenidos antrópicamente del parque forestal embalse del Neusa, departamento de Cundimarca” se tuvo como objetivos: (i) identificar los microorganismos presentes en el suelo del Embalse de Neusa en la zona de Laureles antes y después de la inoculación de los EM, (ii) determinar y caracterizar físico-químicamente el suelo presente en la zona de Laureles del Embalse de Neusa antes y después de la inoculación de los microorganismos eficaces, y (iii) Analizar el efecto de los EM inoculados directamente al suelo y por medio de compost a nivel *in vitro*. La muestra de suelo se obtuvo del horizonte A, a una profundidad de 20 cm, en un bosque de pino y eucalipto, ubicado en el parque forestal embalse del Neusa, en Colombia, a 65 km de Bogotá en coordenadas de 5°03´ norte, 73°58´oeste a 3100 msnm. Se identificaron las características microbiológicas y físico-químicas del suelo mediante el pH y la concentración de iones como nitrógeno, carbono, fósforo, magnesio, entre otros, antes y después de los tratamientos con EM. Se utilizó la inoculación directa de EM mezclada con diferentes tipos de compost, además se analizó el cambio físico-químico del suelo. Los resultados mostraron que los tratamientos de EM mezclados con compost tuvieron un incremento en los nutrientes y UFC (Unidades Formadoras de Colonia) a diferencia de los tratamientos donde se inocularon los EM directamente al suelo. Se evidenció un crecimiento significativo principalmente en las UFC, encontrando organismos importantes para la restauración geomorfológica como *Bacillus weihenstephanensis*, *Lactobacillus pentosus*, entre otros; por otra parte se vio un incremento de nutrientes del suelo al final del estudio, demostrado en la cantidad de fósforo que aumentó de 8 ppm a 116 ppm. El tratamiento que contenía EM mezclado con compost de cerdaza, papa y aserrín, presentó los mejores resultados. Se concluye que la tecnología EM tiene un efecto positivo en la restauración geomorfológica al mejorar las propiedades microbiológicas y físico-químicas, además se afirmó que los cambios de EM tienen una mayor eficacia en la inoculación con compost, que la inoculación directa al suelo (10).

En el trabajo de investigación titulado “Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan”, donde se tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso integrado de fertilizantes minerales y orgánicos con microorganismos efectivos sobre el rendimiento y absorción de nutrientes en algodón (*Gossypium hirsutum* L.). También se realizó una evaluación económica. Los tratamientos incluyeron: control, materiales orgánicos (MO), microorganismos efectivos (EM), MO + EM, NPK mineral (170:85:60 kg), ½ NPK mineral + EM, ½ NPK mineral + MO + EM y NPK mineral + MO + EM. La MO y los EM solos no incrementaron el rendimiento pero lograron mejorar en un 44% el rendimiento sobre el

control. La aplicación de NPK en combinación con MO y EM resultó en el más alto rendimiento de algodón (2470 kg/ha). El uso integrado de MO + EM con ½ NPK mineral dio un rendimiento de 2029 kg/ha, similar al rendimiento obtenido con la fórmula completa de NPK recomendada (2165 kg/ha), indicando que esta combinación puede sustituir 85 kg N/ha. La combinación de fuentes de N con EM puede incrementar la concentración de NPK en las plantas, El análisis económico sugiere que el uso de ½ NPK mineral con EM + MO ahorra el fertilizante nitrogenado mineral en casi 50% comparado a un sistema con solo la aplicación de NPK mineral. Este estudio indicó que la aplicación de EM incrementó la eficiencia de ambas fuentes de nutrientes, orgánica e inorgánica, pero solo fue inefectiva en incrementar el rendimiento (11).

En el trabajo de tesis titulado “Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016”, se tuvo como objetivos específicos, determinar la influencia de las dosis de aplicación de microorganismos eficaces (EM-Compost) en los parámetros de calidad del compost (físicos y químicos), preparado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción y determinar la relación entre las dosis de EM-compost y los parámetros de calidad del compost. Se utilizó el método experimental, con dosis de 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de EM-compost, cada una con tres repeticiones, en pilas de 0,36 m<sup>2</sup> por unidad experimental. La aplicación de dosis crecientes de EM-Compost permitieron obtener un compost de calidad, según los parámetros de FAO utilizados como referencia, la materia orgánica varió de 37,09% a 38,12%, el nitrógeno total varió de 1,88% a 2,00%, el contenido de fósforo total fluctuó entre 0,140% a 0,160%, el potasio total varió de 0,954% a 1,253%, la relación C/N varió de 10,554 a 11,457, el pH varió de 7,9 a 8,467; finalmente la conductividad eléctrica varió de 1,8453 dS/m a 1,9427 dS/m. Además, el contenido de cadmio disminuyó con las dosis de 2% y 8%; y el contenido de cromo total disminuyó con las dosis de 2% y 4%. El tiempo de compostaje se dio entre 35 y 51 días (12).

En el trabajo de tesis titulado: “Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de Microorganismos Eficaces – Concepción,” se tuvo como objetivo determinar el tiempo y calidad del compost posterior a la aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos “Centro Ecoturístico de Protección Ambiental Santa Cruz –CEPSAC”, en la provincia de Concepción. Para la investigación se empleó el método experimental con un Diseño Completamente al Azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones, para lo cual se instaló pilas composteras de 100 x 100 x 30 cm, donde se monitoreo el proceso de compostaje mediante el análisis físico, se analizó las muestras en el laboratorio de análisis de suelos y en el laboratorio de ecología

microbiana y biotecnología “Mariano Tabusso” de la Universidad Agraria La Molina. Se empleó el modelo de Análisis de varianza ANOVA; para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos se efectuó la prueba de Tukey al 95% de confianza, cuyos datos se procesaron en el software SPSS 20. El compost final se obtuvo en 43 días; de acuerdo a la calidad del compost para la Norma Chilena 2880 el tratamiento 0 (Testigo), tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 se encuentran dentro de los parámetros generales excepto en la conductividad eléctrica y contenido de metales pesados lo cual hace que su uso sea restringido para la aplicación a tierra agrícola. Sin embargo todos los tratamientos cumplen con los rangos establecidos en la norma 503-Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), norma técnica Colombiana 5167 y la Organización Mundial de la Salud (13).

En el trabajo de tesis titulado: “Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja”, se tuvo como objetivo determinar los efectos de los microorganismos eficaces (EM) en el tratamiento de agua y lodo residual de la PTAR Jauja. La aplicación de microorganismos eficaces se realizó bajo la siguiente presentación en solución o EM activado, para ello se realizaron evaluaciones a los 0, 30, 60 y 90 días después del tratamiento para determinar el efecto de estos microorganismos sobre la calidad del agua residual (pH, DBO, DQO, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, sólidos totales en suspensión, olor, color (aspecto) y temperatura) y el lodo residual (pH, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, olor, color (aspecto)). Los resultados demuestran que los microorganismos eficaces (EM) tuvieron efectos en el control del agua residual en los siguientes parámetros: aceites y grasas, DBO, color (aspecto) y coliformes termotolerantes, asimismo en términos de eficiencia, los microorganismos eficaces (EM) tuvieron efectos en la reducción de la DBO, DQO, sólidos totales y olor; obteniéndose mayor eficiencia a los 90 días después del tratamiento, mejorando de esta manera las condiciones físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales; contrastándose estos resultados con la hipótesis, donde se plantea que, los microorganismos eficaces mejoran las condiciones físico químicas y biológicas del agua residual; sin embargo, el efecto de los microorganismos eficaces sobre los parámetros de sólidos totales suspendidos y coliformes termotolerantes no logró la reducción de estos a los límites máximos permisibles establecidos por D.S. N° 003-2010-MINAM. Los microorganismos eficaces (EM) tuvieron efectos en el control del lodo residual, disminuyendo notablemente la concentración de coliformes termotolerantes, aceites y grasas, asimismo estabilizó el pH que está por debajo de los límites máximos permisibles

para lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 y los estándares de calidad típicas de lodos residuales (14).

En el trabajo de tesis titulado: “Compostaje de residuos orgánicos y de lenteja de agua (*Lemna* sp.) con aplicación de microorganismos eficaces”, se tuvo como objetivos (i) evaluar el tiempo de descomposición y la granulometría del compostaje de residuos orgánicos domésticos y lenteja de agua (*Lemna* sp.), (ii) evaluar la temperatura y pH en el compost y (iii) analizar las concentraciones de los elementos químicos nitrógeno, fósforo, potasio y sodio en la elaboración de compostaje a partir de residuos orgánicos domésticos y lenteja de agua. Se aplicó microorganismos eficaces a tres dosis (0, 100 y 200 mL). Los resultados muestran que el tiempo de descomposición a 75 días fue la lenteja de agua; 50 días los residuos sólidos, ambos con 200 mL de EM. La granulometría indica un 75 a 90% de gránulos con diámetros < 1,5 mm en ambos compost. La temperatura a 26,56°C para lenteja de agua y 27,48°C para residuos orgánicos, similares entre sí ( $p > 0,05$ ), con 200 mL de EM. El pH de lenteja de agua 6,5, residuos orgánicos 6,4 similares entre sí ( $p > 0,05$ ). Para la dosis de EM, pH neutros y similares entre sí ( $p > 0,05$ ), nitrógeno, fósforo y potasio no se encontró diferencia estadística ( $p > 0,05$ ); para sodio total la lenteja de agua presenta un valor superior al resto de dosis ( $p < 0,05$ ). Fósforo con dosis de EM: 100 MI presentó 41,075%, 200 mL a 43,72%, siendo mayores al testigo y similares entre sí ( $p < 0,05$ ); el testigo con 22,305%. Para potasio con dosis de EM: 200 MI presentó 0,685%, 100 MI con 0,595% y el testigo 0,5%, sin diferencia estadística entre sí ( $p > 0,05$ ). El sodio presenta promedios similares para 100 y 200 mL de EM: 662,5 y 725,0 respectivamente.

En el trabajo de tesis titulado: “Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre la calidad de un agua residual doméstica”, se tuvo como objetivo monitorear algunos de los cambios físicoquímicos y microbiológicos que se presentaron en un agua residual doméstica (ARD) tras aplicar tres diferentes concentraciones de EM, evaluando su efecto, la relación entre parámetros y de éstos con la calidad del agua, así como el efecto de la profundidad en la acción de EM. Adicionalmente, se buscó una aproximación al funcionamiento de EM (1/10000, 1/5000 y 1/3000 v/v), empleando tanques de 1,10 x 0,56 m y 7 mm de espesor que contenían 110 L de ARD cada uno ( $n=3$ ). Se tomaron muestras de ARD en dos alturas (20 y 40 cm) a los 0, 10, 30 y 45 días analizando parámetros físicoquímicos (OD, pH, T, DQO, DBO<sub>5</sub>, ST, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y S<sup>-2</sup>) y microbiológicos (coliformes totales y fecales, heterótrofos totales, levaduras, lactobacilos y bacterias fototróficas). Bajo las condiciones del estudio, los resultados no mostraron diferencias significativas entre las profundidades evaluadas, de igual forma no

se observaron diferencias significativas entre las profundidades evaluadas, de igual forma no se observaron diferencias significativas entre el control y los tratamientos para la mayoría de los parámetros, a excepción de la disminución significativa de  $S^{-2}$  (30 y 45 días) y coliformes fecales (10 días), así como recuentos significativamente mayores en levaduras y mayor  $DBO_5$  (30 y 45 días) en los tratamientos (16).

En el trabajo de investigación titulado: “Acción de microorganismos eficientes sobre la actividad de intercambio catiónico en plántulas de *Acacia (Acacia melanoxylon)* para la recuperación de un suelo del municipio de Mondoñedo, Cundinamarca”, se determinó la acción de microorganismos eficientes (EM) sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) para la recuperación de un suelo del municipio de Mondoñedo, Cundinamarca. Se instaló una unidad de invernadero para mantener condiciones estables. Luego de la recolección, el tamizado y la homogenización de la muestra de suelo, se realizaron análisis físico-químicos y químicos iniciales. Para el montaje de unidades experimentales se obtuvieron plántulas de *Acacia melanoxylon* provenientes de Zabinsky. Se realizó un diseño completamente aleatorizado con ocho tratamientos y tres repeticiones. Para el mantenimiento y seguimiento del comportamiento de las plantas se halló una frecuencia de riego de tres veces por semana. La aplicación de EM se hizo durante tres meses: el primer mes, se aplicó cuatro veces (una vez por semana), el segundo mes, se aplicó dos veces (una vez cada quince días) y el tercer mes se hizo una sola aplicación. Adicionalmente se hicieron análisis morfológicos cada 15 días, (registro de número de hojas, ramas y diámetro de tallo). Al final se tomaron muestras del suelo de cada materia y se llevaron al laboratorio para hacer los análisis correspondientes de CIC, bases intercambiables, saturación de bases, relaciones entre elementos y tejido vegetal, haciendo lecturas de los elementos en el espectrofotómetro de absorción atómica. Se hizo un análisis estadístico de prueba de comparación múltiple y de varianza que mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. De esta forma se encontró la mejor alternativa que pretende mejorar la calidad ambiental de los suelos erosionados como los del desierto de Zabinsky: fue EM en dosis de 5% del agua de riego, mejorando el incremento de la CIC en el suelo, con la mezcla de abonos orgánicos (compost, mulch y gallinaza) en dosis de una libra cada uno, y con la fertilización química, compuesta por manganeso electrolítico (0,0002 g), cobre (0,0002 g), zinc (0,0001 g), URFOS 44 (166,66 g) y KLIP-BOROL (5 g) (17).

## **2.2 Base teórica**

### **2.2.1 El cadmio en el suelo**

### 2.2.1.1 Significado ambiental

El cadmio (Cd) es un metal que está naturalmente presente en todos los suelos como catión divalente ( $\text{Cd}^{+2}$ ) en concentraciones que van de 0.1 – 1.0 mg/kg. Las concentraciones comunes de Cd en los suelos son algunas veces mayores que los valores originales debido a los agregados históricos a través de las deposiciones atmosféricas y el uso de fertilizantes fosfatados. La concentración de Cd en el suelo representa solo una mínima fracción ( $10^{-4}$  –  $10^{-6}$ ) del total de cationes intercambiables. Por lo tanto, la presencia de Cd es improbable que afecte la química del suelo. Contrariamente, el Cd puede afectar la función del ecosistema en niveles traza debido a su pronunciada toxicidad. Adicionalmente, la toxicidad de Cd en el suelo es persistente, no solo porque su tiempo de residencia excede décadas sino también porque su biodisponibilidad no disminuye en el largo plazo (18).

El riesgo de Cd en el suelo a los humanos se presenta en concentraciones de Cd en el suelo bien bajas comparadas con aquellas necesarias para causar efectos visuales y directos sobre las plantas o biota del suelo. Los efectos sobre la salud humana están relacionados a la exposición vía los canales alimenticios, es decir, el consumo de cultivos contaminados con Cd. La ingesta dietética de Cd constituye generalmente más del 90% de la exposición humana al Cd en la población en general y la mayor parte del Cd dietético es derivado del suelo vía absorción en los principales cultivos alimenticios, por ejemplo, cereales y papa. El problema de la exposición crónica (de por vida) es mucho más importante que los eventos individuales de alta ingesta debido a que el Cd tiene un periodo promedio de vida biológico es de 15 a 20 años en humanos y el efecto se manifiesta en personas adultas (> 50 años). Esto significa que un consumo poco frecuente de un alimento conteniendo alto Cd que crece en un suelo contaminado por Cd tiene menos efecto que el consumo de por vida de alimentos moderadamente contaminados. Por estas razones, el riesgo de contaminaciones de Cd en los suelos puede ser bajo si hay suficiente “dilución” con productos alimenticios cultivados en otros lugares. El Cd del suelo es un riesgo si las personas usan el mismo suelo para cultivar sus principales productos alimenticios por un apreciable tiempo de su vida. Esta situación ha ocurrido en agricultura de subsistencia en Japón. La identificación de la toxicidad de cadmio a humanos fue ya descubierta antes de fines del siglo diecinueve pero no fue hasta antes de 1960 que el riesgo de cadmio en el suelo se hizo claro cuando una enfermedad ósea endémica en la prefectura de Toyama (Japón) fue relacionada al cadmio en el suelo (19).

Tabla 2. La exposición humana al cadmio del suelo en condiciones ambientales (lejos de las fuentes puntuales) y en la región donde la enfermedad del itai-itai relacionada con el cadmio se observó por primera vez en la década de 1960 (20).

