

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto de enmiendas orgánicas e inorgánicas en el  
mejoramiento de suelos cultivados con maca  
(*Lepidium meyenii* Walp.). Carhuamayo. 2021**

Hayme Helem Huaroc Enriquez  
Yosuny Raquel Olivar Gonzales  
Johnny Nilson Omonte Arzapalo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a DIOS, ser divino, por darnos la vida y guiar nuestros pasos día a día; gracias a nuestras familias por apoyarnos en el logro de nuestras metas. A nuestro asesor, por su acertado apoyo que nos permitió desarrollar con excelencia nuestra tesis; gracias a nuestros maestros por sus enseñanzas y habernos brindado todos sus conocimientos.

No fue sencillo el camino recorrido hasta ahora, pero con su aporte lo complicada que pudo parecer llegar a la meta, se hizo posible. Les agradecemos profundamente y hacemos presente nuestro gran efecto hacia ustedes.

## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, quienes con su infinito amor nos inculcaron el respeto, responsabilidad y sobre todo nos enseñaron a nunca perder la fe. Así mismo a nuestros hermanos, por sus palabras y compañía, a nuestro asesor, profesores y amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos durante estos años.

# ÍNDICE GENERAL

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....                               | <b>2</b>  |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                                  | <b>3</b>  |
| <b>ÍNDICE GENERAL</b> .....                               | <b>4</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....                             | <b>6</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                            | <b>7</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....                                      | <b>8</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                     | <b>9</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                 | <b>10</b> |
| <b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....        | <b>11</b> |
| <b>1.1 Planteamiento y formulación del problema</b> ..... | <b>11</b> |
| 1.1.1 Planteamiento del problema .....                    | 11        |
| 1.1.1 Formulación del problema.....                       | 12        |
| 1.1.1.1 <i>Problema general</i> .....                     | 12        |
| 1.1.1.2 <i>Problemas específicos</i> .....                | 12        |
| <b>1.2 Objetivos</b> .....                                | <b>12</b> |
| 1.2.1 General .....                                       | 12        |
| 1.2.2 Específicos .....                                   | 12        |
| <b>1.3 Justificación e importancia</b> .....              | <b>12</b> |
| 1.3.1 Justificación .....                                 | 12        |
| 1.3.2 Importancia.....                                    | 12        |
| <b>1.4 Hipótesis y descripción de variables</b> .....     | <b>13</b> |
| 1.4.1 Hipótesis.....                                      | 13        |
| 1.4.2 Descripción de variables .....                      | 13        |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....                   | <b>16</b> |
| <b>2.1 Antecedentes del problema</b> .....                | <b>16</b> |
| 2.1.1 Tesis.....                                          | 16        |
| 2.1.2 Artículos de investigación .....                    | 18        |
| <b>2.2 Bases teóricas</b> .....                           | <b>20</b> |
| 2.2.1 Degradación del suelo .....                         | 20        |
| 2.2.2 Mejoramiento de suelos.....                         | 21        |
| 2.2.3 Enmiendas orgánicas .....                           | 22        |
| 2.2.4 Enmiendas inorgánicas .....                         | 24        |
| <b>2.3 Definición de términos básicos</b> .....           | <b>24</b> |
| <b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....                    | <b>27</b> |
| <b>3.1 Método y alcance de la investigación</b> .....     | <b>27</b> |
| 3.1.1 Método de investigación .....                       | 27        |

|                                                 |                                                            |           |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.2                                           | Alcance de la investigación .....                          | 27        |
| 3.2                                             | Diseño de la investigación .....                           | 28        |
| 3.2.1                                           | Diseño experimental .....                                  | 28        |
| 3.3                                             | Población y muestra .....                                  | 28        |
| 3.3.1                                           | Población.....                                             | 28        |
| 3.3.2                                           | Muestra .....                                              | 28        |
| 3.4                                             | Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....      | 28        |
| 3.4.1                                           | Técnicas de análisis de datos.....                         | 28        |
| 3.5                                             | Descripción del área de estudio.....                       | 28        |
| 3.5.1                                           | Ubicación de la parcela del suelo cultivado con maca ..... | 28        |
| 3.5.2                                           | Caracterización del suelo del área de estudio .....        | 33        |
| 3.5.3                                           | Caracterización de enmiendas.....                          | 35        |
| <b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b> |                                                            | <b>37</b> |
| 4.1                                             | Resultados de laboratorio .....                            | 37        |
| 4.1.1                                           | Objetivo Específico 1:.....                                | 37        |
| 4.1.2                                           | Objetivo Específico 2:.....                                | 38        |
| 4.2                                             | Prueba de hipótesis.....                                   | 49        |
| 4.2.1                                           | Hipótesis específica 1 .....                               | 49        |
| 4.2.2                                           | Hipótesis específica 2 .....                               | 54        |
| 4.3                                             | Discusión de resultados.....                               | 74        |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                       |                                                            | <b>77</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>                     |                                                            | <b>78</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>          |                                                            | <b>79</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                              |                                                            | <b>82</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables en estudio.....                                       | 15 |
| Tabla 2. Tratamientos del estudios.....                                                            | 30 |
| Tabla 3. Tratamientos del estudio .....                                                            | 32 |
| Tabla 4. Parámetros de análisis de suelo.....                                                      | 33 |
| Tabla 5. Resultados de análisis inicial del suelo del experimento .....                            | 34 |
| Tabla 6. Resultados de análisis del compost.....                                                   | 35 |
| Tabla 7. Resultados del análisis del vermicompost.....                                             | 36 |
| Tabla 8. Resultados del análisis de la densidad aparente ( $Mg.m^{-3}$ ).....                      | 37 |
| Tabla 9. Resultados del análisis de la porosidad total (%).....                                    | 38 |
| Tabla 10. Resultados del pH del suelo.....                                                         | 39 |
| Tabla 11. Resultados de la CE del suelo.....                                                       | 40 |
| Tabla 12. Resultados del contenido de MO del suelo.....                                            | 41 |
| Tabla 13. Resultados del contenido de P en el suelo .....                                          | 42 |
| Tabla 14. Resultados del contenido de K en el suelo.....                                           | 43 |
| Tabla 15. Resultados de la CIC del suelo .....                                                     | 44 |
| Tabla 16. Resultados del contenido de Ca cambiabile en el suelo.....                               | 44 |
| Tabla 17. Resultados del contenido de Mg cambiabile en el suelo .....                              | 45 |
| Tabla 18. Resultados del contenido de K cambiabile en el suelo.....                                | 46 |
| Tabla 19. Resultados del contenido de Na cambiabile en el suelo.....                               | 47 |
| Tabla 20. Resultados de la saturacion de bases del suelo (%).....                                  | 48 |
| Tabla 21. Resultados de la acidez cambiabile del suelo (%).....                                    | 49 |
| Tabla 22. Prueba de normalidad (shapiro-Wilks) para la DAP del suelo .....                         | 50 |
| Tabla 23. Análisis de varianza de la densidad aparente del suelo.....                              | 51 |
| Tabla 24. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la PT del suelo.....                           | 52 |
| Tabla 25. Análisis de varianza de la porosidad total del suelo .....                               | 53 |
| Tabla 26. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el pH del suelo.....                           | 54 |
| Tabla 27. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la CE del suelo .....                          | 56 |
| Tabla 28. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de MO del suelo .....             | 57 |
| Tabla 29. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de P del suelo .....              | 59 |
| Tabla 30. Análisis de variancia del contenido de P en el suelo .....                               | 59 |
| Tabla 31. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de K en el suelo .....            | 61 |
| Tabla 32. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la CIC del suelo .....                         | 63 |
| Tabla 33. Pueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de Ca cambiabile en el suelo.....  | 65 |
| Tabla 34. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de Mg cambiabile en el suelo..... | 67 |
| Tabla 35. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de K cambiabile en el suelo.....  | 69 |
| Tabla 36. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de Na cambiabile en el suelo..... | 70 |
| Tabla 37. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la SB del suelo .....                          | 72 |
| Tabla 38. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la AC del suelo .....                          | 73 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figura 1. Mapa de ubicación</i>                                                                                                                                   | <b>35</b> |
| <i>Figura 2. Prueba de Duncan para la DAP en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico</i>                                 | <b>49</b> |
| <i>Figura 3. Prueba de Duncan para la porosidad total en el suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico</i>                                | <b>51</b> |
| <i>Figura 4. Prueba de Kruskal Wallis para el pH del suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico</i>                                       | <b>53</b> |
| <i>Figura 5. Prueba de Kruskal Wallis para la CE del suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico</i>                                       | <b>55</b> |
| <i>Figura 6. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de materia orgánica. Las líneas al centro de las barras representan el error típico</i>                      | <b>56</b> |
| <i>Figura 7. Prueba de Duncan para el contenido de P en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico</i>                      | <b>58</b> |
| <i>Figura 8. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de K en el suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico</i>                         | <b>60</b> |
| <i>Figura 9. Prueba de Kruskal Wallis para la CIC del suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico</i>                           | <b>61</b> |
| <i>Figura 10. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Ca cambiabile en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico</i> | <b>63</b> |
| <i>Figura 11. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Mg cambiabile en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico</i> | <b>65</b> |
| <i>Figura 12. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de K cambiabile en el suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico</i>             | <b>66</b> |
| <i>Figura 13. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Na cambiabile en el suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico.</i>           | <b>68</b> |
| <i>Figura 14. Prueba de Kruskal Wallis para la SB en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.</i>                        | <b>69</b> |
| <i>Figura 15. Prueba de Kruskal Wallis para la AC en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.</i>                        | <b>71</b> |

## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar el mejoramiento de suelos cultivados de maca (*Lepidium meyenii* Walp) con la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas. **Problema de investigación:** ¿Cuál es el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en el mejoramiento de un suelo cultivado con maca en Carhuamayo, 2021? **Hipótesis:** La aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas mejorará significativamente las propiedades físicoquímicas de un suelo cultivado con maca en Carhuamayo. **Metodología:** se aplicaron 2 enmiendas orgánicas (compost y vermicompost a una dosis de 10 % y 20 % cada una) y 2 enmiendas inorgánicas ( Óxido de calcio (CaO) y Yeso Agrícola (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) en dosis de 1 y 2 cmol Ca/kg cada una), en un suelo cultivado con maca de la localidad de Carhuamayo en un experimento con macetas, considerando un control. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño completamente al Azar. Después de 60 días se evaluaron las propiedades físicas (densidad aparente y porosidad) y químicas (pH, CE, materia orgánica, fósforo, potasio, CIC, cationes cambiabiles, saturación de bases y acidez cambiabiles). **Conclusiones:** El vermicompost al 20 % disminuyó la densidad aparente, incrementó la porosidad total, incrementó el pH, mantuvo baja la CE, aumentó la materia orgánica, incrementó el fósforo, la CIC y el magnesio cambiabiles. El compost al 20 % incrementó el potasio cambiabiles. El CaO incrementó el calcio cambiabiles.

**Palabras clave:** Mejoramiento de suelo, propiedades físicas, propiedades químicas, enmiendas orgánicas e inorgánicas.

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the improvement of cultivated soils of maca (*Lepidum meyenii* Walp) with the application of organic and inorganic amendments. **Research problem:** What is the effect of the application of organic and inorganic amendments in the improvement of a soil cultivated with maca in Carhuamayo, 2021?. **Hypothesis:** The application of organic and inorganic amendments will significantly improve the physicochemical properties of a soil cultivated with maca in Carhuamayo. **Methodology:** 2 organic amendments were applied (compost and vermicompost at adose of 10% and 20% each) ; two inorganic amendments (calcium oxide (CaO) and Agricultural Plaster ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) in doses of 1 and 2 cmol Ca / kg each) , in a soil cultivated with maca from the town of Carhuamayo in an experiment with pots, considering a control. The treatments were arranged in a Completely Random layout. After 60 days, the physical (apparent density and porosity) and chemical properties (pH, EC, organic matter, phosphorus, potassium, CEC, exchangeable cations, base saturation and exchangeable acidity) were evaluated. **Conclusions:** 20% vermicompost decreased apparent density, increased total porosity, increased pH, kept EC low, increased organic matter, increased phosphorus, CEC and exchangeable magnesium. Compost at 20% increased exchangeable potassium. CaO increased exchangeable calcium.

**Keywords:** Soil improvement, physical properties, chemical properties, organic and inorganic amendments.

## INTRODUCCIÓN

Un suelo degradado, es aquel que ha perdido su habilidad para suministrar alimentos y mantener organismos vivos en su entorno. En este caso se deben hacer esfuerzos para mejorar el suelo. Las características que degradan el suelo incluyen: alta salinidad, disminución de la fertilidad, disminución en materia orgánica, erosión del suelo, incremento en salinidad y alcalinidad (1).

El mejoramiento de suelos es el proceso de modificar la estructura, la vida microbial, la cantidad de nutrientes y los niveles de carbono. La actividad humana a través de la agricultura convencional, ha ido agotando el suelo hasta el punto de ir disminuyendo la cantidad de nutrientes, por lo que la calidad del suelo debe mejorar la cubierta vegetal, incrementar la actividad de los microorganismos, disminuyendo la labranza y reducir el uso de insumos químicos (2).

La estrategia es minimizar la erosión del suelo, incrementar contenidos de materia orgánica y nitrógeno, incrementar la biodiversidad (micro, meso y macro) y mejorar las propiedades físicas del suelo. Al mejorar la calidad del suelo (por ejemplo, incrementar la fertilidad, estructura y reserva de carbono), se puede reducir los riesgos de degradación del suelo (físicos, químicos y biológicos) a la vez que mejorar el ambiente donde vivimos (3).

También se deben considerar, que las estrategias para mejorar la calidad del suelo, serían: (i) minimizar la pérdida de pedosfera o solum del suelo, (ii) incrementar el carbono del suelo para favorecer la biodiversidad, e (iii) incrementar la disponibilidad de agua y el ciclaje de elementos. Pero no existe una solución mágica e instantánea, pues para lograr estas propuestas juegan un papel importante los factores propios del lugar geográfico: biofísicos, sociales, económicos y culturales (3).

El uso de enmiendas orgánicas, obtenidas por reciclaje de sub productos orgánicos incluyendo residuos orgánicos, es una estrategia útil para mejorar la fertilidad del suelo (4), y mejorar las propiedades físicas del suelo (5).

Es por esto el interés de plantear y evaluar técnicas de mejoramiento de suelos con cultivo de maca, que paulatinamente van disminuyendo la calidad del suelo. Las enmiendas constituyen una alternativa para aplicar al suelo.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos: el capítulo I contiene el planteamiento y formulación del problema. El capítulo II consta del marco teórico, que incluye antecedentes y bases teóricas. El capítulo III comprende la metodología, incluyendo el método y alcance de la investigación, la población y muestra y las técnicas de recolección de datos. El capítulo IV comprende los resultados y su discusión.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

## 1.1 Planteamiento y formulación del problema

### 1.1.1 Planteamiento del problema

El cultivo de maca (*Lepidium meyenii* Walp), se ha expandido considerablemente, por su importancia alimenticia desde hace muchos años; es una especie que reúne una excelente calidad alimenticia, alta productividad y adaptación a condiciones ecológicas muy frías donde otro cultivo no podría prosperar. Su desarrollo está restringido al departamento de Junín y Pasco; en Junín, en las localidades de Huayre, Carhuamayo, Uco, Ondores, y Junín; en Pasco, en Ninacaca y Vico. También en las partes altas del valle del Mantaro. Estas zonas están ubicadas a 4 000 y 4 450 msnm, que corresponden al piso ecológico de Puna, la cual se caracteriza por tener temperaturas promedio entre 4 y 7 °C, alta radiación solar, frecuentes heladas, vientos fuertes y suelos ácidos (6).

La maca requiere bastante materia orgánica y es mejor sembrarla en campos donde no se ha cultivado durante por lo menos unos cinco años. Aparentemente la aplicación de fertilizantes químicos cambia el sabor de la raíz y la hace más esponjosa y de menor calidad. Se asegura que la maca extrae muchos nutrientes del suelo y que este requiere hasta 10 años de descanso después de su cultivo (7).

El suelo, siendo el medio natural para el crecimiento de las plantas tiene un impacto directo sobre el rendimiento y calidad de los cultivos que crecen en él. La medida de la fertilidad y las propiedades de un suelo agrícola dice mucho de la productividad potencial. (8). Tanto las características físicas como las químicas y biológicas tienden a deteriorarse debido al cultivo de cosechas y la remoción de elemento del suelo en los productos cosechados (9).

Los suelos cultivados con maca en el departamento de Junín son frágiles debido a las condiciones naturales de la región, que presenta factores climáticos limitantes, aunado a la alta extracción de nutrientes que hace el cultivo, por lo que progresivamente los suelos van perdiendo su calidad. Además, se ha observado la ampliación de la frontera agrícola para este cultivo, debido a la alta demanda en el mercado internacional y a sus precios elevados. La intensificación del cultivo de maca con maquinaria agrícola en monocultivo, la disminución de los períodos de descanso, la incorporación de bajas dosis de estiércol, entre otras prácticas están contribuyendo al deterioro del suelo, su degradación, propagación de plagas, enfermedades, reducción de rendimientos y deterioro del ambiente. Por lo expuesto, se plantea evaluar la aplicación de enmiendas, para el mejoramiento de suelos cultivados con maca.