Condiciones de exposición	Cd en el suelo (mg/kg)	Cd en el grano (mg/kg)	Ingesta dietética para adultos ( $\mu\text{g}/\text{día}$ )	Ingesta acumulada de por vida (g Cd)
<b>Ambiente no contaminado</b>	0,1-1,0	0,01-0,10 trigo 0,02-0,20 arroz	8-20	0,1-0,4
<b>Contaminado (Fuchu, Japón)</b>	1-10	0,20-2,0 arroz	160-600	2-10

La tabla 1 muestra el contraste entre la exposición humana a concentraciones de fondo (concentraciones ambientales) y aquella en el punto de severa intoxicación. La severa intoxicación es identificada con una absorción de cadmio estimada diariamente de casi alrededor de  $300 \mu\text{g}/\text{día}$ . Tal ingesta fue obtenida por una combinación de un gran consumo diario de arroz que contenía casi  $0,75 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . La tabla 1 revela un número de características que son típicos para cadmio. Primero, la toxicidad fatal de cadmio en humanos ocurre a una exposición dietética que es solo aproximadamente 10 a 20 veces sobre el nivel de fondo natural. Los impactos moderados a tolerables en la salud a nivel de población son hallados lógicamente muy por debajo de esos impactos fatales y pueden esperarse cercanos a las concentraciones de fondo. Segundo, los efectos del cadmio se presentan en el rango de  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , esto es un desafío analítico del monitoreo exacto y preciso de estas concentraciones. Ningún programa de monitoreo de cadmio puede ser confiable sin un adecuado control de calidad con materiales de referencia certificados (20).

### 2.2.1.2 Contaminación de cadmio

El cadmio en el suelo es enriquecido por actividades humanas vía deposición atmosférica y a través de aplicaciones de fertilizantes fosfatados y lodos de depuradora. La extracción, producción, uso y eliminación de cadmio por la minería son una fuente neta de cadmio que puede finalizar en el suelo. Más del 80% del consumo normal de cadmio es usada para la producción de baterías recargables (21).

Los usos del cadmio en otros casos, tales como estabilizadores de PVC, pigmentos y enchapados han disminuido bruscamente como resultado de regulaciones ambientales. Se estima que el consumo anual mundial de cadmio fue casi 18000 toneladas en el año 2008, lo cual fue 10 a 20% más bajo que en el año 1991. El consumo de cadmio se ha elevado en China mientras que ha disminuido en los países del este. El uso reducido de cadmio y el cambio en uso hacia baterías que son cada vez más recicladas generalmente ha disminuido las fugas de emisiones de cadmio al agua y a los lodos de depuradora en el mundo occidental. Por ejemplo, las concentraciones de cadmio en los lodos de depuradora en la segunda planta de tratamiento de lodos del mundo de Seine Aval (Paris) ha disminuido más de 10 veces entre 1980 y 2000 (22).

Las emisiones de cadmio de los productores de Cd/CdO y procesadores solo forman una mínima parte de las emisiones totales de cadmio como se ilustra para los datos europeos (Tabla 2). Las emisiones comunes de cadmio de la industria que produce Cd/CdO y sus usuarios comunes (incluyendo plantas de reciclaje) se han reducido fuertemente en la Unión Europea desde estimados de casi 20 años. La principal fuente de entrada neta de cadmio a gran escala es la aplicación de fertilizantes de P, producción de hierro y combustión de aceite. La Tabla 2 sugiere que la tasa promedio de entrada de cadmio a los suelos en la Unión Europea vía fertilizantes fosfatados (231 t/año) al de la deposición atmosférica (124 t/año) es casi 2:1. La contribución de los fertilizantes de P a la acumulación de cadmio en los suelos está bien establecida, y los registros en Australia, UK, Dinamarca y Francia han demostrado la acumulación gradual de cadmio en el suelo con incrementos típicos de 0,1-0,3 mg Cd/kg suelo por más de 100 años (23).

Tabla 3. Emisiones de cadmio antropogénicas totales en la Unión Europea (t/año) desde la industria de Cd/CdO y sus usuarios comunes y emisiones difusas de cadmio de otras fuentes estimadas en el año 2002 (23).

<b>Fuente</b>	<b>Al aire (t/año)</b>	<b>Al suelo (t/año)</b>
Procesamiento y producción de Cd/CdO	4,7	-
Producción de otros metales no ferrosos	9,7	-
Producción de hierro y acero	31	-
Combustión de aceite/carbón	54	-
Procesamiento de fosfatos	0,7	-
Incineración de residuos municipales	3,2	-
Otros (cemento, producción vidrio, tráfico, Aguas residuales municipales)	>20,7	-
Fertilizantes fosfatados		231
Aplicación de lodos al suelo		>13,6
<b>Total</b>	<b>&gt;124</b>	<b>&gt;244,6</b>

La contribución de los fertilizantes fosfatados al cadmio del suelo ha llevado a la propuesta de limitar el cadmio en los fertilizantes de fósforo. Un modelo de balance de masas ha sido usado para estimar las concentraciones de cadmio permitidas en los fertilizantes., es decir, las concentraciones en las cuales el balance de pérdida anual equilibra las entradas al suelo y en las que las concentraciones de cadmio en el suelo no aumentan aún más. Una fracción considerable de fertilizantes europeos tiene concentraciones de cadmio >60 mg Cd/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La tabla 3 ilustra el balance de cadmio de entradas y salidas de Europa en el año 2002 (23).

Tabla 4. El balance de entradas y salidas (g Cd/ha/año) en suelos agrícolas europeos estimado para el año 2002 (23).

<b>Balance</b>	<b>Rango</b>	<b>Promedio en Unión Europea</b>
<b>Entradas</b>		
Fertilizantes de P	1,1 – 4,5	2,5
Deposición atmosférica	0,6-3,0	0,4
Alimentación animal	0,05-0,10	0,05
Total		2,95
<b>Salidas</b>		
Absorción por cultivos	0,3-0,8	0,5
Lixiviación	0,1-5,7	2,0
Total		2,5
<b>Cd en el suelo</b>	0,30 mg/kg	0,32 mg/kg

### 2.2.1.3 Transformaciones

El cadmio en los suelos está casi invariablemente presente en el suelo en estado de oxidación Cd(II). El catión Cd<sup>+2</sup> no es un metal de transición. Sin embargo, la nube de electrones de este catión es polarizable y es considerado como un metal de clase B en la clasificación de metales de Schwarzenbach (A = duro como Ca<sup>+2</sup>, C = suave como Cu<sup>+2</sup>), por lo tanto el cadmio participa en enlaces covalentes con superficies y es, por lo tanto, menos soluble que los cationes duros. Los cationes de clase B como el cadmio forman complejos de esfera interna con alta selectividad sobre superficies mientras que los cationes duros pueden enlazarse como cationes de esfera externa (20).

Las concentraciones de cadmio en la solución de suelos no contaminados (Cadmio total ~ 0,2 mg Cd/kg), en el rango de suelo de pH neutro es < 0,1-5 µg/L (24). Esto significa que solo una fracción muy pequeña del cadmio total está presente en la solución suelo y

que la pérdida anual de cadmio por lixiviación es generalmente mínima. El mecanismo preciso de enlace de cadmio en el suelo es casi imposible de detectar con técnicas espectroscópicas comunes en concentraciones relevantes ambientalmente. Por lo tanto, los datos de solubilidad o extracción química son usados para inferir indirectamente el mecanismo de enlace de cadmio. Se ha sugerido que la adsorción y no la precipitación, es la que controla cadmio en solución en el rango de concentración relevante ambientalmente en el suelo (0,1 – 10 mg Cd/kg suelo); el cadmio en solución incrementa casi proporcionalmente a la adición de cadmio, mientras que las reacciones de precipitación podrían inferir constantes de concentraciones en solución con el incremento de adiciones de cadmio. Es improbable que la precipitación controle la solubilidad del cadmio a menos en una excesiva contaminación de cadmio y a valores de pH >7,0. Por ejemplo, el producto de solubilidad del  $\text{CdCO}_3$  ( $K_{sp} = 10^{-12}$ ), la forma de cadmio posiblemente más insoluble en suelos aeróbicos, predice que el cadmio precipita en suelos calcáreos a pH 8,5 solo sobre 55  $\mu\text{g Cd/L}$ . Las reacciones de complejación y adsorción en el suelo completo reducen típicamente el Cd de <10  $\mu\text{g/L}$  Para suelos hasta con 10 mg Cd/kg. Esto significa que las concentraciones de cadmio podrían exceder >100 mg/kg para que se presente la precipitación, claramente más allá de las concentraciones de Cd en el suelo (25).

Evidencias empíricas sobre la adsorción de cadmio revelaron que la textura del suelo tiene un débil efecto sobre la adsorción de cadmio (algo más adsorción sobre textura franco arenoso que sobre arena franca), que la fuerza de adsorción a concentraciones bajas de cadmio es marcadamente mayor que en altas concentraciones (heterogeneidad de sitio), y el pH tuvo un marcado efecto sobre la adsorción de cadmio [factor de adsorción fuerte de 3-5 por unidad de incremento de pH, (25, 26)] mientras que un incremento de 10 veces de calcio en solución disminuye la adsorción de cadmio solo por un factor de 2-3. Los datos de solubilidad de cadmio en suelos contrastantes revelan que el pH es generalmente el factor estadístico primario asociado con concentraciones de cadmio en solución (frecuentemente más importante que el cadmio total), seguido por el contenido de materia orgánica (26, 27).

## **2.2.2 Los microorganismos eficaces**

### **2.2.2.1 Características generales**

Se usa el término “microorganismos eficaces” o en inglés *efficient microorganisms* (EM) para denotar cultivos mixtos específicos de microorganismos benéficos conocidos que son empleados efectivamente como inoculantes microbianos (28). EM es una tecnología desarrollada por el Doctor Teruo Higa en la década de los ochenta en Okinagua,

Japón y ha sido empleada en diferentes campos como la agricultura, industria animal, remediación ambiental, entre otros y se encuentra en la actualidad ampliamente distribuida (29).

EM es un cultivo de microorganismos no modificados genéticamente, con diversos tipos de metabolismo, que al encontrarse juntos presentan relaciones sinergistas, de cooperación y cometabolismo (28). Estudios de las interacciones entre los diferentes integrantes de las comunidades microbianas han demostrado en varias ocasiones una mayor eficiencia de estos consorcios en los procesos de degradación, frente a estudios que involucran solo a un gremio (30).

Los microorganismos del EM poseen varias características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la fermentación de materia orgánica sin la liberación de malos olores y su capacidad de convertir los desechos tóxicos ( $H_2S$ ) en sustancias no tóxicas ( $SO_4$ ) (31), propiedades desionizantes que favorecen la detoxificación de sustancias peligrosas, quelación de metales pesados, producción de enzimas como la lignina peroxidasa, entre otras (32).

EM contiene especies seleccionadas de microorganismos incluyendo poblaciones predominantes de bacterias de ácido láctico y levaduras, y pequeño número de bacterias fotosintéticas, actinomicetos y otros tipos de organismos. Todos estos son mutuamente compatibles uno con otro y pueden coexistir en cultivo líquido (28).

EM no es un sustituto para otras prácticas de manejo. Esto es, sin embargo, una dimensión adicional para optimizar nuestras mejores prácticas de manejo de suelo y de cultivo tales como rotaciones de cultivo, uso de enmiendas orgánicas, labranza de conservación, reciclaje de residuos de cultivo, y biocontrol de plagas. Si es usado adecuadamente, EM puede mejorar significativamente los efectos benéficos de estas prácticas (33).

#### **2.2.2.2 Importancia de los microorganismos eficaces**

Existen microorganismos en el aire, en el suelo, en nuestros intestinos, en los alimentos que consumimos, en el agua que bebemos. Las condiciones actuales de contaminación y uso excesivo de sustancias químicas sintéticas que han causado la proliferación de especies de microorganismos considerado degeneradores. Estos microorganismos a grandes rasgos, son causantes de enfermedades en plantas y animales y generan malos olores y gases nocivos al descomponer residuos orgánicos (34).

Los microorganismos eficientes, como inoculante microbiano, restablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementando la producción de los cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible. Entre los efectos sobre el desarrollo de los cultivos se pueden encontrar (34).

#### **En las plantas:**

- Aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico.
- Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal.
- Incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas.
- Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades.
- Consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades.
- Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.
- Promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas meristemáticas.
- Incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.

#### **En los suelos:**

Los efectos de los microorganismos eficaces en el suelo, están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, biológicas y supresión de enfermedades. Entre sus efectos se pueden mencionar:

Efectos en las condiciones físicas del suelo: mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduce su compactación, incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración del agua.

Efectos en la microbiología del suelo: suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo por competencia. Incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen (34).

#### **2.2.2.3 Principales microorganismos en EM y su acción**

El EM es un cóctel líquido que contiene más de 80 microorganismos benéficos de origen natural. A continuación se describen algunos de los principales tipos de microorganismos presentes en el EM y su acción (34):

#### **Bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas* spp.)**

Las bacterias fotosintéticas o fototróficas son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes. Estas bacterias sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos (sulfuro de hidrógeno), usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía.

#### **Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* spp.)**

Las bacterias ácido lácticas producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras. Desde tiempos antiguos, muchos alimentos y bebidas como el yogurt y los pepinillos son producidos usando bacterias ácido lácticas.

Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir microorganismos causantes de enfermedades como *Fusarium*, los cuales aparecen en sistemas de producción continua. Bajo circunstancias normales, las especies como *Fusarium* debilitan las plantas cultivadas, exponiéndolas a enfermedades y a poblaciones crecientes de plagas como los nematodos. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nematodos y controla la propagación y diseminación de *Fusarium*, mejorando así el medio ambiente para el crecimiento de cultivos.

#### **Levaduras (*Saccharomyces* spp.)**

Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras sustancias útiles para el crecimiento de las plantas, a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas, la materia orgánica y las raíces de las plantas.

#### **2.2.2.4 La tecnología de los microorganismos eficaces**

Las especies utilizadas para la mezcla de los microorganismos eficaces se aíslan de sus respectivos ambientes donde el EM se utiliza extensivamente y se combinan en un medio a base de azúcar. El azúcar usada comúnmente es la melaza o azúcar cruda, y la solución se mantiene a un pH bajo que se extiende entre 3.0 y 4.0. Cabe anotar, que la mezcla no contiene ningún organismo importado de Japón, ni contiene organismos genéticos modificados. Por lo tanto, el EM se hace en más de 40 países en todos los continentes, de especies aisladas en las diferentes localidades. La tecnología es así

segura, eficaz y ambientalmente fácil y es de fácil acceso a los granjeros en países desarrollados y en vías de desarrollo. Sobre esta base, la tecnología se utiliza o se investiga en países que se extienden de Austria a Zimbabwe (35).

En cuanto a la seguridad de los EM, el Dr. James F. Parr, Microbiólogo de Suelos, Servicio de Investigación de Agricultura del Ministerio de Agricultura de los EE.UU., declaró en Junio de 19095: “El servicio de Investigación de Agricultura del USDA ha conducido pruebas en laboratorio, invernadero y campo con el EM de Kyusei y ha encontrado que es un cultivo mixto de bacterias comunes, bacterias fotosintéticas, levaduras y actinomicetos. Estos microorganismos no son “modificados” o de tipo exótico, y no se conocen efectos dañinos para las plantas o los seres humanos (36).

La tecnología fue introducida al mundo en una Conferencia Internacional llevada a cabo en Tailandia en 1989, donde un programa de investigación para probar su eficacia fue emprendido por 13 países de la región de Asia del Pacífico. Después de eso, este programa abarcó muchos foros internacionales, incluyendo la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura orgánica (IFOAM) (35).

En los Estados Unidos, el EM ha sido aprobado por una organización orgánica oficialmente reconocida. Hasta la fecha, los productos del EM están registrados con los Departamentos de Alimentos y Agricultura para la distribución en California, Arizona, Texas, Nuevo México, Washington, Carolina del Norte, Indiana, Illinois e Iowa (35).

Los productos que contienen el EM no plantean ningún riesgo potencial al medioambiente, ni a los seres humanos y ni a la vida salvaje, ya que son microorganismos que se encuentran en la naturaleza y han sido utilizados durante años en los procesos alimenticios y en la destilación del alcohol (36). Asimismo, no se han presentado casos de afectación por la utilización de EM y a este producto no se aplica el principio de precaución (36) utilizado en la legislación ambiental colombiana.

Estos microbios beneficiosos sintetizan y consumen las sustancias que causan la putrefacción, malos olores y enfermedades, eliminando la mayoría de microbios patógenos por medio de la exclusión competitiva. El EM se hace inactivo por el oxígeno, así que prospera en la contaminación y muere en condiciones limpias. Es auto reductor, lo cual significa que los microbios mismos, son consumidos en el proceso por las enzimas naturalmente presentes dentro de ellos, por lo tanto no hay acumulación del lodo microbiano. No existe contaminación secundaria asociada a usar el EM (35).

Para entender el mecanismo se emprendieron nuevos experimentos e investigaciones y revelaron que el factor dominante es la emisión ácida de microorganismos. “Los microorganismos anaeróbicos producen los ácidos para protegerse contra el oxígeno. En el proceso de la fermentación anaeróbica, esos microorganismos producen una variedad de ácidos con varios efectos. Las ventajas de la tecnología del EM derivan de los efectos de los ácidos que previenen la descomposición, el deterioro o la corrosión de la oxidación, creando un ambiente hospitalario para los seres vivos”(36).

Otro de los aspectos positivos de la tecnología EM está en su costo. El EM se está vendiendo a un bajo costo de modo que cualquier persona pueda comprarlo. Esto es especialmente cierto cuando se considera que el EM es utilizado normalmente cerca de 20 a 50 veces su concentración y luego aplicado en forma diluida en un cociente 1:100 o 1:1000 según el uso. Si la solución de EM se utiliza cerca de 20 veces y diluida en un cociente de 1:500, el costo del uso del EM será 1:10000 del costo común original (35).

### **2.2.3 Las propiedades del suelo**

El suelo es un sistema muy complejo. Las relaciones físicas y químicas, entre las fases sólida, líquida y gaseosa están afectadas no solo por sus respectivas propiedades, sino también por la temperatura, presión y luz. Los comportamientos mecánicos de la masa del suelo son referidos como propiedades físicas de los suelos. Y el estudio de esas propiedades se conoce como la Física del Suelo (48).

La habilidad del suelo para producir cultivos depende de la adecuada relación de sólidos, aire y agua lo que hace posible que las plantas usen los nutrientes más eficientemente. Por consiguiente, es necesario comprender los principios y fundamentos físicos del suelo que afectan el crecimiento de las plantas; tales como: la proporción y agregación de las partículas individuales del suelo, la resistencia a la penetración de las raíces, el poder de soportabilidad y rigidez. La capacidad de almacenamiento de agua, la pegajosidad, plasticidad, el color y la temperatura, condicionan el manejo de la labranza, el riego, drenaje, fertilización y conservación de los suelos (48).

La química de suelos puede considerarse como una parte elemental de las ciencias del suelo. Con base en la información sobre la composición, las propiedades y las reacciones químicas que ocurren en los suelos, se pueden aclarar problemas relacionados con la fertilidad y la nutrición vegetal; los resultados de los análisis químicos permiten formular las recomendaciones de fertilización adecuadas, clasificar los suelos en diferentes grupos y servir de base para la planificación del desarrollo agrícola, ganadero y forestal (49).

El suelo es por definición “una mezcla integrada de materia orgánica, inorgánica, agua y aire, denominados los cuatro componentes del suelo” (7). La química de estos componentes del suelo, su composición, estructuras, interacciones mutuas, e interacciones con la biosfera, hidrosfera, y atmósfera, puede ser denominado la química del suelo. La fracción inorgánica del suelo, frecuentemente llamada la fracción mineral, es por convención considerada a la arena, el limo y la arcilla. La composición química, estructura, propiedades fisicoquímicas, características del cristal, y propiedades electroquímicas de la arena, el limo y la arcilla son los dominios de la mineralogía del suelo. Sin embargo, las propiedades químicas y electroquímicas de las arcillas resultan en reacciones de intercambio y adsorción, fue inicialmente denominado la química coloidal, pero hoy día es denominado geoquímica. Las fracciones orgánicas del suelo son factores ambientales inherentes, proporcionan la base ambiental de la química del suelo. La fase líquida del suelo es el tercer componente esencial del suelo de importancia en química del suelo. Este es el lugar donde ocurren la mayoría de reacciones químicas del suelo. Denominado simplemente el agua del suelo, nutre a las plantas y al crecimiento microbial. Contiene sustancias disueltas, iones y solutos, creando un sistema suelo-raíz, muy parecido a una celda electroquímica, donde el movimiento de agua y de iones, la disolución, la disociación, la disponibilidad de elementos para las raíces, la oxidación, y la reducción de elementos son controlados por potencial electroquímicos. Además, los iones y solutos interactúan mutuamente, y con las fracciones sólidas orgánicas e inorgánicas, por medio de la adsorción, intercambio, intercambio de ligante, puentes iónicos, y reacciones de quelación (50).

Basado en su composición química y el grado de explotación agrícola, los suelos pueden presentar ciertas propiedades químicas, que no son solo diagnóstico para su origen y parámetros ambientales, sino también indicadores muy sensitivos de su valor de uso. La más prominente de estas propiedades es el grado de acidez del suelo (pH), junto con la capacidad de adsorción e intercambio iónico, que son factores muy importantes para el potencial de nutrición de las plantas, desde el suelo. Estas propiedades son muy cercanas, e interactúan mutuamente (51).

#### **2.2.4 El ECA de suelos del Perú**

Mediante Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente del Perú, aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, que constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y deroga el Decreto Supremo N° 022-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad

Ambiental (ECA) para suelo, y el Decreto Supremo N° 003-2014-MINAM, que aprueba la Directiva que establece el procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA) (37).

Tabla 5. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo (37)

Parámetro en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del suelo <sup>(1)</sup>			Métodos de Ensayo <sup>(7,8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(3)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)</sup> /Industrial/ Extractivo <sup>(6)</sup>	
Inorgánico				
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051

- (1) 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.
- (2) PS: Peso seco.
- (3) 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.
- (4) Suelo residencial/parques: suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.
- (5) Suelo comercial: suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.
- (6) Suelo industrial/extractivo: suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

- (7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA correspondiente al parámetro bajo análisis.
- (8) Para aquellos parámetros respecto de los cuales no se especifican los métodos de ensayo empleados para la determinación de las muestras, se deben utilizar métodos que cumplan con las condiciones señaladas en la nota (7).

### 2.3 Definición de términos básicos

**Contaminación.** Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos ambientales o sobre la salud observa. La contaminación puede ser ocasionada por la producción industrial, transporte, agricultura o escorrentía (38).

**Contaminación ambiental.** Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público (38).

**Contaminante.** Todo aquello que pone en riesgo el equilibrio de un ecosistema sea químico o físico; inclusive hasta el hecho de introducir una especie extranjera en un ecosistema puede llegar a contaminarlo (38).

**Estándar 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 (38).

**Límite Máximo Permisible.** El Límite Máximo Permisible, LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o

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 (38).

**Metales pesados.** Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para los seres humanos. Los contaminantes como los metales pesados tienen la capacidad de provocar cambios evolutivos debido a sus efectos dañinos en plantas (38).

**Alcalinidad del suelo.** El grado o intensidad de la alcalinidad de un suelo, expresado por un valor  $> 7,0$  para el pH del suelo (39).

**Autótrofo.** Un organismo capaz de utilizar  $\text{CO}_2$  o carbonatos como la única fuente de carbono, obteniendo energía para los procesos de la reducción de carbono y procesos biosintéticos de la energía radiante (fotoautótrofos o fotolitotrófos) o de la oxidación de sustancias inorgánicas (quimioautótrofos o quimiolitotrófos) (39).

**Agua disponible.** La cantidad de agua liberada entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (usualmente estimado por el contenido de agua en el potencial mátrico del suelo de  $-1,5 \text{ MPa}$ ) (39).

**Bacterioide.** Una forma alterada de células bacteriales. Se refiere particularmente a las células vacuoladas irregulares de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* en nódulos de leguminosas (39).

**Bioensayo.** Un método para medir cuantitativamente una sustancia por su efecto en el crecimiento de un microorganismo adecuado, planta, o animal bajo condiciones controladas (39).

**Biodegradable.** Una sustancia capaz de ser descompuesta por procesos biológicos (39).

**Saturación de bases.** La relación de la cantidad de bases intercambiables a la capacidad de intercambio catiónico. El valor de la saturación de bases varía de acuerdo a si la capacidad de intercambio de cationes incluye solo la acidez extractable con sales o la acidez total determinada a pH 7 u 8. Frecuentemente se expresa como un porcentaje (39).

**Biorremediación.** El uso de agentes biológicos para recuperar un suelo y agua contaminada por sustancias peligrosas al ambiente o a la salud humana (39).

**Biotecnología.** Uso de organismos vivos, frecuentemente microorganismos del suelo, para realizar procesos físico-químicos definidos teniendo aplicación agrícola o industrial (39).

**Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** La suma de bases intercambiables más la acidez total del suelo a un valor de pH específico usualmente 7,0 u 8,0. Cuando la acidez es expresada como acidez extractable por sales, la capacidad de intercambio catiónico es denominada capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) debido a que es considerada como la CIC del intercambiador al valor del pH nativo. Usualmente es expresada en centimoles de carga por kg de intercambiador (cmol<sub>c</sub>/kg) o milimoles de carga por kilogramo de intercambiador (39).

**Enzima.** Cualquiera de las numerosas proteínas que son producidas en las células de organismos vivos y funciona como catalizador en los procesos químicos de aquellos organismos (39).

**Suelo.** (i) El mineral no consolidado o material orgánico sobre la superficie inmediata de la tierra que sirve como un medio natural para el crecimiento de plantas. (ii) El mineral no consolidado o materia orgánica sobre la superficie de la tierra que ha estado sujeta y ha mostrado efectos de factores ambientales y genéticos de clima (incluyendo efectos del agua y temperatura), y macro y microorganismos, condicionado por el relieve, condicionado por el relieve, actuando sobre el material parental sobre un periodo de tiempo. Un suelo difiere del material del cual se deriva en muchas propiedades y características, físicas, químicas, biológicas y morfológicas (39).

**Iones.** Átomos, grupos de átomos, o compuestos que están cargados eléctricamente como resultado de la pérdida de electrones (cationes) o la ganancia de electrones (aniones) (39).

**Textura media.** Grupo de textura del suelo consistente de texturas franco arenoso muy fino, franco, franco limoso, y limo (39).

**Biomasa microbial.** (i) la masa total de microorganismos vivos en un volumen o masa dada de suelo. (ii) el peso total de todos los microorganismos en un ambiente particular (39).

**Población microbial.** La suma de microorganismos vivos en un volumen dado o masa de suelo (39).

**pH del suelo.** El pH de una solución en equilibrio con el suelo. Se determina pro medio de un electrodo de vidrio, quinidrona, u otro electrodo o indicador a una relación específica suelo-solución, usualmente agua destilada, 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, o 1 M KCl (39).

**Muestra de suelo.** Una muestra representativa de un área, un campo, o una porción de un campo en el cual se pueden determinar propiedades físicas, químicas y biológicas (39).

**Solución suelo.** La fase líquida acuosa de un suelo y sus solutos (39).

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

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

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

##### **A) Método general de la investigación**

Hipotético – deductivo. Este método consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos (44).

##### **B) Método específico de la investigación**

Análisis: digestión de la muestra de suelo y medición mediante Espectroscopía de Absorción Atómica de llama. El método de espectroscopía de llama tiene como requisito que la muestra sea introducida en disolución. En esta investigación se utilizó una digestión húmeda por medio de ácido nítrico, obteniendo extractos acuosos de cada muestra, y analizada por flama siguiendo el método de la USEPA 3051 A (43).

Por este método se realizó la medición de la concentración de cadmio que presenta absorción de la radiación a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, pudiendo utilizar distintos procedimientos, técnicas y accesorios, para llegar al estado fundamental de átomo. Una de las técnicas más utilizadas para realizar la atomización es la absorción atómica con flama o llama, que se describe a continuación.

En un atomizador de flama se nebulizó una solución de la muestra, mediante el flujo de un gas oxidante mezclado con un combustible también gaseoso, y se llevó hacia una llama donde ocurre la atomización. Durante la desolvatación, el disolvente se evapora y produce un aerosol molecular finamente dividido; después, este se volatiliza para formar moléculas de gas. La disociación de la mayor parte de estas moléculas produce un gas atómico. Algunos de los átomos de este gas se ionizan y forman cationes y electrones. Una fracción de las moléculas, átomos e iones se excitan por el calor de la llama y producen espectros de emisión: atómicos, iónicos y moleculares (42).

Los átomos neutros gaseosos, en su estado fundamental, absorben radiación a longitudes de onda específicas. La medición de la magnitud de esa absorción atómica y su aplicación y análisis cuantitativo constituyen la espectrometría de absorción atómica. La fuente primaria de radiación luminosa es generalmente una lámpara de cátodo hueco del elemento cadmio (43).

### **3.1.2 Alcances de la investigación**

#### **A) Tipo de investigación**

La investigación es aplicada, pues se aplican los principios de la ciencia del suelo en la determinación del contenido de Cadmio.

La investigación aplicada consiste en realizar trabajos aplicados con la finalidad de adquirir nuevos conocimientos, sin embargo está dirigido fundamentalmente a un objetivo práctico específico. Este tipo de investigación implica la consideración de todos los conocimientos existentes y su profundización, en un intento de solucionar problemas específicos. Los resultados de la investigación aplicada se refieren, en primer lugar, a un único producto o a un número limitado de productos, operaciones, métodos o sistemas (45).

#### **A) Nivel de investigación**

La investigación es explicativa, porque el interés está en explicar el efecto de las diferentes dosis de EM en las propiedades físico químicas del suelo y la cantidad de cadmio.

Este nivel de investigación tiene como objetivo explicar los fenómenos y el estudio busca explicar las causas por las que se provoca el fenómeno o evento (45).

Según Roberto Hernández Sampieri, la investigación es explicativa el pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian (46).

### 3.2 Diseño de la investigación

La asignación al azar nos asegura probabilísticamente que dos o más grupos son equivalentes entre sí. Es una técnica de control que tiene como propósito dar al investigador la seguridad de que variables extrañas, conocidas o desconocidas, no afectarán de manera sistemática los resultados del estudio (Christensen, 2006) .

Se utilizó un diseño experimental Completamente al Azar para la presente investigación:

Microorganismos Eficaces (EM-1)

A1 = 0% EM

A2 = 5% EM

A3 = 10% EM

A4 = 15% EM

A5 = 20% EM

Tabla N° 6. Tratamientos en estudio.

N°	TRATAMIENTO
1	Suelo contaminado (Cd) + 0% EM
2	Suelo contaminado (Cd) + 5% EM
3	suelo contaminado (Cd) + 10% EM
4	suelo contaminado (Cd) + 15% EM
5	suelo contaminado (Cd) + 20% EM
6	Suelo contaminado (Cd) + 0% EM + 20% Humus lombriz
7	Suelo contaminado (Cd) + 5% EM + 20% Humus lombriz
8	suelo contaminado (Cd) + 10% EM + 20% Humus lombriz
9	suelo contaminado (Cd) + 15% EM + 20% Humus lombriz

10	suelo contaminado (Cd) + 20% EM + 20% Humus lombriz
----	---

El modelo aditivo lineal del Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), es el siguiente:

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

Donde:

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

$\mu$  = Media poblacional

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo Tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

La utilización del humus de lombriz, tuvo como principal objetivo acondicionar el suelo para la actividad de los microorganismos eficientes que se aplicaron al suelo, en una proporción de 20%, considerando que el suelo del experimento, tenía un contenido medio de materia orgánica (MO = 2 - 4%), y en la medida que el tratamiento tenga una dosis alta, es de esperar observar los efectos en un pequeño volumen de suelo.

El material utilizado (humus de lombriz) provino del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), sede Huancayo, ubicado en el distrito de Hualahoyo, cuyo análisis realizado anteriormente en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, presentó indicadores de calidad aceptables (contenido de materia orgánica, humedad, pH, contenido de sales, contenido de nutrientes y contaminantes).

Los microorganismos eficaces (EM) fueron activados previamente, utilizando melaza, agua destilada y el producto comercial EM. Según las proporciones indicadas en los tratamientos (5, 10, 15 y 20% de EM), se procedió a la activación de los Microorganismos Eficaces con melaza de caña para cada tratamiento, preparando 24 disoluciones debidamente etiquetadas por dosis (8 tratamientos, cada uno con tres repeticiones), cada una de 240 mL. Para tal efecto se utilizó tres jeringas graduadas, una para los EM, otra para melaza y otra para el agua destilada. Una vez preparadas las disoluciones de cada tratamiento, se cerraron herméticamente las botellas, colocándolas en cajas en un lugar bajo techo, para su utilización al cabo de una semana.

### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1 Población

Suelos agrícolas contaminados con cadmio del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción, ubicados en la margen derecha del río Mantaro.

### 3.3.2 Muestra

Suelo del horizonte Ap a una profundidad promedio de 20 cm, obtenido de una parcela agrícola contaminado con Cadmio, del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción.

### 3.4 Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección fue el muestreo de suelos, fue a través de un muestreo al azar, habiéndose obtenido una muestra compuesta, resultado de 15 muestras simples de suelo.

Las muestras de suelo fueron recolectadas de una parcela agrícola contaminada con cadmio del distrito de Orcotuna en un total promedio de 5 kg, del horizonte Ap, a una profundidad promedio de 20 cm. Parte de esta muestra fue almacenada en bolsas plásticas, y una muestra de suelo fue enviada al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para el análisis de caracterización y de cadmio. Se condujo un proceso de incubación durante 8 semanas, al cabo de las cuales se hizo los análisis de las propiedades del suelo y la disponibilidad de cadmio.

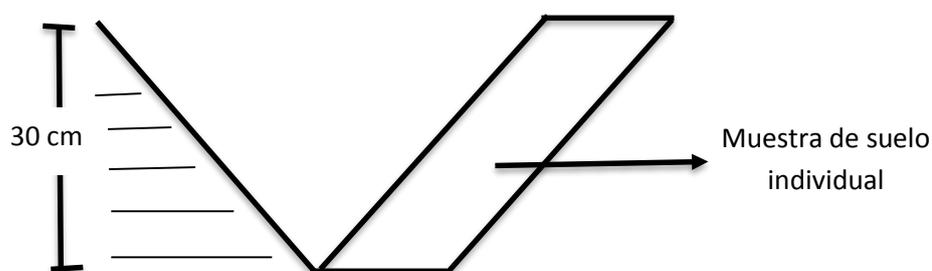


Figura 1. Obtención de muestra de suelo individual (41).

### 3.5 Instrumentos de recolección de datos

Para obtener los datos, se ubicó una parcela agrícola contaminada con Cadmio, en base a la georeferenciación publicada en el Proyecto "Mantaro Revive", de Caritas

Huancayo (47). Con la utilización del GPSMAP 64s, Garmin, se identificó la parcela en las coordenadas UTM: 467607/8678185, a una altitud de 3267 msnm.

Se utilizó bolsas de yute para obtener las 15 muestras simples, cada una de un promedio de 1 kg de peso, posteriormente se hizo el mezclado del suelo y cuarteo, para obtener un total de 5 kg de muestra compuesta, las cuales fueron llenadas en bolsas plásticas transparentes, debidamente selladas y etiquetadas, para ser utilizadas en la fase experimental y su posterior análisis de laboratorio.

En la fase de laboratorio, se utilizó 200 g de suelo muestreado y se colocó en vasos de precipitados, para cada unidad experimental, haciendo un total de 30 vasos de 500 mL, manteniendo la humedad del suelo al 80% de capacidad de campo. A la muestra de suelo se agregó la disolución que contenían los microorganismos eficaces, en un volumen de 20 mL por cada aplicación por cuatro veces, cada una durante dos semanas, haciendo un total de 240 mL de disolución aplicada en total, completando un periodo experimental de 8 semanas. Los vasos se mantuvieron en la estufa del Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Continental, a 20° C de temperatura.

### **3.6 Técnicas de análisis de datos**

Los datos fueron sistematizados y se aplicó el análisis de variancia y la prueba de comparación múltiple de Duncan.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

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

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

Tabla 7. Resultado del análisis de caracterización del suelo del distrito de Orcotuna.

Parámetro	Resultado
pH	7,97
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,45
CaCO <sub>3</sub> (%)	15,30
Materia Orgánica (%)	2,07
Fósforo disponible (ppm)	18,9
Potasio disponible (ppm)	148
Textura:	
Arena (%)	36
Limo (%)	46
Arcilla (%)	18
Clase Textural	Franco
Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol/kg)	20,26
Cationes cambiables:	

Ca <sup>+2</sup>	16,76
Mg <sup>+2</sup>	2,80
K <sup>+</sup>	0,53
Na <sup>+</sup>	0,07
H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	0,00
Saturación de Bases (%)	100
Acidez Intercambiable (%)	0

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El suelo de Orcotuna, presenta un pH moderadamente alcalino, la baja conductividad eléctrica indica que el suelo no tiene exceso de sales solubles, El carbonato de calcio es alto, debido posiblemente a la presencia de material parental calcáreo, lo cual también influyó en el pH alcalino y alta saturación de bases, la materia orgánica tiene valores calificados como medios, lo cual indica la necesidad de agregar materia orgánica al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, la cantidad de fósforo disponible es alta, el contenido de potasio disponible es medio, la textura es calificada como media, la capacidad de intercambio catiónico es calificada como alta, dentro de los cationes cambiables predomina el calcio. Los datos analizados se presentan en la tabla 7. Estos datos califican al suelo como fertilidad media. La fuente utilizada para esta calificación es la Guía de Clasificación de Parámetros Edáficos (40).

Tabla 8. Resultado del análisis de Cadmio del suelo del distrito de Orcotuna.

Parámetro	Resultado	ECA Suelos (Perú, 2017)
Cadmio total (mg/kg)	14,89	1,4

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El suelo, utilizado en este experimento tiene contenido alto de cadmio, pues supera al Estándar de Calidad Ambiental de Suelos del Perú, en más de 10 veces, lo que lo califica como suelo contaminado con Cadmio. Estos datos se presentan en la tabla 8, tomando como referencia el ECA de suelos del Perú (37).

#### 4.1.2 Contenido de cadmio en el suelo al final del experimento

Tabla 9. Resultados del contenido de cadmio en el suelo (mg/kg).

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% EM)	14,64	15,02	14,92
2 (5% EM)	14,75	14,71	15,01
3 (10% EM)	13,84	13,43	13,88
4 (15% EM)	14,92	14,64	14,14
5 (20% EM)	14,42	14,28	14,30
6 (0% EM + 20% EL)	13,95	13,98	13,92
7 (5% EM + 20% EL)	13,92	14,02	13,90
8 (10% EM + 20% EL)	14,22	13,66	13,61
9 (15% EM + 20% EL)	13,35	13,65	13,53
10 (20% EM + 20% EL)	12,93	13,11	12,75

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 10. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para contenido de cadmio en el suelo.

Tratamientos	Promedio (mg/kg)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	14,860	0,930	0,490
2 (5% EM)	14,823	0,848	0,233
3 (10% EM)	13,717	0,816	0,154
4 (15% EM)	14,567	0,974	0,689
5 (20% EM)	14,333	0,855	0,252
6 (0% EM + 20% EL)	13,950	1,000	>0,999
7 (5% EM + 20% EL)	13,947	0,871	0,296
8 (10% EM + 20% EL)	13,830	0,811	0,146
9 (15% EM + 20% EL)	13,510	0,987	0,781
10 (20% EM + 20% EL)	12,930	1,000	>0,999

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 10, en todos los tratamientos, tienen  $p > 0,05$ , entonces se acepta  $H_0$ ; los datos analizados se distribuyen normalmente. Se procedió al análisis de variancia.

### Análisis de variancia

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 11. Análisis de variancia del contenido de cadmio.

F.de V.	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	p-valor
Tratamientos	9	9,982	1,109	23,895	< 0,0001
Error	9	0,928	0,046		
Total	20	10,911			

Fuente: elaboración propia

**Decisión:** se rechaza la  $H_0$ , es decir existe diferencias estadísticas significativas entre tratamientos con un nivel de significación del 0,05. La cantidad de cadmio presente en el suelo presenta diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ).

Con la finalidad de realizar una comparación múltiple entre tratamientos, se realizó la prueba de Duncan.

### Prueba der Duncan

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 12. Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.

O.M.	Tratamiento	Promedio (mg/kg)	Significación
------	-------------	------------------	---------------

1	10 (suelo contaminado Cd+20%EM+20%HL)	12,93	a
2	9 (suelo contaminado Cd+15%EM+20%HL)	13,51	b
3	3 (suelo contaminado Cd+10%EM)	13,72	b c
4	8 (suelo contaminado Cd+10%EM+20%HL)	13,83	b c
5	7 (suelo contaminado Cd+5%EM+20%HL)	13,95	c
6	6 (suelo contaminado Cd+0%EM+20%HL)	13,95	c
7	5 (suelo contaminado Cd+20%EM)	14,33	d
8	4 (suelo contaminado Cd+15%EM)	14,57	d e
9	2 (suelo contaminado Cd+5%EM)	14,82	e
10	1 (suelo contaminado Cd+0%EM)	14,86	e

Fuente: Elaboración propia

### Decisión:

Se rechaza  $H_0$

En la tabla 4 se observa que el tratamiento con 20% de EM (microorganismos eficaces) y 20% de HL (Humus de lombriz) tiene menor contenido de cadmio en el suelo, superior estadísticamente a los demás tratamientos, lo cual indica la disminución del cadmio en el suelo, por efecto de la aplicación de microorganismos eficaces y humus de lombriz.

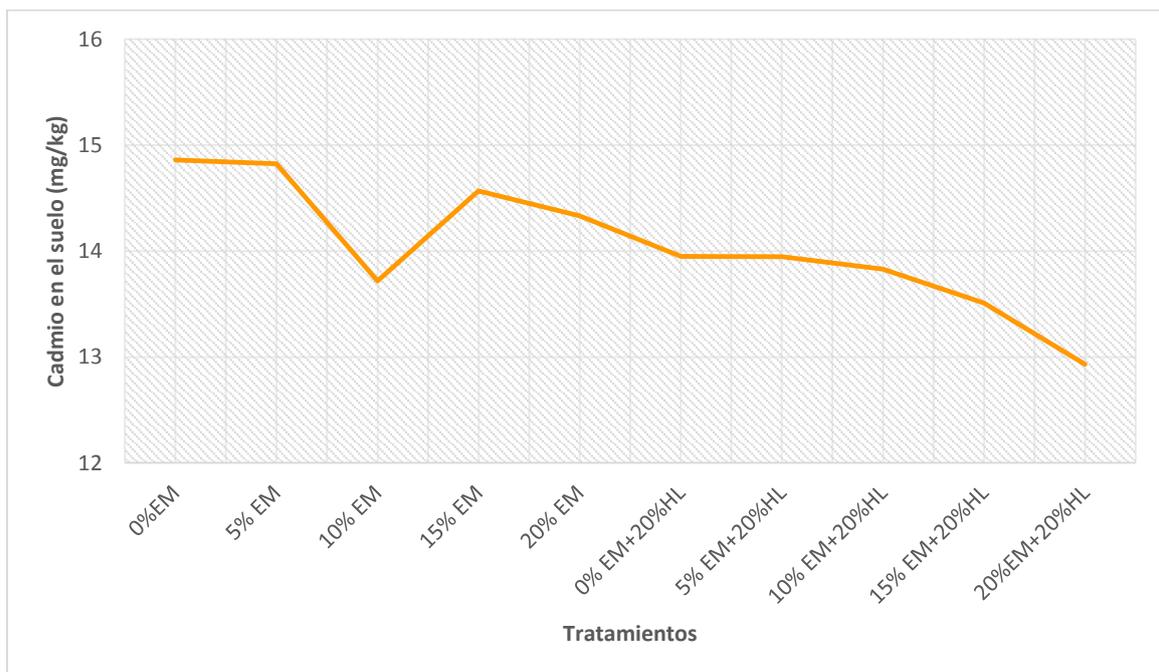


Figura 2. Promedios del contenido de cadmio en el suelo, para cada tratamiento.

En la figura 2 se observa que los más bajos contenidos de cadmio en el suelo, se observan en el tratamiento con 20% humus de lombriz y 20% de EM, lo cual indica el efecto positivo del abono orgánico y los microorganismos eficaces en reducir el contenido de cadmio en el suelo.

#### 4.1.3 pH del suelo

Tabla 13. Resultados del pH del suelo.

Tratamientos		Repeticiones	
1 (0% EM)	8,00	7,90	7,88
2 (5% EM)	7,75	7,81	7,82
3 (10% EM)	7,97	7,94	7,91
4 (15% EM)	7,92	8,02	8,00
5 (20% EM)	8,10	8,14	8,05
6 (0% EM + 20% EL)	7,00	7,38	7,22
7 (5% EM + 20% EL)	7,83	8,04	7,80
8 (10% EM + 20% EL)	7,79	7,80	7,74
9 (15% EM + 20% EL)	7,94	7,95	8,01
10 (20% EM + 20% EL)	8,10	8,09	8,09

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

#### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para pH del suelo.

Tratamientos	Promedio (mg/kg)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	7,927	0,871	0,296
2 (5% EM)	7,793	0,855	0,252
3 (10% EM)	7,940	1,000	>0,999

4 (15% EM)	7,980	0,893	0,361
5 (20% EM)	8,097	0,996	0,877
6 (0% EM + 20% EL)	7,200	0,992	0,826
7 (5% EM + 20% EL)	7,890	0,842	0,219
8 (10% EM + 20% EL)	7,788	0,871	0,296
9 (15% EM + 20% EL)	7,967	0,855	0,252
10 (20% EM + 20% EL)	8,093	0,750	<0,000

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 14, en el tratamiento 10 se rechaza la  $H_0$ , porque  $p < 0,05$ ; los datos analizados no se distribuyen normalmente. Se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Krusk-Wallis.

Prueba de Hipótesis

$H_0$ : el pH es igual en los diez tratamientos.

$H_a$ : al menos un tratamiento es diferente de los demás.

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 15. Prueba de Kruskal – Wallis. pH del suelo.

Tratamientos	Promedio (mg/kg)	GL	H	Significación
1 (0% EM)	7,927	9	25,168	0,0028
2 (5% EM)	7,793			
3 (10% EM)	7,940			
4 (15% EM)	7,980			
5 (20% EM)	8,097			
6 (0% EM + 20% EL)	7,200			
7 (5% EM + 20% EL)	7,890			
8 (10% EM + 20% EL)	7,788			
9 (15% EM + 20% EL)	7,967			
10 (20% EM + 20% EL)	8,093			

**Decisión:** la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe significación estadística entre los promedios de tratamientos, siendo el tratamiento con 20% de EM el que alcanza los máximos valores de pH, evidenciando un efecto alcalino, debido posiblemente a la solubilización de carbonatos presentes en el suelo.



Figura 3. Promedios del pH en el suelo, para cada tratamiento.

#### 4.1.4 Conductividad eléctrica del suelo

Tabla 16. Resultados de la conductividad eléctrica del suelo (dS/m)

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% EM)	0,49	0,51	0,54
2 (5% EM)	3,92	3,07	3,29
3 (10% EM)	4,61	5,01	4,89
4 (15% EM)	6,37	5,42	5,94
5 (20% EM)	8,67	6,51	9,03
6 (0% EM + 20% EL)	1,25	1,16	1,27
7 (5% EM + 20% EL)	3,27	0,08	4,83
8 (10% EM + 20% EL)	4,99	5,18	3,18
9 (15% EM + 20% EL)	4,78	5,46	5,39
10 (20% EM + 20% EL)	5,98	8,50	4,57

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 17. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para Conductividad Eléctrica del suelo.

Tratamientos	Promedio (dS/m)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	0,513	0,987	0,781
2 (5% EM)	3,427	0,928	0,480
3 (10% EM)	4,837	0,949	0,566
4 (15% EM)	5,910	0,997	0,896
5 (20% EM)	8,070	0,855	0,252
6 (0% EM + 20% EL)	1,227	0,881	0,324
7 (5% EM + 20% EL)	2,727	0,962	0,625
8 (10% EM + 20% EL)	4,450	0,821	0,165
9 (15% EM + 20% EL)	5,210	0,826	0,182
10 (20% EM + 20% EL)	6,350	0,974	0,689

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 17, en todos los tratamientos, tienen  $p > 0,05$ , entonces se acepta Ho; los datos analizados se distribuyen normalmente. Se procedió al análisis de variancia.

### Análisis de variancia

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

Ha:  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 18. Análisis de variancia de la conductividad eléctrica del suelo.

F.de V.	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	p-valor
Tratamientos	9	147,482	16,387	12,130	< 0,0001
Error	20	27,019	1,351		
Total	29	174,500			

Fuente: elaboración propia

**Decisión:** se rechaza la  $H_0$ , es decir existe diferencias estadísticas significativas entre tratamientos con un nivel de significación del 0,05. La conductividad eléctrica del suelo presenta diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ).

Con la finalidad de realizar una comparación múltiple entre tratamientos, se realizó la prueba de Duncan.

#### Prueba de Duncan

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 19. Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.