## **1.1.1 Formulación del problema**

### **1.1.1.1 Problema general**

¿Cuál es el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en el mejoramiento de suelos cultivados con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) Carhuamayo, 2021?

### **1.1.1.2 Problemas específicos**

A. ¿Cuál es el efecto de la aplicación de dos enmiendas orgánicas (compost y vermicompost) e inorgánicas (óxido de calcio y yeso agrícola), en las propiedades físicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo?

B. ¿Cuál es el efecto de la aplicación de dos enmiendas orgánicas (compost y vermicompost) e inorgánicas (óxido de calcio y yeso agrícola), en las propiedades químicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

Evaluar el mejoramiento de suelos cultivados de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) con la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en Carhuamayo, 2021

### **1.2.2 Específicos**

- Evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades físicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.
- Evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades químicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.

## **1.3 Justificación e importancia**

### **1.3.1 Justificación**

Los suelos dedicados al cultivo de maca en la localidad de Carhuamayo requieren ser mejorados, debido a su agotamiento en calidad que está afectando los rendimientos del cultivo, y al productor dedicado a esta siembra; por lo que la información resultado de la presente investigación, en base a la aplicación de enmiendas o mejoradores de suelo, permitirá tener datos básicos sobre las alternativas que pueden desarrollarse en los campos dedicados a este cultivo, que es una especie de gran valor alimenticio y socioeconómico para la zona de estudio.

### **1.3.2 Importancia**

Entre los caracteres de los suelos, dedicados a este cultivo, está su extremada acidez, que limita la disponibilidad de nutrientes, entonces se afecta los rendimientos del cultivo, lo cual significa menor biomasa vegetal y disminuye progresivamente la materia orgánica en el suelo, componente que es muy dinámico y que se oxida rápidamente; por lo que la adición de enmiendas orgánicas e inorgánicas, tiene como principal rol la mejora de propiedades del suelo, y la mejora de la acidez del suelo. Esto

permitirá, además de tener información base del efecto de las enmiendas en el suelo, la realización de otros ensayos en campo para validar los resultados a obtenerse.

## **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1 Hipótesis**

#### **1.4.1.1 General**

**Ho:** La aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas no mejorará las propiedades físicoquímicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.

**Ha:** La aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas mejorará significativamente las propiedades físicoquímicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.

#### **1.4.1.2 Específicas**

- La aplicación de enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, e inorgánicas: cal y yeso, mejorará significativamente las propiedades físicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.
- La aplicación de enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, e inorgánicas: cal y yeso, mejorará significativamente las propiedades químicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.

### **1.4.2 Descripción de variables**

#### **1.4.2.1 Variable independiente**

Enmiendas del suelo

Indicadores:

- Orgánicas:

Compost : 10 % y 20 %

Lombricompost: 10 % y 20 %

- Inorgánicas:

Óxido de calcio: Acidez cambiante por 1 cmol y 2 cmol

Yeso agrícola: Acidez cambiante por 1 cmol y 2 cmol

#### **1.4.2.2 Variable dependiente**

Propiedades físico-químicas del suelo

Indicadores:

- Propiedades físicas del suelo:

Indicadores: Densidad aparente y porosidad total

- Propiedades químicas del suelo:

Indicadores: pH, conductibilidad eléctrica, Contenido de materia orgánica, nutrientes (P disponible, K disponible ), CIC, cationes cambiables (calcio cambiante, magnesio cambiante, potasio cambiante, sodio cambiante y saturación de acidez cambiante) y

saturación de bases.

**Tabla 1. Operacionalización de las variables en estudio**

| Variables        |                                         | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Dimensiones           | Indicadores                      | Unidad de medida | Tipo de variable |
|------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|
| Independiente    | Enmiendas                               | Orgánicas:<br>Sustancias orgánicas que se aplican a los suelos con el principal objetivo de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (10).                                                                                                                                                                                 | Enmiendas orgánicas   | compost<br>vermicompost          | %                | Cuantitativa     |
|                  |                                         | Inorgánicas:<br>Sustancias inorgánicas que se aplican al suelo para corregir acidez o salinidad. Las más usadas son el yeso, la cal y el azufre (10).                                                                                                                                                                                    | Enmiendas inorgánicas | Óxido de calcio<br>Yeso agrícola | %                |                  |
| Dependiente      | Propiedades físico – químicas del suelo | Físicas:<br>Propiedades que enfocan los sólidos del suelo y los espacios porosos entre las partículas del suelo (11).                                                                                                                                                                                                                    | Propiedades Físicas   | Densidad aparente                | Mg.m-3           | Cuantitativa     |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | Porosidad total                  | %                |                  |
|                  |                                         | Químicas:<br>Propiedades basadas en su composición química y el grado de explotación agrícola, que sirven de diagnóstico de origen y parámetros ambientales y son indicadores muy sensitivas de su uso. Las más importantes son el grado de acidez, la capacidad de intercambio iónico, importantes en la nutrición de las plantas (12). | Propiedades químicas  | pH                               |                  |                  |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | Conductividad eléctrica          | dS.m-1           |                  |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | Materia Orgánica                 | %                |                  |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | Saturación de bases              | %                |                  |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | P disponible (ppm)               | cmol.kg-1        |                  |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | K disponible (ppm)               | cmol.kg-1        |                  |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | CIC                              | cmol.kg-1        |                  |
|                  |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       | Cationes cambiabiles             | cmol.kg-1        |                  |
| Acidez cambiabie | cmol.kg-1                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       |                                  |                  |                  |

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del problema

#### 2.1.1 Tesis

En el trabajo de tesis titulado: «Variación de N-P-K y cationes cambiabiles en tres suelos de Puno, por efecto del cultivo de maca (*Lepidium meyenii* Walp.)», se tuvo como objetivos determinar la variación de los nutrientes del suelo N, P, K y cationes cambiabiles por el cultivo de maca, para lo cual se utilizaron tres suelos (Illpa, Quimsachata y Crucero) en tres fases fenológicas (4 hojas, roseta y formación de hipocotilos). El diseño experimental fue de Bloques completos al azar, con arreglo factorial 3 x 3. Los resultados indicaron que los macronutrientes NPK en los tres suelos en estudio se movilizaron: 864; 1760 y 2000 Kg N/ha durante el desarrollo del cultivo en los suelos de Illpa, Quimsachata y crucero, respectivamente; en fósforo se movilizaron 24,47; 29,06 y 1,18 Kg/ha, en potasio, 4412, 2110 y 1878 Kg/ha, respectivamente. En cationes cambiabiles hubo variación, el calcio se movilizó entre 285a 639 Kg/ha; en cuanto a cationes como  $Mg^{+2}$ ,  $K^{+}$  y  $Na^{+}$  su movilización o incremento es variable y muy compleja, dependiendo de la disponibilidad en forma libre (13).

En el trabajo de tesis titulado «Aplicación de enmiendas para la recuperación de suelos de gradados y efecto en el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*) en la microcuenca del Monzón», se evaluarón los efectos de los niveles de la gallinaza y las enmiendas químicas (dolomita, roca fosfórica y yeso agrícola) en la recuperación de algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo estudiado y en los parámetros biométricos del cultivo de *Vigna unculata* L. Se utilizó el diseño completamente al azar con arreglo factorial, con un tratamiento adicional (2A x 6B + 1C) con 4 repeticiones. Entre los resultados se tiene que con la aplicación de enmiendas químicas al suelo (rocafosfórica, dolomita y yeso agrícola), se observa una mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, frente al tratamiento testigo, en cuanto a los parámetros biométricos, se obtuvo mejores resultados con la aplicación de 10 t gallinaza/ha y enmiendas químicas. El tratamiento de 10 t gallinaza/ha + 2 t dolomita/ha obtuvo mejor rentabilidad (B/C) para la producción de frijol caupí; es decir, por cada nuevo sol invertido, se obtendrá un retorno del capital invertido y una ganancia de 0.94 nuevos soles (14).

En el trabajo de tesis titulado «Comportamiento agronómico del cultivo de la maca (*Lepidium meyenii* Walp), con la aplicación de fertilizantes orgánicos foliares a diferentes densidades de siembra, en la provincia de Ingavi, La Paz», se tuvo como objetivos específicos: (i) observar el comportamiento agronómico y las fases fenológicas del cultivo de la maca a las condiciones ecológicas de la región, (ii) determinar el crecimiento y rendimiento del cultivo de la maca, con la aplicación de

diferentes fertilizantes orgánicos foliares a diferentes densidades; (iii) realizar el análisis económico del cultivo de maca. Se trabajó con tres densidades de siembra, 2.5 kg/ha, 3.0 kg/ha y 3.5 kg/ha y tres fertilizantes orgánicos foliares, testigo, té de estiércol de vacuno y té de estiércol de llama, dispuestos en un diseño de Bloques completamente al azar con dos factores. Se logró la emergencia de plántulas a los 22 días y la madurez fisiológica a los 222 días. La aplicación de los fertilizantes orgánicos foliares no influyó en el desarrollo, crecimiento y rendimiento de maca; la densidad de 3.5 kg/ha tuvo mejores rendimientos y la densidad de 3.0 kg/ha tuvo mayor diámetro y mayor tamaño y peso. En todos los tratamientos la relación Beneficio/Costo fue superior a 1, por lo cual el cultivo de maca es beneficioso y rentable (15).

En el trabajo de tesis titulado «Estado degradación/recuperación de suelos agrícolas en el departamento Tercero Arriba (Córdoba)», se tuvo como objetivo general caracterizar el estado de degradación/recuperación de suelos representativos de la zona pedanía Salto del departamento Tercero Arriba, Córdoba, en los sistemas agrícolas más comunes de la región, mediante la determinación del grado de resiliencia de los procesos de humificación y nitrificación, con la finalidad de contribuir a la formulación de recomendaciones de manejo para los productores de la zona. La zona de estudio estuvo caracterizada por ser núcleo histórico de la producción de maní (*Arachis hypogaea* L.) en la Argentina. Se evaluaron las situaciones agrícolas: tres bajo siembra directa (5 años) con diferente secuencia de cultivos, dos bajo labranza convencional, un sitio en restauración y un sitio con vegetación nativa (control). En cada situación se tomaron muestras de suelos superficiales al final del periodo de barbecho. Los resultados mostraron un impacto negativo de las prácticas agrícolas sobre el contenido de materia orgánica en relación al sitio control. Las prácticas agrícolas afectaron negativamente la actividad nitrificadora pero no la cantidad de organismos nitrificadores. El análisis de resiliencia del proceso de nitrificación y humificación indicó escaso efecto de la siembra directa. Asimismo, la práctica de clausura permite visualizar la pobre capacidad intrínseca de los suelos de recuperar su fertilidad. Con estos criterios, el manejo agrícola en la región semiárida de la provincia de Córdoba tiene baja probabilidad de mejorar la resiliencia de la humificación y nitrificación frente al uso intensivo de los suelos (16).

En el trabajo de tesis titulado «Restauración de suelos degradados mediante la aplicación de biosólido producido en la planta de tratamiento de aguas residuales el salitre en Bogotá D. C.» se tuvo como objetivo general evaluar la inocuidad y beneficios de la aplicación del biosólido de la PTAR «El Salitre» como enmienda de suelos degradados. Se conformaron tres tratamientos de mezclas de suelo – árido: biosólido en diferentes proporciones (1:1; 2:1 y 3:1), en un cuadro de 1 m<sup>2</sup> x 0,15 m y se sembraron estolones de kikuyo de 10 cm en cada cajón. Los análisis de suelo con adición de biosólido mostraron un notable enriquecimiento de su calidad agronómica pasando para

la mayoría de parámetros medios desde una calidad muy pobre en los suelos con biosólidos, a una muy alta en los mismos suelos enmendados con biosólidos. Asimismo, las concentraciones de sustancias potencialmente tóxicas en los suelos con adición de biosólidos así como la encontrada en el kikuyo, demostrarán que la adición de este material no incrementa las sustancias tóxicas a niveles que pongan en riesgo la salud humana y el ambiente en general (17).

### **2.1.2 Artículos de investigación**

El trabajo de investigación titulado «Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz para mejorar el suelo», tuvo como objetivo determinar de que manera la utilización de un plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM, y el humus de lombriz mejoran el suelo en el predio Santa Teresita, distrito y provincia de Lambayeque. La muestra empleada estuvo conformada por el suelo de la capa superficial del área de estudio donde se sembró arroz (INIA-510-Mallares). Se observó que el tratamiento 1, con la aplicación de plan de enmiendas, yeso agrícola y materia orgánica (humus de lombriz y compost mejorado), permitió obtener un rendimiento de 4 795,20 kg de arroz, superando al tratamiento 2 que tuvo un rendimiento de 3 124 kg de arroz. Respecto al análisis económico, se observó que en el tratamiento 2, con aplicación de fertilizantes químicos y sin materia orgánica, la parcela testigo, a pesar de haber obtenido menos rendimiento, presentó mayor rentabilidad; mientras que en el tratamiento 1 el costo fue mayor por la aplicación de yeso agrícola y materia orgánica. Se concluye que el plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y el humus de lombriz, mejoró el suelo y permitió obtener un mayor rendimiento por ha (9 590, 40 kg de arroz), pero una baja rentabilidad (18).

En el trabajo de investigación titulado «Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos», se analizó algunos antecedentes acerca de los efectos de la aplicación de lodos sobre las propiedades físicas de suelos agrícolas y las necesidades de investigaciones futuras. Los lodos son aplicados en altas cantidades al suelo para obtener respuestas sobre el rendimiento de los cultivos y como enmiendas para mejorar las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, los lodos pueden modificar estas propiedades. Varios trabajos han evaluado los parámetros físicos del suelo tales como la densidad aparente y porosidad, demostrándose que aunque generan respuestas positivas, estas no son estables en el tiempo y por el contrario, muchos de sus efectos son negativos. Sin embargo, las evaluaciones de los efectos negativos han sido escasamente evaluadas al aplicar grandes cantidades de lodos al suelo. Pero, su uso en pequeñas cantidades puede ser implementado en viveros de plantas y si se evitara el uso de materiales orgánicos en ambientes frágiles, tales como suelos delgados o muy

arenosos. Otros parámetros físicos del suelo y su influencia por la aplicación de lodos, tales como la resistencia al corte, coeficiente de precompresión, prácticamente no han sido estudiados. Esto lleva a plantear nuevos trabajos en esta área junto al examen del efecto de los lodos sobre las propiedades químicas de los suelos (19).

En el trabajo de investigación titulado «Producción de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en condiciones de invernadero usando guano fermentado y PGPRs bajo dos sistemas de cultivo en San Pedro de Cajas – Junín, Perú», se planteó como objetivo evaluar la producción de hipocotilos en un sistema de cultivo en columnas (vertical) versus un sistema horizontal en respuesta a la aplicación de guano fermentado e inoculación de Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) en condiciones semicontroladas de invernadero. Se realizó el trasplante y riego por goteo en ambos sistemas de cultivo. Se demostró estadísticamente que el sistema horizontal supera significativamente al sistema vertical y además, el tratamiento “suelo virgen más guano fermentado” da mejores resultados que los otros tratamientos. La aplicación de los PGPRs a los tratamientos no tuvo ningún efecto positivo en el cultivo. Los datos micrometeorológicos registrados al interior del invernadero nos muestran que las condiciones de intensidad luminosa, temperaturas diurnas y nocturnas y concentración de CO<sub>2</sub> fueron favorables para la maca (planta C3). Se concluyó que el rendimiento de los hipocotilos frescos de maca con el nuevo sistema es 3.5 a 4 veces mayor que el método tradicional, asimismo el ciclo vegetativo se acorta y podemos cultivar dos campañas al año (20).

En el artículo de investigación titulado “Soil restoration with organic amendments: linking cellular functionality and ecosystem processes”, utilizaron un esquema metodológico multidisciplinario para explorar la respuesta a largo plazo de la comunidad microbiana a enmiendas orgánicas (lodos y compost de lodos) en un ensayo de campo. Usando ácidos grasos – fosfolípidos, actividades enzimáticas, y meta – proteómicos, se intentó revelar la relación entre estructura de la comunidad y biomasa, funcionalidad, y estilos de vida de los grupos microbianos dominantes. Las enmiendas orgánicas usualmente incrementan la biomasa microbiana y la actividad enzimática extracelular de suelos degradados, así como alteran la estructura de la comunidad microbiana. Contrariamente, la respuesta intracelular de las comunidades microbianas a la restauración del suelo están menos comprendidas (21).

En el trabajo de investigación titulado: “Role of amendments on N cycling in abandoned semiarid”, se condujo un experimento de campo de tres años para probar el potencial de dos enmiendas orgánicas (lodos y compost) para mejorar la calidad del suelo y crecimiento de la planta en un ecosistema semiárido mediterráneo degradado. Desde que se conoce poco acerca de la dinámica del N en ecosistemas asistidos, se investigó los efectos de esta práctica en los procesos clave del ciclo global del N.