O.M.	Tratamiento	Promedio (dS/m)	Significación
1	1 (0%EM)	0,513	a
2	6 (0%EM+20%HL)	1,227	a b
3	7 (5%EM+20%HL)	2,727	b c
4	2 (5%EM)	3,427	c d
5	8 (10%EM+20%HL)	4,450	c d e
6	3 (10%EM)	4,837	c d e
7	9 (15%EM+20%HL)	5,210	d e
8	4 (15%EM)	5,910	e
9	10 (20%EM+20%HL)	6,350	e f
10	5 (20%EM)	8,070	f

Fuente: Elaboración propia

#### Decisión:

Se rechaza  $H_0$

En la tabla 19 se observa que el tratamiento sin EM (microorganismos eficaces) y 20% de HL (Humus de lombriz) tiene menor conductividad eléctrica en el suelo, superior estadísticamente a los demás tratamientos, lo cual indica la aplicación de microorganismos eficaces incrementa la salinidad del suelo.

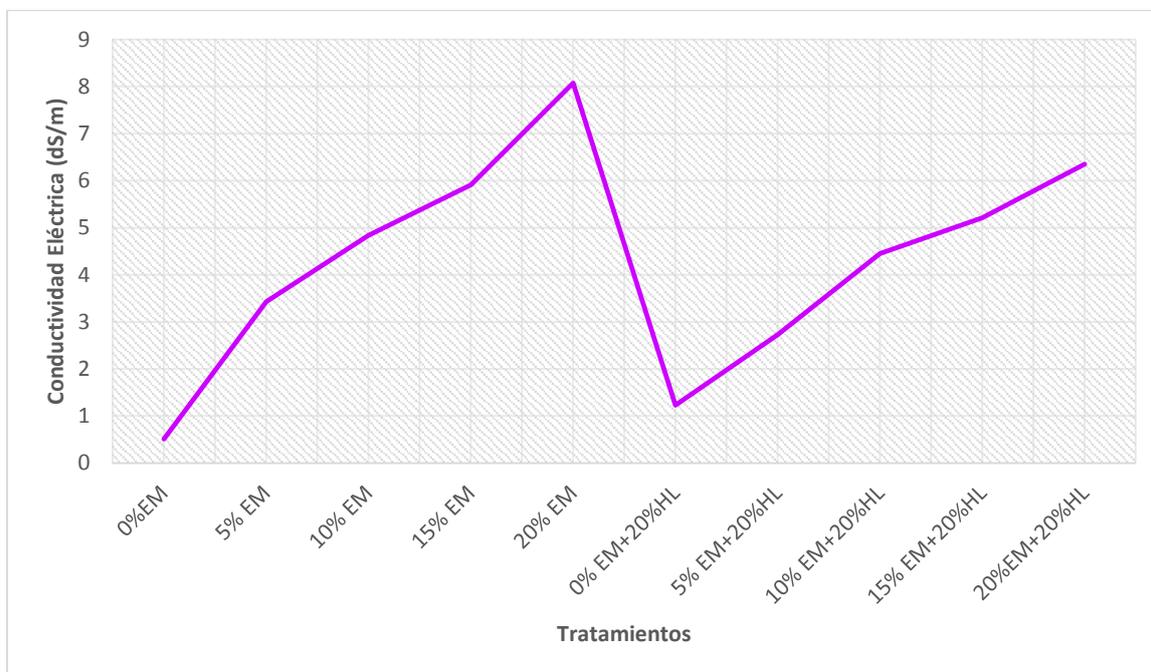


Figura 4. Promedios de la conductividad eléctrica en el suelo, para cada tratamiento.

#### 4.1.5 Carbonato de calcio del suelo

Tabla 20. Resultados del contenido de carbonato de calcio (%)

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% EM)	15,30	15,30	15,30
2 (5% EM)	15,30	15,30	15,30
3 (10% EM)	15,30	14,30	14,80
4 (15% EM)	14,30	14,80	14,30
5 (20% EM)	13,80	14,30	14,30
6 (0% EM + 20% EL)	13,40	12,90	13,80
7 (5% EM + 20% EL)	12,90	13,80	13,40

8 (10% EM + 20% EL)	12,40	13,40	12,90
9 (15% EM + 20% EL)	13,40	12,90	12,90
10 (20% EM + 20% EL)	12,90	12,40	12,40

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para contenido de carbonato de calcio en el suelo.

Tratamientos	Promedio (%)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	15,300	0,044	< 0,0001
2 (5% EM)	15,300	0,044	< 0,0001
3 (10% EM)	14,800	1,004	> 0,999
4 (15% EM)	14,467	0,754	< 0,0001
5 (20% EM)	14,133	0,754	< 0,0001
6 (0% EM + 20% EL)	13,367	0,996	0,8773
7 (5% EM + 20% EL)	13,367	0,996	0,8773
8 (10% EM + 20% EL)	12,900	1,000	> 0,999
9 (15% EM + 20% EL)	13,067	0,750	< 0,0001
10 (20% EM + 20% EL)	12,567	0,750	< 0,0001

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 21, en los tratamientos 1,2,4,5,9 y 10 tienen  $p < 0,05$ , entonces se rechaza la Ho; los datos analizados no se distribuyen normalmente. Se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Krusk-Wallis.

### Prueba de Hipótesis

Ho: el  $\text{CaCO}_3$  es igual en los diez tratamientos.

Ha: al menos un tratamiento es diferente de los demás.

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 22. Prueba de Kruskal – Wallis.  $\text{CaCO}_3$  del suelo.

Tratamientos	Promedio (%)	GL	H	Significación
1 (0% EM)	15,30	9	25,59	0,0018
2 (5% EM)	15,30			
3 (10% EM)	14,80			
4 (15% EM)	14,47			
5 (20% EM)	14,13			
6 (0% EM + 20% EL)	13,37			
7 (5% EM + 20% EL)	13,37			
8 (10% EM + 20% EL)	12,90			
9 (15% EM + 20% EL)	13,07			
10 (20% EM + 20% EL)	12,57			

**Decisión:** la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe significación estadística entre los promedios de tratamientos, siendo el tratamiento sin EM el que alcanza los máximos valores de  $\text{CaCO}_3$ , disminuyendo con la aplicación de EM y humus de lombriz, que puede evidenciar asimilación microbial del calcio solubilizado.

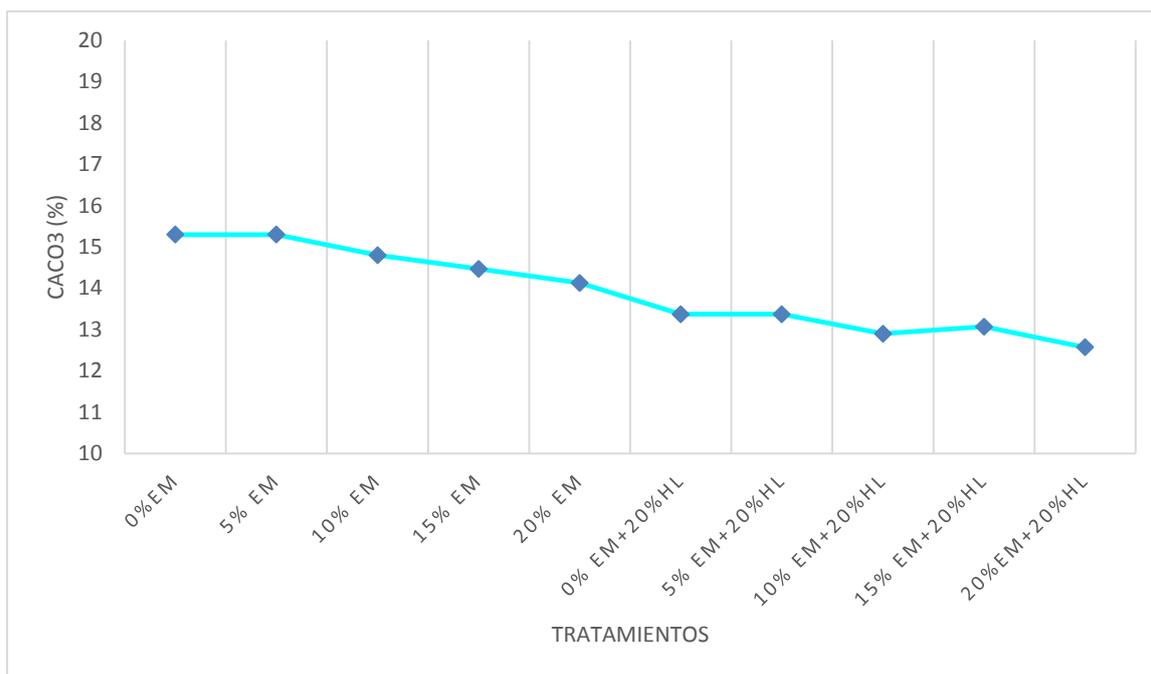


Figura 5. Promedios del contenido de CaCO<sub>3</sub> en el suelo, para cada tratamiento.

#### 4.1.6 Materia orgánica del suelo

Tabla 23. Resultados del análisis de materia orgánica del suelo (%)

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% EM)	2,51	2,30	2,51
2 (5% EM)	3,56	3,15	3,41
3 (10% EM)	3,96	3,96	3,78
4 (15% EM)	4,81	4,51	4,71
5 (20% EM)	5,25	5,14	5,23
6 (0% EM + 20% EL)	6,97	6,73	6,04
7 (5% EM + 20% EL)	6,75	7,33	7,58
8 (10% EM + 20% EL)	6,90	7,10	7,45
9 (15% EM + 20% EL)	8,43	8,57	8,01
10 (20% EM + 20% EL)	8,80	8,67	8,82

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

#### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 24. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para materia orgánica del suelo.

Tratamientos	Promedio (%)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	2,440	0,750	< 0,0001
2 (5% EM)	3,373	0,977	0,7037
3 (10% EM)	3,900	0,750	< 0,0001
4 (15% EM)	4,677	0,964	0,6394
5 (20% EM)	5,207	0,881	0,3245
6 (0% EM + 20% EL)	6,580	0,928	0,4782
7 (5% EM + 20% EL)	7,220	0,950	0,5673
8 (10% EM + 20% EL)	7,150	0,976	0,6993
9 (15% EM + 20% EL)	8,337	0,923	0,4628
10 (20% EM + 20% EL)	8,763	0,848	0,2333

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 24, en los tratamientos 1 y 3 tienen  $p < 0,05$ , entonces se rechaza  $H_0$ ; los datos analizados no se distribuyen normalmente. Se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis

### Prueba de Hipótesis

$H_0$ : la MOS es igual en los diez tratamientos.

Ha: al menos un tratamiento es diferente de los demás.

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 25. Prueba de Kruskal – Wallis. Materia orgánica del suelo.

Tratamientos	Promedio (%)	GL	H	Significación
1 (0% EM)	2,44	9	28,36	0,0008
2 (5% EM)	3,37			
3 (10% EM)	3,90			
4 (15% EM)	4,68			
5 (20% EM)	5,21			
6 (0% EM + 20% EL)	6,58			

7 (5% EM + 20% EL)	7,22		
8 (10% EM + 20% EL)	7,15		
9 (15% EM + 20% EL)	8,34		
10 (20% EM + 20% EL)	8,76		

**Decisión:** la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe significación estadística entre los promedios de tratamientos, siendo el tratamiento 10, el que alcanza los máximos valores de materia orgánica del suelo debido a la aplicación de humus de lombriz, que aporta materia orgánica al suelo.



Figura 6. Promedios del contenido de materia orgánica en el suelo, para cada tratamiento.

#### 4.1.7 Fósforo disponible del suelo

Tabla 26. Resultados del fósforo disponible del suelo (ppm)

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% EM)	23,5	23,3	22,2
2 (5% EM)	18,7	16,0	14,6
3 (10% EM)	18,4	20,1	21,6
4 (15% EM)	18,4	16,9	19,1

5 (20% EM)	21,9	19,8	28,8
6 (0% EM + 20% EL)	120,3	156,7	183,7
7 (5% EM + 20% EL)	102,8	77,0	68,7
8 (10% EM + 20% EL)	68,7	99,4	103,6
9 (15% EM + 20% EL)	75,5	71,3	77,0
10 (20% EM + 20% EL)	68,7	76,3	75,9

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 27. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para fósforo disponible del suelo.

Tratamientos	Promedio (ppm)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	23,000	0,862	0,271
2 (5% EM)	16,433	0,968	0,653
3 (10% EM)	20,033	0,999	0,930
4 (15% EM)	18,133	0,958	0,604
5 (20% EM)	23,500	0,913	0,428
6 (0% EM + 20% EL)	153,567	0,993	0,837
7 (5% EM + 20% EL)	82,833	0,919	0,448
8 (10% EM + 20% EL)	90,567	0,839	0,211
9 (15% EM + 20% EL)	74,600	0,930	0,490
10 (20% EM + 20% EL)	73,633	0,789	0,090

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 19, en todos los tratamientos  $p > 0,05$ , entonces se acepta Ho; los datos analizados se distribuyen normalmente. Se procedió al análisis de variancia.

### Análisis de variancia

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

Ha:  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 28. Análisis de variancia del fósforo disponible del suelo.

F.de V.	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	p-valor
Tratamientos	9	55508,156	6167,573	35,256	< 0,0001
Error	20	3498,707	174,935		
Total	29	59006,863			

Fuente: elaboración propia

**Decisión:** se rechaza la  $H_0$ , es decir existe diferencias estadísticas El fósforo disponible del suelo presenta diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ).

Con la finalidad de realizar una comparación múltiple entre tratamientos, se realizó la prueba de Duncan.

#### Prueba de Duncan

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 29. Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.

O.M.	Tratamiento	Promedio (ppm)	Significación
1	6 (0%EM+20%HL)	153,567	a
2	8 (10%EM+20%HL)	90,567	b
3	7 (5%EM+20%HL)	82,833	b
4	9 (15%EM+20%HL)	74,600	b
5	10 (20%EM+20%HL)	73,633	b
6	5 (20%EM)	23,500	c
7	1 (0%EM)	23,000	c
8	3 (10%EM)	20,033	c
9	4 (15%EM)	18,133	c
10	2 (5%EM)	16,433	c

Fuente: Elaboración propia

**Decisión:**

Se rechaza  $H_0$

En la tabla 29 se observa que el tratamiento 6 con humus de lombriz (20%) tiene mayor disponibilidad de fósforo en el suelo, superior estadísticamente a los demás tratamientos, lo cual indica el efecto de la aplicación de humus de lombriz favorece la disponibilidad de fósforo en el suelo. Cuando se aplica EM (microorganismos eficaces) junto con humus de lombriz, se favorece la disponibilidad de P, que cuando se aplica sin HL.

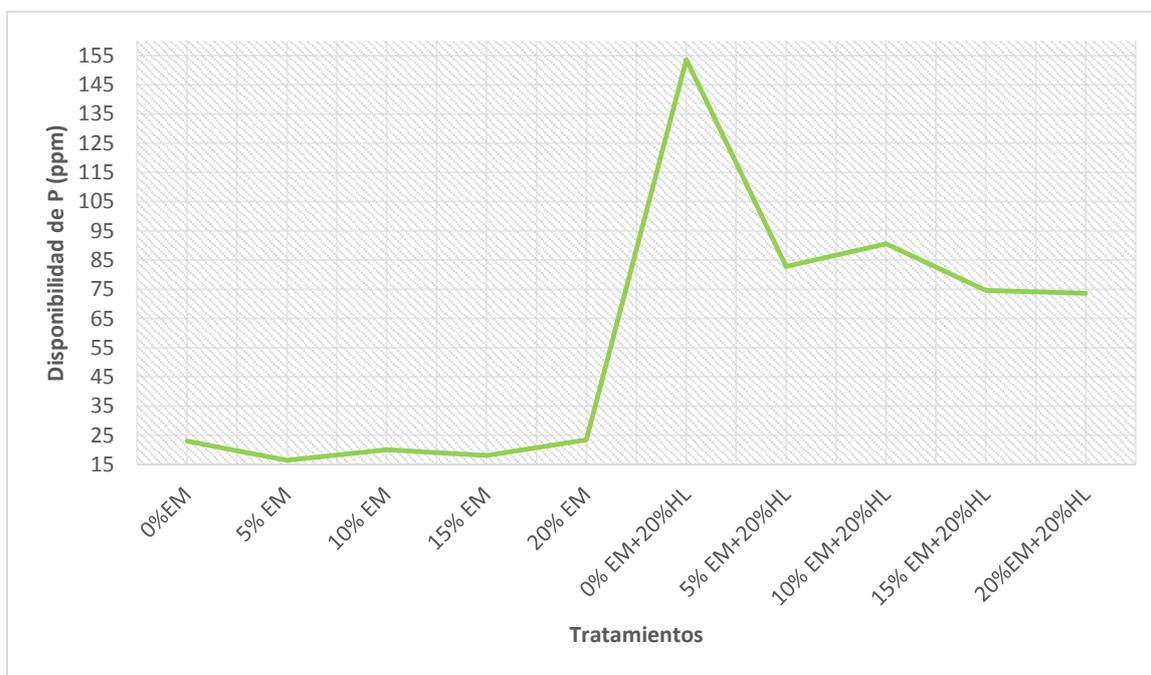


Figura 7. Promedios de la disponibilidad de fósforo en el suelo, para cada tratamiento.