Además de los parámetros biológicos y químicos y cubierta vegetal, se midió las tasas de desnitrificación y nitrificación potencial específica, y se cuantificó el tamaño de la oxidación del amonio y poblaciones bacteriales desnitrificantes via PCR (reacción en cadena de la Polimerasa para genes amoA y nirS) cuantitativo. Al final del experimento, se mejoró la fertilidad del suelo, la actividad microbiana y el crecimiento de la planta en las parcelas tratadas. Las enmiendas incrementaron la cantidad de oxidantes de amonio y desnitrificadores en el suelo, pero la proporción relativa de estos grupos varió en relación a la comunidad microbiana total, siendo mayor en el caso de oxidantes de amonio, pero no en el caso de desnitrificadores. Como consecuencia, las enmiendas orgánicas influenciaron la disponibilidad de recursos, el tamaño y los patrones de actividad de poblaciones microbianas involucradas a largo plazo. Por lo tanto, el ciclo de N juega un rol clave para asistir las prácticas de restauración sostenible en áreas semiáridas degradadas (22).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Degradación del suelo**

El uso extensivo del suelo, como consecuencia histórica del uso humano del suelo y la mala gestión, es la causa fundamental de la degradación del suelo en nuestro país. El factor humano propició el desarrollo de técnicas de labranza que promovieron la erosión, acidificación, salinización y compactación del suelo y entre otros procesos de degradación (23).

A este problema se atribuye al rápido deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, la baja productividad y la degradación ambiental (24).

Cuando el suelo se pone en producción, podemos mantener su estado natural de contacto con otros componentes del medio ambiente o podemos transformarlo. Dependerá de la calidad de intensidad de uso y manejo que hagamos para cosechar beneficios efectivos. Si modificamos las interrelaciones de un medio, generamos otras, lo que puede conllevar a que el suelo no pueda soportarlo y conducir a su degradación (25).

Los suelos degradados pueden restaurarse por sí mismos una vez que son eliminados los factores causantes, es importante tener en cuenta que hay límites críticos de algunas propiedades claves del suelo para revertir los procesos de degradación y restaurar el suelo a su estado original de calidad deseable (26).

Las propiedades clave del suelo, cuyos valores críticos gobiernan su restauración son: estructura, contenido de carbono orgánico, arcilla y minerales de arcilla, porosidad total y de aireación, capacidad de almacenamiento de agua disponible, capacidad de intercambio catiónico, profundidad efectiva para el desarrollo de raíces y reserva de nutrientes. Estos límites deben ser determinados y evaluados en relación a las propiedades del suelo, uso de la tierra y cultivos desarrollados (26).

El mejoramiento del suelo involucra un adecuado uso de la tierra y la selección de un apropiado sistema de manejo del suelo y del cultivo para revertir la tendencia a la degradación. Las técnicas de sitio específico para restaurar la calidad del suelo incluyen agricultura de conservación, manejo integrado de nutrientes, cubierta vegetativa continúa tales como residuos de cultivo y cubierta de cultivo, enmiendas, y pastoreo controlado (26).

Enmiendas químicas y fertilizantes son usadas comúnmente para mejorar el éxito de la restauración (27). Por ejemplo, la aplicación de P, N, y cal, junto con una mezcla apropiada de semilla de pastos será necesaria para restablecer efectivamente pastos en una recuperación de mina de carbón a cielo abierto (28).

Es común la manipulación química y nutrición del suelo como parte de la restauración del ecosistema, pero es rara la consideración de las consecuencias de estas prácticas sobre las propiedades físicas y biológicas del suelo (29). Por ejemplo, el objetivo de agregar tratamientos a la capa arable del suelo es para mejorar el contenido de nutrientes del suelo y facilitar la recuperación de la biomasa de plantas y su biodiversidad (30).

Las enmiendas también introducen al suelo semillas de plantas, simbiontes micorrizales, y microbios del suelo y altera el ambiente suelo y las relaciones hídricas al cambiar su estructura, densidad y porosidad. Así como estos mecanismos «secundarios» pueden tener influencia significativa sobre el crecimiento de la planta, también afectan los resultados de las actividades de restauración. Se sugiere la identificación de estos mecanismos e interacciones ecológicas que contribuirán sustancialmente a la comprensión de los controles sobre los resultados del mejoramiento (31).

La información necesaria del suelo para monitorear y evaluar la restauración depende de las escalas espaciales y de tiempo. En corto plazo, debería ser importante enfocar las propiedades dinámicas tales como materia orgánica, pH, fósforo disponible, nitrógeno y otros nutrientes, y macroporosidad. Sin embargo, debido a la gran variabilidad temporal y espacial de los ecosistemas, particularmente en tierras de secano, es crítico enfocar indicadores sobre «variables lentas» (32).

### **2.2.2 Mejoramiento de suelos**

El mejoramiento del suelo es aumentar a lo largo del tiempo su capa orgánica y con esta aplicación frecuente se mejoran características importantes para el manejo productivo: compactación, permeabilidad, aireación, pH, absorción de nutrientes y humedad, entre otros. Sin embargo su uso no es muy generalizado en virtud del tiempo de respuesta que genera sobre el suelo; normalmente más lenta, que las generadas por compuestos químicos (23).

### **2.2.3 Enmiendas orgánicas**

Para mejorar la calidad de los suelos y, disminuir la degradación y contaminación; se viene utilizando la aplicación de enmiendas como el yeso agrícola, compost enriquecido con microorganismos eficaces (EM) y el humus de lombriz, creando grandes expectativas en este campo debido a que por su alto contenido de materia orgánica, microorganismos, bacterias y microelementos estos actúan sobre los cambios en la estabilidad estructural y aumentan la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos enmendados (33).

Además, con la característica física del yeso agrícola, así como el humus de lombriz y compost enriquecido con EM; se puede constatar que tienen un potencial fertilizante y son productos adecuados para ser utilizados en la producción de los diferentes cultivos agrícolas, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (34).

Cuando se trata de la aplicación de sustancias orgánicas a los suelos, hay que tener en cuenta tres términos distintos según el objetivo que se tiene: fertilizantes orgánicos, enmiendas orgánicas y acondicionadores orgánicos. Los fertilizantes orgánicos son productos derivados de sustancias orgánicas vegetales o animales que contienen materia orgánica y nutrientes. Las enmiendas orgánicas son sustancias orgánicas que se aplican a los suelos con el principal objetivo de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Los acondicionadores orgánicos son sustancias orgánicas que mejoran las propiedades físicas de los suelos. Los objetivos de estos tres productos se superponen en muchos casos (35).

La aplicación directa de sustancias orgánicas frescas al suelo puede causar problemas, su fermentación, puede producir metabolitos fitotóxicos, aumentar la temperatura del suelo, disminuir la concentración de N mineral disponible y producir malos olores. Por estas razones, es aconsejable tratar los residuos orgánicos antes de añadirlos al suelo, mediante algún proceso de estabilización; el compostaje es uno de los más eficaces y utilizados. El compostaje es un proceso bio – oxidativo controlado por microorganismos, en el que se estabiliza la materia orgánica transformándose en una sustancia similar al humus del suelo, libre de compuestos fitotóxicos, así como de organismos fitopatógenos (36).

Por otra parte, la aplicación de residuos orgánicos (tratados o no) puede producir cambios indeseables en el pH del suelo, aumentar su salinidad e introducir elementos y compuestos orgánicos tóxicos en el suelo. Cuando la concentración de estas sustancias (contaminantes) excede la capacidad de detoxificación del suelo, aparece el fenómeno de contaminación (37).

#### **2.2.3.1 El vermicompost**

El vermicompost es el producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas. Este material

debe tener un contenido mínimo del 30 % de materia orgánica total, una humedad máxima de 40 %, una relación C/N < 20, y el 90% de sus partículas deberá pasar por la malla de 25 mm (38).

El vermicompost es un producto orgánico finalmente dividido, estabilizado y humificado, con excelente estructura (granular), porosidad, aireación, drenaje, y capacidad de retención de agua, con un contenido variable en nutrientes minerales y sustancias reguladoras del crecimiento vegetal (es decir, con actividad similar a las hormonas vegetales), que puede ser almacenado sin posteriores tratamientos ni alteraciones (39). La composición del vermicompost varía notablemente dependiendo del tipo de residuo orgánico utilizado como los insumos que se utilicen. Sin embargo, cuando el contenido en nutrientes de un vermicompost es comparado con el de un sustrato de cultivo comercial, el primero contiene generalmente cantidades superiores de los elementos esenciales requeridos para el desarrollo de las plantas (40).

El vermicompost es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso aeróbico que estabiliza la materia orgánica. El producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos (41).

Durante el vermicompostaje, los minerales insolubles son solubilizados, quedando disponibles para las plantas cuando el vermicompost es aplicado al suelo. Igualmente, otros compuestos orgánicos complejos, como la celulosa, son parcialmente degradados a compuestos más simples por las bacterias presentes en el tracto digestivo de la lombriz, aumentando la disponibilidad de N (42).

### **2.2.3.2 El compost**

El estudio del compost como acondicionador o enmienda del suelo ha comprobado que enmendar suelo con compost aumenta los rendimientos en las hortalizas. Los incrementos más altos se han obtenido al combinar compost y fertilizantes inorgánicos en comparación a la aplicación de ambos materiales por separado (43).

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. El compost es el resultado de la descomposición de una mezcla de materia orgánica en condiciones aeróbicas y que generalmente se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporciona nutrientes (42).

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas. Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y aprovechable por las plantas (42).

Es posible interpretar el compostaje como la sumatoria de procesos metabólicos complejos realizados por diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno,

aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost (42).

## **2.2.4 Enmiendas inorgánicas**

### **2.2.4.1 El óxido de calcio**

El óxido de calcio (CaO), también conocido como cal viva o cal quemada, es un polvo blanco muy difícil y desagradable de manejar. Se fabrica calcinando al horno piedra caliza lo que produce  $\text{CaO} + \text{CO}_2$ . Cuando se aplica en un suelo ácido reacciona de inmediato y por esta razón este material es adecuado cuando se busca resultados rápidos (iguales resultado se obtiene con el hidróxido de calcio). La velocidad de la reacción se debe a que, por ser un óxido, reacciona rápidamente al ponerse en contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica que libera iones OH, este material debe mezclarse inmediatamente con el suelo debido a que se endurece rápidamente al ponerse en contacto con la humedad del suelo, haciéndose inefectivo. El óxido de calcio puro contiene 71 % de calcio (44).

### **2.2.4.2 El yeso**

El yeso agrícola o sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) es un producto natural que se encuentra en numerosos yacimientos en todo el mundo, la mayoría de ellos formados por rocas evaporitas sedimentarias. El yeso también se obtiene como subproducto de los procesos industriales de producción de ácido fosfórico, en la fabricación de fertilizantes fosfatados como el superfosfato triple y los fosfatos amónicos. En este proceso la roca fosfórica es atacada con ácido sulfúrico obteniéndose ácido fosfórico y yeso (44).

El yeso se utiliza como enmienda y mejorador de suelo, en la agricultura. A pesar de su poca solubilidad en agua, puede reaccionar a mediano plazo en el suelo y constituir una fuente de calcio y azufre para los cultivos. Su composición varía de 17 a 20 % de Ca y de 14 a 18 % de azufre (44).

Es interesante el uso del yeso agrícola como enmienda en suelos ácidos. En realidad, el yeso no cambia la acidez del suelo directamente a tal punto de que las aplicaciones de yeso al suelo prácticamente no cambian el pH. Los beneficios de la aplicación de yeso en suelos ácidos se derivan de su efecto como mejorador del ambiente radicular, especialmente en la presencia de subsuelos fuertemente ácidos (45).

## **2.3 Definición de términos básicos**

**Topsoil:** La parte superior de un suelo natural que posee generalmente colores oscuros y tiene un alto contenido de materia orgánica y nutrientes cuando es comparado a los horizontes inferiores (minerales). Excluye la capa de litter (acumulación orgánica sobre el suelo) (46).

**Manejo sostenible del suelo:** Un grupo de actividades que mantiene o favorece el soporte, aprovisionamiento, regulación y servicios culturales proporcionados por los suelos sin alterar significativamente sus funciones y que lo capacita para aquellos servicios o biodiversidad (46).

**Agricultura intensiva sostenible:** Es un proceso o sistema donde los rendimientos agrícolas son crecientes sin impactos ambientales adversos y sin la conversión de tierras no agrícolas adicionales (46).

**Estabilidad del suelo:** La integridad de los agregados del suelo, grado de desarrollo estructural del suelo y resistencia a la erosión (46).

**Sostenibilidad:** una característica o estado donde las necesidades de la población actual y local puede satisfacerse sin comprometer la habilidad de generaciones futuras o poblaciones en otras localidades para cubrir sus necesidades (46).

**Acidificación del suelo:** La acidificación del suelo es causada por varios factores incluyendo la precipitación pluvial y la deposición desde la atmósfera de gases ácidos o partículas, tales como dióxido de azufre, amonio y ácido nítrico (46).

**Suelo:** La parte superior de la corteza terrestre transformada por la meteorización y procesos físicos, químicos y biológicos. Está compuesta de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos organizados en horizontes genéticos (46)

**Salud del suelo:** La capacidad continúa del suelo para funcionar como un sistema vivo vital dentro del ecosistema y límites de uso de la tierra, para sostener la productividad biológica, promover la calidad del agua, aire, y mantener la salud de las plantas, animales y humanos (46).

**Fertilidad del suelo:** La calidad del suelo que lo capacita para proporcionar compuestos en cantidad adecuada y balance apropiado para promover el crecimiento de plantas cuando los otros factores (luz, humedad, temperatura y estructura del suelo) son favorables (46).

**Degradación del suelo:** Es la capacidad disminuida del suelo para proporcionar bienes y servicios ecosistémicos (46).

**Calidad del suelo:** Todas las propiedades positivas o negativas comunes con relación a la utilización del suelo y sus funciones (46).

**Procesos del suelo:** Son procesos físicos o geoquímicos reactivos y biológicos que pueden atenuar, concentrar, inmovilizar, liberar, degradar o transformar otras sustancias en el suelo (46).

**Materia orgánica del suelo:** Materia consistente de materiales orgánicos de plantas y animales, y los productos de conversión de estos materiales en el suelo (46).

**Restauración:** Una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema desde un estado degradado. La restauración activa incluye un grupo de

intervenciones humanas con el objetivo de influenciar y acelerar los procesos naturales para recuperar la provisión de servicios ecosistémicos biodiversos (46).

**Monocultivo:** La práctica agrícola de producir o desarrollar un simple cultivo, planta, o especie pecuaria, ecotipo, o planta mejorada en un campo o sistema agrícola en el tiempo (46).

**Especie nativa:** Especie indígena de animales o plantas que se presentan naturalmente en una región o ecosistema dado (46).

**Mineralización:** En ciencia del suelo, la mineralización es la descomposición u oxidación de los compuestos químicos presentes en la materia orgánica liberando los nutrientes contenidos en estos compuestos en formas insolubles inorgánicas que pueden ser accesibles a las plantas (46)

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

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

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

##### **3.1.1.1 Método general**

El método de investigación es hipotético – deductivo; por lo cual, la aseveración de la hipótesis planteada es que las enmiendas orgánicas e inorgánicas mejoran un suelo cultivado con maca.

Este método explica que la teoría precede a los hechos, considerando que los constructos teóricos existentes determinan lo que debemos observar, asimismo propone la creación de hipótesis para dar respuesta a un fenómeno, seguido por la deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, finalizando con la corroboración de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia (47).

##### **3.1.1.2 Método específico**

El método de investigación específico es de análisis, donde las muestras de suelo, antes de la aplicación de enmiendas, y después de culminado el período de evaluación serán analizadas en sus propiedades fisicoquímicas, utilizando metodologías estándar.

#### **3.1.2 Alcance de la investigación**

##### **3.1.2.1 Tipo de investigación**

La investigación es aplicada, pues es de naturaleza práctica para aplicar las bases teóricas de las propiedades del suelo en el mejoramiento de suelos cultivados con maca. La investigación aplicada es realizada con la intención de aplicar los conocimientos científicos a la solución o tratamiento de problemas específicos (48).

##### **3.1.2.2 Nivel de investigación**

###### **3.1.2.2.1 Según profundidad u objetivo**

###### **3.1.2.2.1.1 Investigación experimental**

La presente investigación es de tipo experimental, ya que analiza las relaciones de causalidad utilizando la metodología experimental con la finalidad de tener el control de los fenómenos (48); para lo cual se instaló un experimento, con el suelo cultivado con maca y se realizó un total de 27 tratamientos constituidos por enmiendas orgánicas e inorgánicas para de este modo determinar el mejoramiento del suelo en sus propiedades fisicoquímicas.

Según el tratamiento de datos, la investigación es cuantitativa, pues se centra fundamentalmente en los aspectos observables y susceptibles de cuantificación de los fenómenos. Es coherente con la metodología empírica y se sirve de pruebas

estadísticas (48).

### **3.2 Diseño de la investigación**

#### **3.2.1 Diseño experimental**

Los tratamientos fueron dispuestos en un *Diseño completamente al azar* (DCA) con 9 tratamientos, donde se incluye un tratamiento control, cada uno con 3 repeticiones. En total se tuvieron 27 unidades experimentales.

Modelo aditivo lineal del diseño experimental Completamente al Azar (49):

$$\gamma_{ik} = \mu + r_i + \varepsilon_i$$

Donde:

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

$\mu$  = Media poblacional

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\varepsilon$  = Error experimental

$i$  = cualquier tratamiento

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población estuvo constituida por la parcela de suelo de Carhuamayo donde se ha cultivado maca.