#### 4.1.8 Potasio disponible del suelo

Tabla 30. Resultados del potasio disponible del suelo (ppm)

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% EM)	296	263	243
2 (5% EM)	2056	1736	1716
3 (10% EM)	3020	3480	3390
4 (15% EM)	4610	4030	4660
5 (20% EM)	5220	5400	5350
6 (0% EM + 20% EL)	388	413	383
7 (5% EM + 20% EL)	2056	2304	3620
8 (10% EM + 20% EL)	3340	3590	2256
9 (15% EM + 20% EL)	4490	4880	4690

10 (20% EM + 20% EL)	5610	5810	6020
----------------------	------	------	------

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, aguas, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 31. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para potasio disponible del suelo.

Tratamientos	Promedio (ppm)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	267,333	0,980	0,728
2 (5% EM)	1836,000	0,794	0,100
3 (10% EM)	3293,000	0,887	0,343
4 (15% EM)	4433,333	0,809	0,137
5 (20% EM)	5323,333	0,938	0,520
6 (0% EM + 20% EL)	394,667	0,871	0,296
7 (5% EM + 20% EL)	2660,000	0,865	0,281
8 (10% EM + 20% EL)	3062,000	0,885	0,335
9 (15% EM + 20% EL)	4686,667	1,000	0,969
10 (20% EM + 20% EL)	5813,333	1,000	0,972

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 31, en todos los tratamientos  $p > 0,05$ , entonces se acepta Ho; los datos analizados se distribuyen normalmente. Se procedió al análisis de variancia.

### Análisis de variancia

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

Ha:  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 32. Análisis de variancia del potasio disponible del suelo (ppm).

F.de V.	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	p-valor
Tratamientos	9	101143003,333	11238111,481	73,917	< 0,0001
Error	20	3040738,667	152036,933		
Total	29	104183742,000			

Fuente: elaboración propia

**Decisión:** se rechaza la  $H_0$ , es decir existe diferencias estadísticas en el contenido de potasio disponible del suelo ( $p < 0,0001$ ).

Con la finalidad de realizar una comparación múltiple entre tratamientos, se realizó la prueba de Duncan.

#### Prueba der Duncan

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$  (al menos un  $\mu_i$  es diferente a los demás)

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 33. Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos.

O.M.	Tratamiento	Promedio (ppm)	Significación
1	10 (20%EM+20%HL)	5813,333	a
2	5 (20%EM)	5323,333	a b
3	9 (15%EM+20%HL)	4686,667	b c
4	4 (15%EM)	4433,333	c
5	3 (10%EM)	3293,333	d
6	8 (10%EM+20%HL)	3062,000	d
7	7 (5%EM+20%HL)	2660,000	d
8	2 (5%EM)	1836,000	e
9	6 (0%EM+20%HL)	394,667	f
10	1 (0%EM)	267,333	f

Fuente: Elaboración propia

#### Decisión:

Se rechaza  $H_0$

En la tabla 33 se observa que el tratamiento 10 (20% EM + 20% de humus de lombriz) tiene mayor disponibilidad de potasio en el suelo al igual que el tratamiento 5 (20% EM), sobresaliendo el tratamiento 10, lo cual indica el efecto favorable de la aplicación de EM y humus de lombriz en la disponibilidad de potasio en el suelo.



Figura 8. Promedios de la disponibilidad de potasio en el suelo, para cada tratamiento.

#### 4.1.9 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo (meq/100 g)

Tabla 34. Resultados de la CIC del suelo (meq/100 g)

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
1 (0% EM)	18,88	19,04	17,28
2 (5% EM)	20,48	20,48	20,80
3 (10% EM)	19,84	20,80	20,48
4 (15% EM)	21,28	19,68	20,16
5 (20% EM)	25,56	21,28	20,80
6 (0% EM + 20% EL)	22,08	23,68	25,60
7 (5% EM + 20% EL)	26,88	28,16	26,88
8 (10% EM + 20% EL)	27,20	26,88	27,84
9 (15% EM + 20% EL)	27,20	25,76	25,28
10 (20% EM + 20% EL)	26,88	25,44	26,72

### Prueba de Shapiro-Wilk para la normalidad de datos

Ho: la distribución de los datos es normal

Ha: La distribución de los datos no es normal

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 35. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilks para CIC del suelo.

Tratamientos	Promedio (meq/100g)	Estadístico	Significación (p)
1 (0% EM)	18,400	0,818	0,158
2 (5% EM)	20,587	0,750	<0,0001
3 (10% EM)	20,373	0,964	0,639
4 (15% EM)	20,373	0,949	0,566
5 (20% EM)	22,547	0,825	0,175
6 (0% EM + 20% EL)	23,787	0,997	0,902
7 (5% EM + 20% EL)	27,307	0,750	<0,0001
8 (10% EM + 20% EL)	27,307	0,964	0,639
9 (15% EM + 20% EL)	26,080	0,923	0,463
10 (20% EM + 20% EL)	26,347	0,832	0,196

Fuente: elaboración propia

Decisión: de acuerdo con la tabla 35, en los tratamientos 2 y 7  $p < 0,05$ , entonces se rechaza Ho; los datos analizados no se distribuyen normalmente. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal-Wallis.

### Prueba de Hipótesis

Ho: la MOS es igual en los diez tratamientos.

Ha: al menos un tratamiento es diferente de los demás.

Nivel de significación  $\alpha = 0,05$

Tabla 36. Prueba de Kruskal – Wallis. CIC del suelo.

Tratamientos	Promedio (meq/100g)	GL	H	Significación
1 (0% EM)	18,40	9	25,88	0,002
2 (5% EM)	20,59			
3 (10% EM)	20,37			
4 (15% EM)	20,37			
5 (20% EM)	22,55			
6 (0% EM + 20% EL)	23,79			
7 (5% EM + 20% EL)	27,31			
8 (10% EM + 20% EL)	27,31			
9 (15% EM + 20% EL)	26,08			
10 (20% EM + 20% EL)	26,35			

**Decisión:** la prueba de Kruskal-Wallis indica que existe significación estadística entre los promedios de tratamientos, siendo el tratamiento 10, el que alcanza los máximos valores de CIC del suelo debido a la aplicación de EM junto con humus de lombriz.

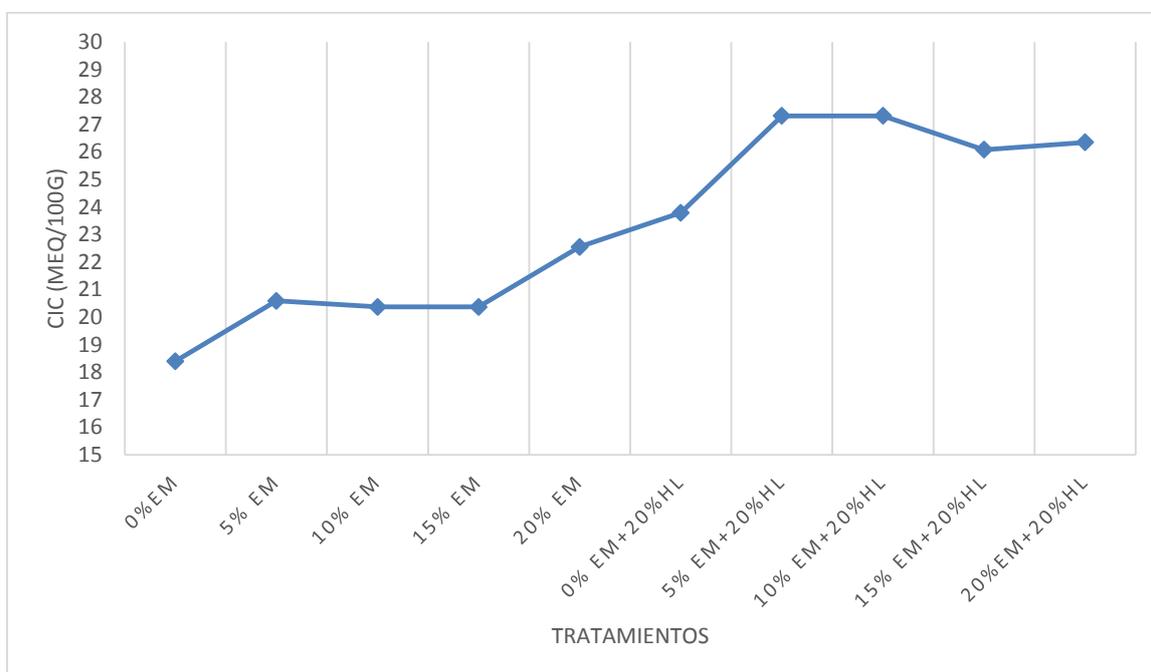


Figura 9. Promedios de la Capacidad de Intercambio catiónico en el suelo, para cada tratamiento.

## 4.2 Discusión de resultados

### 4.2.1 Contenido de cadmio en el suelo al final del experimento

El contenido de cadmio al final del experimento, después del proceso de incubación, varió entre 12,93 y 14,86 mg/kg (Tabla 9), dichos datos aparentemente disminuyeron por la dilución de los tratamientos en las muestras, respecto al valor inicial que fue de 14,89 mg/kg (Tabla 8), pero manteniendo aun el nivel de suelo contaminado. El Tratamiento 10 (20% EM + 20% EL), ocupó el primer lugar en orden de mérito, con un valor de 12,93 mg/kg, superando estadísticamente a los demás tratamientos (Tabla 12). Los tratamientos tuvieron mayor disminución de la cantidad total de cadmio en el suelo, conforme se incrementó la dosis de EM desde 0% a 20%, y conforme se aplicó estiércol de lombriz (Figura 2). Estos resultados tienen la misma tendencia por lo encontrado en el trabajo de investigación: "Influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016), donde el cadmio disminuyó con la dosis de 2% y 8% de EM-compost.

Esto se puede atribuir al proceso de adsorción del Cadmio en el suelo del experimento, que se incrementó por la presencia de materia orgánica, que tuvo como fuente al humus de lombriz (HL), material que a través de sus cargas eléctricas negativas, adsorbe al cadmio (II), como lo corrobora Christensen (25), quien encontró que las reacciones de complejación y adsorción en el suelo reducen el Cadmio en solución hasta en 10 mg/L para suelos hasta con 10 mg Cd/kg de suelo.

La función de los microorganismos eficaces en el suelo, fue acelerar la descomposición del material orgánico del suelo y del agregado (Humus de lombriz), lo cual incrementa las capacidad de intercambio catiónico del suelo, aumenta la adsorción de cadmio y disminuye la cantidad total en el suelo, como lo reporta APROLAB (34), que afirma que los efectos de los microorganismos eficaces en el suelo, están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, biológicas y supresión de enfermedades.

Los EM aplicados al suelo presentan relaciones sinergistas, de cooperación y cometabolismo; habiendo demostrado eficiencia en los procesos de degradación, comparados a organismos que no son una mezcla (30). Los microorganismos del EM poseen características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la descomposición de materia orgánica y la quelación de metales pesados (32), que favorecen la disminución de la concentración de metales pesados en un suelo.

Las concentraciones de elementos en los suelos pueden ser divididas en “total” y “disponible”. Las concentraciones totales incluyen todas las formas del elemento en un suelo, tales como iones enlazados en la estructura de un cristal de minerales primarios y secundarios; aquellos adsorbidos sobre la superficie de minerales secundarios tales como arcillas, óxidos y carbonatos, aquellos enlazados en la materia orgánica en estado sólido y iones libres y complejos orgánicos e inorgánicos solubles en la solución suelo. La concentración “disponible” de un elemento en el suelo es un estimado de la fracción del elemento que está presente como iones libres, complejos solubles o formas fácilmente desorbibles (lábil). La disponibilidad es afectada por muchos factores incluyendo pH, estado redox, niveles de macronutrientes, contenido de agua disponible y temperatura. Aunque las concentraciones totales son frecuentemente una pobre indicación del potencial de fracciones “bio-accesibles” de metales en un suelo, ellos proporcionan una útil indicación de si el suelo tiene una baja o alta concentración anómala. Esto mostrará si este suelo está contaminado o geoquímicamente enriquecido y posee así un posible riesgo de toxicidad a algunas especies de plantas, fauna o microorganismos del suelo (52).

#### **4.2.2 pH del suelo**

El pH del suelo varió significativamente en el suelo, encontrándose valores entre 7,927 y 8,093 (Tablas 12, 13 y 14), siendo los tratamientos 4 (15% EM, pH = 7,980), 5 (20% EM, pH = 8,097) y 10 (20% EM + 20% HL, pH = 8,093), los que incrementaron su pH en valores superiores al pH inicial del suelo (pH = 7,97), lo cual se puede atribuir al efecto del carbonato de calcio presente en el suelo (15,30%, Tabla 7), que incrementó la alcalinidad del suelo, debido a la acción de los ME, quienes a través de su acidez, solubilizan el carbonato de calcio y los iones carbonatos generan hidroxil, aumentando el pH del suelo. Bejarano y Delgadillo (35), reportan que la solución de EM se mantiene en un pH bajo que se extiende entre 3,0 y 4,0 lo cual favorece la solubilidad del carbonato de calcio.

Este incremento de pH, también se observó con la aplicación de EM-compost durante el proceso de compostaje utilizando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, 2016, donde se observó un incremento de pH de 7,900 a 8,467 (12).

#### **4.2.3 Conductividad eléctrica del suelo**

La conductividad eléctrica del suelo tuvo valores entre 0,513 dS/m (Tratamiento 1: testigo) a 8,070 dS/m (Tratamiento 5: 20% EM), como se observa en las tablas 16, 17y 19, superando a la CE inicial del suelo, que solo tuvo un valor de 0,45 dS/m (Tabla 7). Este incremento de la concentración salina en el suelo, que califica los suelos como salinos (CE

> 4 dS/m) (40), se observó notoriamente en los tratamientos que se les agregó 10% EM a 20% EM, con y sin humus de lombriz (Tratamiento 8: 10% EM + 20% HL, CE = 4,450 dS/m; Tratamiento 3: 10% EM, CE = 4,837 dS/m; Tratamiento 9: 15% EM + 20% HL, CE = 5,210 dS/m; Tratamiento 4: 15% EM, CE = 5,91 dS/m; Tratamiento 10: 20% EM + 20% HL, CE = 6,350 dS/m; Tratamiento 5: 20% EM, CE = 8,070 dS/m) (Figura 4).

Estos resultados son similares a los encontrados en el estudio de la influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Concepción, 2016 (12), donde se observó que la conductividad eléctrica varió de 1,8453 dS/m A 1,9427 dS/m.

El incremento de la salinidad del suelo, limita el crecimiento de las plantas, pues disminuye la absorción de agua y nutrientes; por lo que la aplicación de EM, a pesar de disminuir la cantidad de Cadmio en el suelo, por adsorción o complejación, implicaría recomendar prácticas de manejo para mejorar la permeabilidad del suelo y poder lavar el exceso de sales y restringiría su uso para los suelos, como lo afirma Soriano (13), quien al evaluar el tiempo y calidad de compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces, observó que los tratamientos cumplen con los rangos establecidos en la norma 503-Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), excepto la conductividad eléctrica.

#### **4.2.4 Carbonato de calcio del suelo**

El contenido de carbonato de calcio, en el suelo tratado con EM, disminuyó, respecto al contenido inicial (Tabla 6,  $\text{CaCO}_3 = 15,30\%$ ), pues los valores encontrados variaron de 15.300% a 12,567% (Tablas 20, 21 y 22). Estos valores disminuyeron de valores calificados como muy altos ( $\text{CaCO}_3 > 15\%$ ) a valores altos ( $\text{CaCO}_3 = 5-15\%$ ).