#### **3.3.2 Muestra**

Las muestras de suelo individual fueron obtenidas de manera aleatoria, en un número de cincuenta muestras, de la capa superficial (capa arable) de la parcela agrícola donde se sembró maca; posteriormente mezcladas para obtener 27 muestras con las cuales se desarrollaron los tratamientos.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas de análisis de datos**

Al finalizar el experimento se sistematizaron los resultados obtenidos y se analizaron los datos a través del análisis descriptivo estadístico. Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro –Wilk para determinar si los datos de la muestra provienen de una población de distribución normal. Si se verificó la normalidad de los datos se procedió a desarrollar el análisis de la variancia y la prueba de comparaciones múltiples de Duncan; si los datos no tenían distribución normal se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis.

### **3.5 Descripción del área de estudio**

#### **3.5.1 Ubicación de la parcela del suelo cultivado con maca**

Se localizó una parcela agrícola en el distrito de Carhuamayo, provincia de

Junín, donde se sembró maca, debidamente georreferenciada. Se muestreó al azar, tomando 50 muestras simples de la primera capa u horizonte (A), para obtener aproximadamente 50 kg de suelo en total, lo cual fue debidamente mezclado y homogenizado para obtener 1 kg de muestra compuesta para el posterior análisis en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

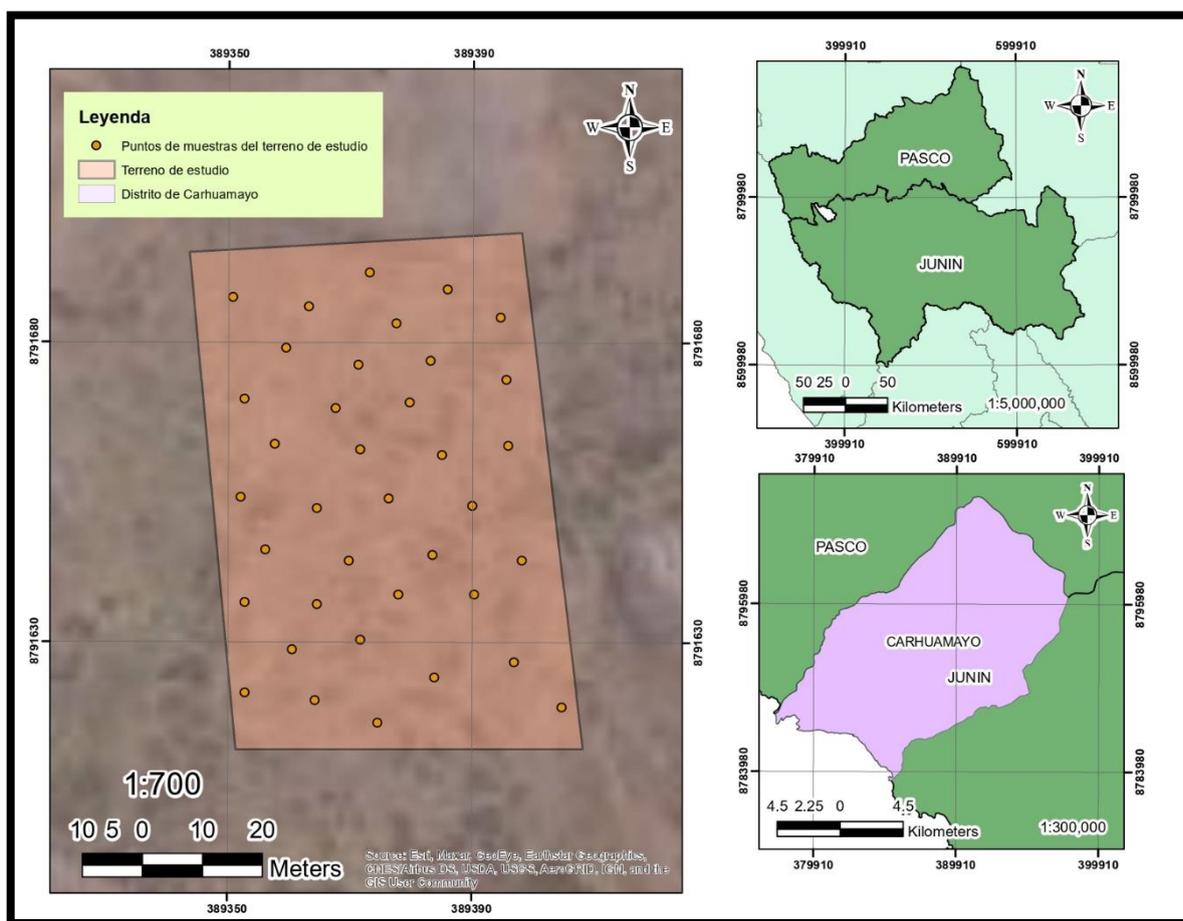


Figura 1. Mapa de Ubicación

### 3.5.1.1 Procedimiento

- Evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades físicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.
  - Se envió las enmiendas orgánicas (compost y vermicompost) al Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
  - Se extrajo las muestras de suelo en el campo.
  - Se muestreó al azar, tomando 50 muestras simples de la primera capa u horizonte (A).
  - Se obtuvo aproximadamente 50 kg de suelo en total, lo cual fue debidamente mezclado y homogenizado.
  - Se obtuvo un 1 kg de muestra compuesta para el posterior análisis en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
  - Se tamizó la muestra de suelo obtenida en campo, se utilizó un tamiz de 2 mm de diámetro, con una malla (ASTM = N° 10).
  - Posteriormente se pesó 1 kg de suelo y se colocó en cada una de las macetas.
  - Se agregaron los tratamientos a los suelos cultivados con maca.

**Tabla 2. Tratamientos del estudio**

| Tratamiento | Descripción                                                      |
|-------------|------------------------------------------------------------------|
| T1          | Compost (10%)                                                    |
| T2          | Compost (20%)                                                    |
| T3          | Vermicompost (10%)                                               |
| T4          | Vermicompost (20%)                                               |
| T5          | Óxido de calcio (1_cmol_Ca)                                      |
| T6          | Óxido de calcio (2_cmol_Ca)                                      |
| T7          | Yeso agrícola (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O) (1_cmol_Ca) |
| T8          | Yeso agrícola (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O) (2_cmol_Ca) |
| T9          | Testigo (sin enmiendas)                                          |

**Fuente: Elaboración propia**

Los tratamientos fueron dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, en dos dosis, 10 % y 20 %, consideradas dosis altas, para evaluar el efecto en la mejora del suelo. Asimismo, se utilizó dos enmiendas inorgánicas: óxido de calcio

(CaO) y yeso( $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en dosis de 1 cmol y 2 cmol de calcio, considerando que esta cantidad de calcio neutralizará la acidez cambiante presente en el suelo. Los datos se presentan en la Tabla 2.

- Se agregó 1000 mL de agua al suelo para lograr el 26 % de humedad a la capacidad de campo.
- Se determinó la capacidad de campo de cada uno de los suelos, obteniéndose un valor de 26 %.
- Se dejó infiltrar el agua y se procedió a dejar hasta el día siguiente.
- Después, cada semana, se procedió a voltear el suelo para darle las condiciones de aireación al suelo y favorecer la actividad microbiana, con el fin de mejorar el suelo cultivado con maca.
- Durante el periodo experimental, también se hizo rotación de las macetas, monitoreando la presencia de humedad en el suelo.
- Después de 60 días, se homogenizó la muestra de cada unidad experimental y se obtuvo un kg de muestra de suelo para ser enviadas al laboratorio para la determinación de las propiedades físicoquímicas.
- Se enviaron las muestras de los 27 tratamientos del suelo cultivado con maca al Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Se realizó un análisis comparativo de las propiedades físicas del suelo con tratamiento y sin tratamiento.
- Evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y lombricompost y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades químicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.
  - Se envió las enmiendas orgánicas (compost y vermicompost) al Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
  - Se extrajo las muestras de suelo en el campo.
  - Se muestreó al azar, tomando 50 muestras simples de la primera capa u horizonte (A).
  - Se obtuvo aproximadamente 50 kg de suelo en total, lo cual fue debidamente mezclado y homogenizado.
  - Se obtuvo un 1 kg de muestra compuesta para el posterior análisis en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
  - Se tamizó la muestra de suelo obtenida en campo, se utilizó un tamiz de 2 mm de diámetro, con una malla (ASTM = N° 10).
  - Posteriormente se pesó 1 kg de suelo y se colocó en cada una de las macetas.

- Se agregaron los tratamientos a los suelos cultivados con maca.