Estos resultados se atribuyen al carácter ácido que le dan los ME al suelo, como lo sostienen Bejarano y delgadillo (35), quienes afirman que la solución de microorganismos eficaces se mantiene a un pH bajo que se extiende entre 3,0 a 4,0. Esta acidez solubiliza al carbonato de calcio, genera liberación de calcio y asimilación microbial de este elemento, disminuyendo la cantidad de carbonato de calcio en el suelo (Figura 5).

#### **4.2.5 Materia orgánica del suelo**

El contenido de materia orgánica del suelo varió de 2,51% (tratamiento 1: testigo) a 8,80% (tratamiento 10: 20% EM+20% HL) (Tablas 23, 24 y 25), mostrando el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces en la mejora de las propiedades del suelo, como lo es el contenido de materia orgánica, así como el efecto de las dosis crecientes de EM,

desde 5% a 20% (Figura 6). Estos valores se califican desde medios (MO = 2 a 4%) a altos (> 4%), según la Guía de Calificación de Parámetros Edáficos (40).

Los microorganismos eficaces en el suelo, estimulan la mineralización del carbono en la incubación de laboratorio, como lo afirma Daly and Stewart (9), quienes encontraron que al final de un periodo de incubación de 4 semanas a una temperatura de 30°C, utilizando microorganismos eficientes, el tratamiento con glucosa respiró 30% más carbono que el control y el tratamiento con EM respiró 8% más carbono que el tratamiento con glucosa.

El incremento de materia orgánica del suelo mejora las diferentes propiedades físico-químicas del suelo como retención de agua, tamponamiento del pH, incremento de la capacidad de intercambio catiónico y contenido de nutrientes, así como las biológicas, como la población y actividad microbial, favoreciendo la mejora de suelos contaminados, coincidiendo con los resultados de Pérez (10), quien al determinar el efecto de la tecnología de microorganismos eficaces en suelos intervenidos antrópicamente del parque forestal del Neusa, departamento de Cundinamarca, concluye que la tecnología de microorganismos eficaces tiene un efecto positivo en la restauración geomorfológica al mejorar las propiedades microbiológicas y físico-químicas.

#### **4.2.6 Fósforo disponible del suelo**

El contenido de fósforo disponible en el suelo se incrementó con la aplicación conjunta de microorganismos eficientes y humus de lombriz (EL), habiéndose encontrado valores desde 16,433 ppm (Tratamiento 2, 5% EM) hasta 153,567 ppm (20% HL) (Tablas 26, 27 y 29). Los valores encontrados se encuentran en el rango de niveles altos de fósforo en el suelo [ $P > 14$  ppm (40)].

El tratamiento que ocupa el primer lugar en orden de mérito es el N° 6, superando estadísticamente al grupo de tratamientos con 5%, 10%, 15% y 20% de EM + 20% HL; así como al grupo de tratamientos solo con EM. Esto demuestra que la fuente principal de este incremento de fósforo disponible en el suelo, es el estiércol de lombriz, favorecido por la acción de los microorganismos eficaces que mineralizan el fósforo orgánico, como se observa en la Figura 7.

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Pérez (10), quien al estudiar el efecto de la tecnología de microorganismos eficaces, observó un incremento de nutrientes del suelo al final del estudio, demostrado en la cantidad de fósforo que aumentó de 8 ppm

a 116 ppm; el tratamiento que contenía EM mezclado con compost de cerdaza, papa y aserrín, presentó los mejores resultados.

#### **4.2.7 Potasio disponible del suelo**

El potasio disponible del suelo de Orcotuna, sometido a incubación con la aplicación de microorganismos eficaces y humus de lombriz, incrementó significativamente, habiéndose encontrado valores entre 394,667 ppm K (Tratamiento 6:20% HL) hasta 5813,333 ppm K (Tablas 30, 31 y 33), todos calificados como valores altos [K > 240 ppm (40)].

Considerando que los microorganismos eficientes incrementan la descomposición de materia orgánica (Humus de Lombriz) y la solubilidad de minerales del suelo, por su carácter ácido, favorecen la liberación de potasio, incrementando su contenido disponible en el suelo (Figura 8). El tratamiento que sobresale es el N° 10 (20% EM + 20% HL), superando estadísticamente ( $p < 0,05$ ) a los demás tratamientos.

#### **4.2.8 Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) del suelo**

La capacidad de intercambio catiónico del suelo de Orcotuna, contaminado con Cadmio, se incrementó con la aplicación de microorganismos eficaces y humus de lombriz, después del período de incubación, encontrándose valores de 20,373 meq/100 g (Tratamientos 3: 10% EM y 4: 15% EM), hasta 27,307 meq/100 g (tratamientos 7: 5% EM+20% HL y 8: 10% EM+20% HL) (Tablas 33, 34 y 35). Estos valores están calificados como altos [CIC > 20 meq/100 g, (40)].

Este incremento de la CIC del suelo se debe al efecto de los microorganismos eficaces aplicados al suelo, en descomponer la materia orgánica presente en el suelo y la agregada (Humus de Lombriz), lo cual incrementa las cargas eléctricas superficiales de este coloide e incrementa la CIC del suelo, donde se pueden adsorber cationes presentes en la solución suelo.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Díaz et al. (17), quienes evaluaron la acción de microorganismos eficientes (EM) sobre la actividad de intercambio catiónico en plántulas de Acacia (*Acacia melanoxylon*) para la recuperación de un suelo del municipio de Mondoñedo, Cundinamarca, encontrando que fue EM en dosis de 5% del agua de riego, que mejoró el incremento de la CIC en el suelo, con la mezcla de abonos orgánicos (compost, mulch y gallinaza) en dosis de una libra cada uno, y con la fertilización química compuesta por manganeso, cobre, zinc, fósforo y boro.

## CONCLUSIONES

1. El método aplicado no tiene efecto significativo en la disminución de cadmio, y la aparente disminución se debe a la dilución de las muestras realizadas en el procedimiento de la experimentación con humus de lombriz. Los resultados obtenidos con respecto al contenido inicial (14,89 mg/kg), habiéndose encontrado valores de 12,93 mg/kg (tratamiento 10: 20% EM+20% HL) y 14,86 mg/kg (tratamiento 1: testigo), después del periodo de incubación, durante las 8 semanas a 25°C). Las muestras fueron analizadas por la espectroscopia de absorción atómica en llama dando resultados muy próximos al testigo inicial.
2. La aplicación de microorganismos eficaces (EM-1) mejoró las propiedades del suelo, de la siguiente manera:
  - 2.1 El pH del suelo se incrementó, habiéndose obtenido valores superiores al valor inicial (pH = 7,97), en los tratamientos 4 (15% EM, pH = 7,98), 5 (20% EM, pH = 8,097) y 10 (20% EM + 20% HL, pH = 8,093).
  - 2.2 La conductividad eléctrica, varió de 0,513 dS/m (Tratamiento 1, testigo) a 8,070 dS/m (Tratamiento 5: 20% EM), salinizando el suelo (CE > 4 dS/m).

- 2.3 El contenido de carbonato de calcio disminuyó respecto al contenido inicial (15,30%  $\text{CaCO}_3$ ), habiéndose tenido valores de 15,30 %  $\text{CaCO}_3$  (Tratamiento 1: testigo) a 12,57%  $\text{CaCO}_3$  (Tratamiento 10: 20% EM+20% HL).
- 2.4 El contenido de materia orgánica en el suelo varió de 2,51% (Tratamiento 1: testigo) a 8,80% (Tratamiento 10: 20% MO+20% HL), mostrando el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces sobre el suelo.
- 2.5 El fósforo disponible del suelo aumentó, habiéndose encontrado valores en el rango de 16,433 ppm (Tratamiento 2: 5% EM) hasta 153,567 ppm (Tratamiento 6: 20% HL).
- 2.6 El potasio disponible del suelo de Orcotuna, sometido a incubación por un periodo de 8 semanas días, a temperatura de 25°C, con la aplicación de microorganismos eficaces, aumentó significativamente, variando los valores desde 267,333 ppm (Tratamiento 1: testigo) hasta 5813,333 ppm (Tratamiento 10: 20% EM+20% HL).
- 2.7 La Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo se incrementó con la aplicación de microorganismos eficaces y humus de lombriz, encontrándose valores de 20,373 meq/100 g (Tratamientos 3: 10% EM y 4: 155 EM) hasta 27,307 meq/100 g (Tratamientos 7: 5% EM+20% HL y 8: 10% EM+20% HL).
3. La aplicación de microorganismos eficaces incremento la fertilidad del suelo, desde un nivel medio (debido al contenido medio de materia orgánica) hasta un nivel alto (alto contenido de materia orgánica, fósforo y potasio).

## **RECOMENDACIONES**

1. Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces, aplicados a suelos contaminados con cadmio, del valle del Mantaro, en la fitorremediación.
2. Aplicar microorganismos eficaces a suelos contaminados con cadmio, conjuntamente con diferentes abonos orgánicos, como compost, guano de islas o estiércol de aves, para determinar el efecto en la disminución del contenido total en el suelo.
3. Evaluar los suelos agrícolas de Orcotuna, contaminados con Cadmio, con la aplicación de microorganismos eficaces y humus de lombriz, en el crecimiento de plantas que se cultivan en la zona, como maíz, papa y hortalizas, para determinar su efecto en el rendimiento de los cultivos.

## Referencias bibliográficas

1. Hanes, M., Scholger, R., Dejjers, M.J. The application of Fuzzy C-means cluster analysis and non-linear mapping to a soil data set for detection of polluted sites. *Physical Chemical Earth Sciences* 26, 885-891. 2001.
2. Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C., Chambers, B.J. An inventory of heavy metal input to agricultural soil in England and Wales. *The Science of the Total Environment* 311, 205-219. 2003.
3. Basta, N.T., Graddwohl, R., Snethen, K.L., Schroder, J.L. Chemical immobilization of lead, zinc, and cadmium in smelter-contaminated soils using biosolids and rock phosphate. *J. Environ. Qual.* 30, 1222-1230. 2001.
4. Antoniadis, N., Alloway, B.J. Availability of Cd, Ni, and Zn to ryegrass in sewage sludge treated soils at different temperatures. *Water Air Soil Pollut.* 132, 201-204. 2001.
5. Hooda, P.S., Alloway, B.J. Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd and Pb from sludge-amended soils. *J. Soil Sci.* 44, 97-110. 1993.
6. Higa, T. y J.F. Parr. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center. Atami, Japan. 1994.
7. Weil, R.R. and N.C. Brady. The nature and properties of soils. Fifteenth edition. Pearson. 2016.
8. Correa, Margarita. ¿Cuál es la tecnología de microorganismos eficaces? ¿Cómo nos puede ayudar? Publicado en material del curso Resistencia: lecciones de civilidad. Bogotá, Colombia, 2005.
9. Daly, M.J. and D.P.C. Stewart. Influence of Effective microorganisms (EM) on vegetable production and carbon mineralization-A preliminary investigation. *Journal of Sustainable Agriculture.* Vol 14 (2/3). 1999.
10. Pérez B., A.A. Efecto de la tecnología de microorganismos eficaces en suelos intervenidos antrópicamente del parque forestal embalse del Neusa, departamento de Cundinamarca. Tesis de Grado. Licenciatura en Biología. Universidad distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. 2016.
11. Khaliq, A., M.K. Abbasi, and T. Hussain. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology* 97:967-972. 2006.
12. Huayllani H., K.O. Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residual,

- Concepción, 2016. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Huancayo, Perú. 2017.
13. Soriano V., J.A. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de “microorganismos eficaces – Concepción. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo, Perú, 2016.
  14. Beltrán B., T.R., C.M. Campos R. Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo, Perú. 2016.
  15. Suaña Q., M.E. Compostaje de residuos orgánicos y de lenteja de agua (*Lemna sp.*) con aplicación de microorganismos eficaces. Tesis para optar el Grado Académico de Magister Scientiae en Agroecología. Maestría en Agricultura Andina. Puno, Perú. 2013.
  16. Cardona G., J., L.A. García Galindo. Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre la calidad de un agua residual doméstica. Tesis para optar el título de microbiólogo industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá DC. 2008.
  17. Díaz Barragán O.A., D.M. Montero Robayo y J.A. Lagos Caballero. Acción de micrororganismos eficientes sobre la actividad de intercambio catiónico en plántulas de Acacia (*Acacia melanoxylon*) para la recuperación de un suelo del municipio de Mondoñedo, Cundinamarca. *Revista Colombia Forestal*. Vol. 12:141-160. 2009.
  18. Smolders, E., Brans, K., Foldi, A., & Merckx, R. Cadmium fixation in soils measured by isotopic dilution. *Soil Science Society of American Journal*, 63(1), 78-85. 1999.
  19. Nordberg, G.F. Historical perspectives on cadmium toxicology. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238(3), 192-200. 2009.
  20. Smolders, E. and J. Mertens. Cadmium. In: *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Brian J. Alloway Editor. Third edition. 2013.
  21. World bureau of metal statistics. *World Nickel/Tin/Cadmium statistics-Cadmium*. World Bureau of Metal Statistics, UK: Hertfordshire. 2009.
  22. Grosbois, C., Meybeck, A., Horowitz, A., & Ficht, A. The spatial and temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in Seine River floodplain deposits (1944-2000). *Science of the total environmental*, 356(1-3), 22-37. 2006.
  23. EU. European Union risk assessment report. Cadmium metal. Part I environment (vol. 72). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 2007.

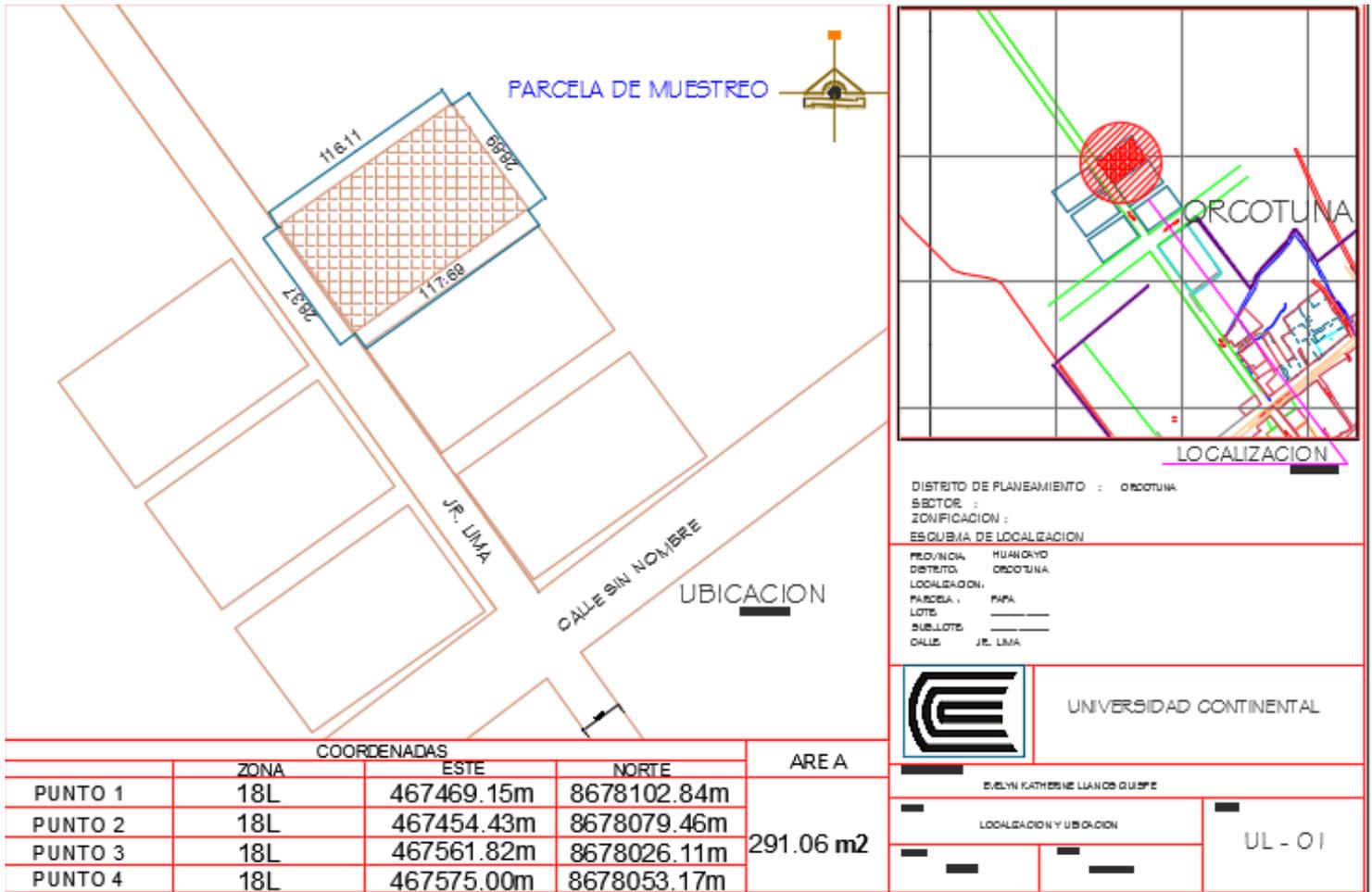
24. Chen, W., Li, L., Chang, A.C., Wu, L., Chaney, R.L., Smith, R., et al. Characterizing the solid-solution partitioning coefficient and plant uptake factor of As, Cd, y Pb in California croplands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, 212-220. 2009.
25. Christensen, T.H. Cadmium soil sorption at low concentrations. I. Effect of time, cadmium load, pH, and calcium. *Water, Air, and soil pollution*, 21 (1-4), 105-114. 1984.
26. Degryse, F., Smolders, E., & Parker, D.R. Partitioning of metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) in soils: concepts, methodologies, prediction and applications-A review. *European Journal of Soil Science*, 60(4), 590-612. 2009.
27. Boekhold, A.E., & Van der Zee, S.E.A.T.M. Significance of soil chemical heterogeneity for spatial behavior of cadmium in field soils. *Soil Science Society of American Journal*, 56, 747-754. 1992.
28. Higa T. y J. Parr. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. *International Nature Farming Venter*. Atami. Japan. 17 pp. 1994.
29. Sangkkara, U. The technology of effective Microorganisms. Case Studies of Application. Royal Agricultural College. Cirencester UK. Research Activities. 2002.
30. Atlas y Bartha, 1998)
31. García, J. Comparación de la fertilización orgánica y convencional a partir del uso de microorganismos eficaces y químicos tradicionales sobre la producción de biomasa durante un ciclo de cosecha en un cultivo de rábano gordo (*Rhapanus sativus* L.). *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 42:73-82. 2006.
32. Wididana G. and T. Higa. Model of integrated farming system with effective microorganisms (EM) technology in Bali Isly. Presented at 5th International Kyusei Nature Farming Conference, Bangkok, Thaily 22-26. 1997.
33. Higa, T. and G.N. Wididana. Changes in the soil microflora induced by Effective Microorganisms. P. 153-162. In J.F. Parr, S.B. Hornick, and C.E. Whitman. 8ED.) *Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming*. U.S. Departament of Agriculture, Washington, D.C. USA.
34. APROLAB. Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú. Instructivo N° 001-2007.
35. Bejarano B., E.P. y S.M. Delgadillo Acosta. Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá "La Modelo" por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM). Proyecto de grado para ostentar el

- título de Ingenierías Ambientales y Sanitarias.. Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá D.C. 2007.
36. Correa, Margarita. ¿Cuál es la Tecnología de Microorganismos Eficaces? ¿Cómo nos puede ayudar?. Publicado en Material del Cusco Resistencia: Lecciones de Civilidad. Bogotá. 2005. p.4.
  37. MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Decreto Supremo N° 011-2017-NIMAM. Lima, Perú. 2017.
  38. MINAM. Dirección General de Calidad Ambiental. Glosario de términos para la Formulación de Proyectos Ambientales. Lima, Perú. 2012.
  39. SSSA. Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America. Madison, W.I. 2008.
  40. MINAM. Guía de Clasificación de Parámetros Edáficos. En: Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor. Lima, Perú. 2009.
  41. MINAM. Guía para muestreo de suelos. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. 2014.
  42. Skoog D.A., Holler F.J., Crouch S.R. Principios de análisis instrumental. 6ta edición, Cengage Learning, México. 2001.
  43. USEPA 3051 A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. 1998.
  44. Bernal T., C.A. Metodología de la investigación. Tercera edición. Perason. Colombia, 2010.
  45. Arroyo A., J. ¿Cómo ejecutar un plan de investigación?. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias. 2012.
  46. Hernandez S., R.; C. Fernández C. y M. del Pilar Baptista L. Metodología de la investigación. Mc Graw Hill. Quinta edición. 2010.
  47. Proyecto Mantaro Revive. Avances de resultados de la evaluación de calidad ambiental de los recursos agua y suelo. Data Mayo-octubre 2007. Caritas Huancayo.2007.
  48. Zavaleta G., A. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima, Perú. 1992.
  49. Fassbender H.W. y E. Bornemisza. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. 1987.
  50. Tan, K.H. Principles of soil chemistry. Fourth edition. CRC Press. 2011.

51. Mirsal, I.A. Soil Pollution. Origin, Monitoring & Remediation. 2nd edition. Springer. 2010.
52. Alloway, B.J. Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In. B.J. Alloway (ed.). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability, Environmental Pollution 22. Springer. 2013.

## **ANEXOS**

## ANEXO I: PLANO DE UBICACIÓN



## Anexo II. Escala de interpretación de análisis de suelos.

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

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

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

Rangos	Clases
< 3,5	Ultra ácido
3,6 – 4,4	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
> 9,0	Muy fuertemente alcalino

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

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

### 5. Materia Orgánica<sup>2</sup>

<b>Nivel</b>	<b>%</b>
Bajo	< 2
Medio	2 – 4
Alto	> 4

6. Fósforo disponible<sup>2</sup>

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

7. Potasio disponible<sup>2</sup>

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

8. Calcáreo (CaCO<sub>3</sub>)<sup>3</sup>

<b>Nivel</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>
Bajo	< 1
Medio	1 – 5
Alto	5 - 15
Muy Alto	> 15

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

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

10. Saturación de bases<sup>3</sup>

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

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

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

(1) Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

(2) Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.

(3) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002.

### Anexo 3. Análisis de suelo.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS**  
**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES**



### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : EVELYN KATHERINE LLANOS QUISPE

Departamento : JUNÍN  
 Distrito : ORCOTUNA  
 Referencia : H.R. 60466-117C-17

Provincia : CONCEPCIÓN  
 Predio :  
 Fecha : 18/09/17

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab.	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
9778	1	7.97	0.45	15.30	2.07	18.9	148	36	46	18	Fr.	20.16	16.76	2.80	0.53	0.07	0.00	20.16	20.16	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
Lab.	Claves			
9778	1	1748.00	14.89	16.78



*Dr. Sady García Bendezu*  
 Jefe del Laboratorio



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : EVELYN KATHERINE LLANOS QUISPE

Departamento : JUNIN

Distrito : LA OROYA

Referencia : H.R. 63676-071C-18

Bolt.: 1576

Provincia : YAULI

Predio :

Fecha : 05/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
7364	T1-I	7.00	1.25	13.40	6.97	120.3	388	41	40	19	Fr.	22.08	16.36	4.82	0.87	0.03	0.00	22.08	22.08	100
7365	T1-II	7.38	1.16	12.90	6.73	156.7	413	43	40	17	Fr.	23.68	17.72	5.17	0.76	0.03	0.00	23.68	23.68	100
7366	T1-III	7.22	1.27	13.80	6.04	183.7	383	43	40	17	Fr.	25.60	19.84	4.85	0.86	0.05	0.00	25.60	25.60	100
7367	T2-I	7.83	3.27	12.90	6.75	102.8	2056	45	36	19	Fr.	26.88	20.00	3.77	3.01	0.10	0.00	26.88	26.88	100
7368	T2-II	8.04	0.08	13.80	7.33	77.0	2304	45	36	19	Fr.	28.16	20.06	5.02	3.02	0.06	0.00	28.16	28.16	100
7369	T2-III	7.80	4.83	13.40	7.58	68.7	3620	45	38	17	Fr.	26.88	18.95	4.77	3.09	0.07	0.00	26.88	26.88	100
7370	T3-I	7.79	4.99	12.40	6.90	68.7	3340	41	40	19	Fr.	27.20	19.12	5.03	2.96	0.09	0.00	27.20	27.20	100
7371	T3-II	7.80	5.18	13.40	7.10	99.4	3590	41	40	19	Fr.	26.88	19.16	4.52	3.08	0.12	0.00	26.88	26.88	100
7372	T3-III	7.74	3.18	12.90	7.45	103.6	2256	41	40	19	Fr.	27.84	20.00	4.42	3.35	0.07	0.00	27.84	27.84	100
7373	T4-I	7.94	4.78	13.40	8.43	75.5	4490	41	40	19	Fr.	27.20	14.92	9.42	2.74	0.12	0.00	27.20	27.20	100
7374	T4-II	7.95	5.46	12.90	8.57	71.3	4880	41	40	19	Fr.	25.76	14.71	8.15	2.78	0.11	0.00	25.76	25.76	100
7375	T4-III	8.01	5.39	12.90	8.01	77.0	4690	41	40	19	Fr.	25.28	13.88	8.28	3.01	0.10	0.00	25.28	25.28	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sady García Bendezo  
Jefe del Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : EVELYN KATHERINE LLANOS QUISPE

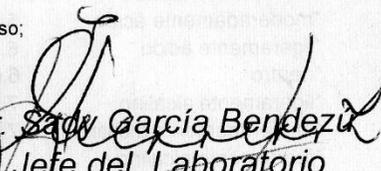
Departamento : JUNIN  
 Distrito : LA OROYA  
 Referencia : H.R. 63676-071C-18

Bolt.: 1576

Provincia : YAULI  
 Predio :  
 Fecha : 05/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
7376	T5-I	8.10	5.98	12.90	8.80	68.7	5610	41	42	17	Fr.	26.88	15.64	8.12	3.02	0.10	0.00	26.88	26.88	100
7377	T5-II	8.09	8.50	12.40	8.67	76.3	5810	45	40	15	Fr.	25.44	15.20	7.05	3.09	0.10	0.00	25.44	25.44	100
7378	T5-III	8.09	4.57	12.40	8.82	75.9	6020	41	44	15	Fr.	26.72	15.64	8.30	2.61	0.17	0.00	26.72	26.72	100
7379	T6-I	8.00	0.49	15.30	2.51	23.5	296	31	50	19	Fr.L.	18.88	15.34	2.95	0.56	0.03	0.00	18.88	18.88	100
7380	T6-II	7.90	0.51	15.30	2.30	23.3	263	31	50	19	Fr.L.	19.04	16.26	2.35	0.41	0.03	0.00	19.04	19.04	100
7381	T6-III	7.88	0.54	15.30	2.51	22.2	243	37	44	19	Fr.	17.28	13.91	2.92	0.42	0.03	0.00	17.28	17.28	100
7382	T7-I	7.75	3.92	15.30	3.56	18.7	2056	37	44	19	Fr.	20.48	14.25	3.45	2.74	0.04	0.00	20.48	20.48	100
7383	T7-II	7.81	3.07	15.30	3.15	16.0	1736	35	46	19	Fr.	20.48	14.50	2.92	3.02	0.04	0.00	20.48	20.48	100
7384	T7-III	7.82	3.29	15.30	3.41	14.6	1716	41	42	17	Fr.	20.80	14.16	3.75	2.83	0.06	0.00	20.80	20.80	100
7385	T8-I	7.97	4.61	15.30	3.96	18.4	3010	35	46	19	Fr.	19.84	13.34	3.32	3.08	0.10	0.00	19.84	19.84	100
7386	T8-II	7.94	5.01	14.30	3.96	20.1	3480	41	44	15	Fr.	20.80	13.63	3.48	3.59	0.10	0.00	20.80	20.80	100
7387	T8-III	7.91	4.89	14.80	3.78	21.6	3390	39	44	17	Fr.	20.48	13.71	3.58	3.09	0.10	0.00	20.48	20.48	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

  
**Sady García Bendeziú**  
 Jefe del Laboratorio



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : EVELYN KATHERINE LLANOS QUISPE

Departamento : JUNIN  
 Distrito : LA OROYA  
 Referencia : H.R. 63676-071C-18

Bolt: 1576

Provincia : YAULI  
 Predio :  
 Fecha : 05/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
7388	T9-I	7.92	6.37	14.30	4.81	18.4	4610	41	42	17	Fr.	21.28	14.83	3.28	3.02	0.15	0.00	21.28	21.28	100
7389	T9-II	8.02	5.42	14.80	4.51	16.9	4030	41	42	17	Fr.	19.68	13.35	3.68	2.55	0.10	0.00	19.68	19.68	100
7390	T9-III	8.00	5.94	14.30	4.71	19.1	4660	43	42	15	Fr.	20.16	12.06	4.90	3.07	0.13	0.00	20.16	20.16	100
7391	T10-I	8.10	8.67	13.80	5.25	21.9	5220	47	36	17	Fr.	25.56	19.21	3.18	2.95	0.21	0.00	25.56	25.56	100
7392	T10-II	8.14	6.51	14.30	5.14	19.8	5400	51	34	15	Fr.	21.28	14.23	4.42	2.51	0.12	0.00	21.28	21.28	100
7393	T10-III	8.05	9.03	14.30	5.23	28.8	5350	47	38	15	Fr.	20.80	14.15	3.47	3.09	0.10	0.00	20.80	20.80	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*Sady García Bendeza*  
 Jefe del Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : EVELYN KATHERINE LLANOS QUISPE  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ CONCEPCIÓN/ ORCOTUNA  
REFERENCIA : H.R. 62060  
BOLETA : 1208  
FECHA : 19/01/2018

Lab	Número Muestra		Cd ppm
	Claves		
005	1	I	14.64
006	1	II	15.02
007	1	III	14.92
008	2	I	14.75
009	2	II	14.71
010	2	III	15.01
011	3	I	13.84
012	3	II	13.43
013	2	III	13.88
014	4	I	14.92
015	4	II	14.64
016	4	III	14.14
017	5	I	14.42
018	5	II	14.28
019	5	III	14.30
020	6	I	13.95
021	6	II	13.98
022	6	III	13.92



Sady García Bendezi  
Jefe del Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : EVELYN KATHERINE LLANOS QUISPE  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ CONCEPCIÓN/ ORCOTUNA  
REFERENCIA : H.R. 62060  
BOLETA : 1208  
FECHA : 19/01/2018

Lab	Número Muestra	Cd ppm
	Claves	
023	7 I	13.92
024	7 II	14.02
025	7 III	13.90
026	8 I	14.22
027	8 II	13.66
028	8 III	13.61
029	9 I	13.35
030	9 II	13.65
031	9 III	13.53
032	10 I	12.93
033	10 II	13.11
034	10 III	12.75

  
Sally García Bendezy  
Jefe del Laboratorio

## **PANEL FOTOGRÁFICO**

**MUESTREO DE SUELO EN LA PARCELA CONTAMINADO POR CADMIO , ORCOTUNA -  
CONCEPCION**





**MATERIALES UTILIZADOS: EM-1, MELAZA , AGUA DESTILADA , PROBETA Y VASO DE PRECIPITACION**



**MEDICION DEL EM-1 POR DOSIS DE 5% , 10% , 15% Y 20%**



**MEZCLAR EL EM-1 CON LA MELAZA Y AGUA DESTILADA SEGÚN LA DOSIS CORRESPONDIENTE**



**VERTIR LA MEZCLA EN UN ENVASE DE 200 ML PARA CADA DOSIS Y DEJAR FERMENTAR POR UNA SEMANA**

## **ACTIVACION DEL EM-1**

**TRATAMIENTO CON EM (0%,5%,10%,15% Y 20%) + SUELO Y EM (0%,5%,10%,15% Y 20%) + SUELO + HUMUS DE LOMBRIZ**



**TAMIZ**



**PISETA CON AGUA DESTILADA**



**VASO DE PRECIPITACION Y BALANZA**



**PIPETA Y PROPIPETA**



**EM ACTIVADO**



**CUCHARILLA DE METAL**



**SE TAMIZA EL SUELO CONTAMINADO CON CADMIO Y EL HUMUS DE LOMBRIZ POR SEPARADO**



**PESADO DEL SUELO CONTAMINADO Y EL HUMUS DE LOMBRIZ EN LA BALANZA ELECTRONICA**



**MEDIR EL EM 1 ACTIVADO**



**AGREGAR AL VASO DE PRECIPITACION CON CONTENIDO DE SUELO CONTAMINADO EL EM 1**



**LAS 15 MUESTRAS CON EM (0%,5%,10%,15% Y 20%) + SUELO CONTAMINADO**



**LAS 15 MUESTRAS CON EM (0%,5%,10%,15% Y 20%) + SUELO CONTAMINADO+ HUMUS DE LOMBRIZ**



**SE PUSO LAS MUESTRAS A LA INCUBADORA A 25 ° C POR OCHO SEMANAS**



**MUESTRAS QUE SE LLEVARON AL LABORATORIO**