**Tabla 3. Tratamientos del estudio**

| Tratamiento | Descripción                                                      |
|-------------|------------------------------------------------------------------|
| T1          | Compost (10 %)                                                   |
| T2          | Compost (20 %)                                                   |
| T3          | Vermicompost (10 %)                                              |
| T4          | Vermicompost (20 %)                                              |
| T5          | Óxido de calcio (1_cmol_Ca)                                      |
| T6          | Óxido de calcio (2_cmol_Ca)                                      |
| T7          | Yeso agrícola (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O) (1_cmol_Ca) |
| T8          | Yeso agrícola (SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O) (2_cmol_Ca) |
| T9          | Testigo (sin enmiendas)                                          |

**Fuente: Elaboración propia**

Los tratamientos fueron dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, en dos dosis, 10 % y 20 %, consideradas dosis altas, para evaluar el efecto en la mejora del suelo. Asimismo, se utilizó dos enmiendas inorgánicas: óxido de calcio (CaO) y yeso(SO<sub>4</sub>Ca.2H<sub>2</sub>O) en dosis de 1 cmol y 2 cmol de calcio, considerando que esta cantidad de calcio neutralizará la acidez cambiante presente en el suelo. Los datos se presentan en la Tabla 2.

- Se agregó 1000 mL de agua al suelo para lograr el 26 % de humedad a capacidad de campo.
- Se determinó la capacidad de campo de cada uno de los suelos, obteniéndose un valor de 26 %.
- Se dejó infiltrar el agua y se procedió a dejar hasta el día siguiente.
- Después, cada semana, se procedió a voltear el suelo para darle las condiciones de aireación al suelo y favorecer la actividad microbiana, con el fin de mejorar el suelo cultivado con maca.
- Durante el periodo experimental, también se hizo rotación de las macetas, monitoreando la presencia de humedad en el suelo.
- Después de 60 días, se homogenizó la muestra de cada unidad experimental y se obtuvo un 1kg de muestra de suelo para ser enviadas al laboratorio para la determinación de las propiedades físicoquímicas.
- Se enviaron las muestras de los 27 tratamientos del suelo cultivado con maca al Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad

Nacional Agraria La Molina, Lima.

- Se realizó un análisis comparativo de las propiedades químicas del suelo con tratamiento y sin tratamiento.

### 3.5.2 Caracterización del suelo del área de estudio

Tabla 4. *Parámetros de análisis de suelo*

| Parámetro                                                                                       | Método                  | Unidad                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Conductividad eléctrica (CE)                                                                    | Conductómetro           | dS.cm <sup>-1</sup> . |
| Ph                                                                                              | Potenciómetro           | Unidad pH             |
| Calcáreo total (CaCO <sub>3</sub> )                                                             | Gasovolumétrico         | %                     |
| Materia orgánica                                                                                | Walkley-Black           | %                     |
| Fósforo disponible                                                                              | Olsen modificado        | ppm                   |
| Potasio disponible                                                                              | Acetato de amonio<br>1N | ppm                   |
| CIC                                                                                             | Acetato de amonio<br>1N | meq/100 g             |
| Cationes cambiabiles: Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> ,<br>Na <sup>+</sup> | Absorción atómica       | meq/100 g             |
| Acidez cambiabie                                                                                | Yuan                    | meq/100 g             |
| Densidad aparente                                                                               | Probeta                 | Mg.m <sup>-3</sup>    |
| Porosidad total                                                                                 | Probeta                 | %                     |
| Capacidad de campo                                                                              | Gravimétrico            | %                     |

**Fuente:** *Elaboración propia*

Con el análisis de suelos se pretende analizar el grado de suficiencia y deficiencia de nutrientes, así como las condiciones adversas, acides excesiva y salinidad. En la Tabla 4, se puede observar los parámetros físico-químicos que van a ser analizados en el Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, con sus respectivas métodos.

**Tabla 5. Resultados de análisis inicial del suelo del experimento**

| <b>Parámetro</b>                                  | <b>Resultado</b>        |
|---------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>CE</b>                                         | 0.24 dS.m <sup>-1</sup> |
| <b>Ph</b>                                         | 5.70                    |
| <b>Calcáreo total (CaCO<sub>3</sub>)</b>          | 0.00 %                  |
| <b>Materia orgánica</b>                           | 10.34 %                 |
| <b>Fósforo disponible</b>                         | 8.7 ppm                 |
| <b>Potasio disponible</b>                         | 249 ppm                 |
| <b>CIC efectiva</b>                               | 26.20 meq/100 g         |
| <b>Ca<sup>2+</sup> cambiable</b>                  | 21,83 meq/100 g         |
| <b>Mg<sup>2+</sup> cambiable</b>                  | 3.20 meq/100 g          |
| <b>K<sup>+</sup> cambiable</b>                    | 0.72 meq/100 g          |
| <b>Na<sup>+</sup> cambiable</b>                   | 0.35 meq/100 g          |
| <b>H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> cambiables</b> | 0,10 meq/100 g          |
| <b>Saturación de bases (%)</b>                    | 99.62                   |
| <b>Acidez intercambiable (%)</b>                  | 0.38                    |
| <b>Densidad aparente</b>                          | 0.88 Mg.m <sup>-3</sup> |
| <b>Porosidad total</b>                            | 47.37 %                 |

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

El suelo del experimento tuvo un contenido bajo de sales (CE < 4 dS.m<sup>-1</sup>), el pH es moderadamente ácido (pH = 5.6 – 6,0), el contenido calcáreo es bajo (CaCO<sub>3</sub> < 1 %), la materia orgánica tiene contenido alto (MO > 4 %), el fósforo disponible es de contenido medio (P = 7 – 14 ppm), el potasio disponible es alto (K > 240 ppm), la CIC es alta (CIC > 20 meq/100 g), el calcio cambiable es el catión dominante entre todos los cationes cambiables (Ca<sup>+2</sup> > Mg<sup>+2</sup> > K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > H<sup>+</sup> + Al<sup>+3</sup>), la saturación de bases es alta (SB > 35%). La densidad aparente es baja, debido al contenido alto de materia orgánica y la porosidad se encuentra dentro del rango normal. Los datos se presentan en la Tabla 5, y se han calificado comparando con la tabla de interpretación de análisis de suelo (Anexo 2).

### 3.5.3 Caracterización de enmiendas

Tabla 6. Resultados de análisis del compost

| Parámetro        | Resultado   |
|------------------|-------------|
| Salinidad        | 3.61 dS.m-1 |
| Ph               | 6.00        |
| Materia orgánica | 27.57 %     |
| Nitrógeno total  | 1.10 %      |
| P2O5             | 1.39 %      |
| K2O              | 0.99 %      |
| CaO              | 2.32 %      |
| MgO              | 0.79 %      |
| Humedad          | 24.18 %     |
| Na               | 0.04 %      |
| Fe               | 17270 ppm   |
| Cu               | 62 ppm      |
| Zn               | 87 ppm      |
| Mn               | 1835 ppm    |
| B                | 44 ppm      |

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

El análisis del compost presentó un pH inferior al rango normal (pH = 6.5 – 8.5), el contenido de materia orgánica fue superior a los parámetros normales (MO > 20 %), el nitrógeno total se encontró dentro del rango normal (N ~ 1 %), el fósforo estuvo dentro del rango normal (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0.229 – 2.29 %), el potasio se encontró dentro del rango normal (K<sub>2</sub>O = 0.36 – 1.20 %), la relación C:N se encontró dentro del rango normal (C:N = 10 – 15). Los datos fueron comparados con los parámetros del compost publicado por FAO (42). Los datos se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 7. Resultados del análisis del vermicompost**

| <b>Parametro</b>        | <b>Resultado</b> |
|-------------------------|------------------|
| <b>Salinidad</b>        | 3.68 dS.m-1      |
| <b>Ph</b>               | 6.52             |
| <b>Materia orgánica</b> | 37.98 %          |
| <b>Nitrógeno total</b>  | 2.86 %           |
| <b>P2O5</b>             | 3.01 %           |
| <b>K2O</b>              | 0.93 %           |
| <b>CaO</b>              | 4.59 %           |
| <b>MgO</b>              | 0.85 %           |
| <b>Humedad</b>          | 64.83 %          |
| <b>Na</b>               | 0.04 %           |
| <b>Fe</b>               | 6400 ppm         |
| <b>Cu</b>               | 41 ppm           |
| <b>Zn</b>               | 140 ppm          |
| <b>Mn</b>               | 686 ppm          |
| <b>B</b>                | 39 ppm           |

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

El análisis del vermicompost presentó un pH inferior al rango normal (pH = 6.5 – 8.5), el contenido de materia orgánica fue superior a los parámetros normales (MO > 20 %), el nitrógeno total fue superior al rango normal (N ~ 1 %), el fósforo fue superior al rango normal (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0.229 – 2.29 %), el potasio se encontró dentro del rango normal (K<sub>2</sub>O = 0.36 – 1.20 %), la relación C:N se encontró debajo del rango normal (C:N = 10 – 15). Los datos fueron comparados con los parámetros de compost publicados por FAO (42). Los datos se presentan en la Tabla 7.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados de laboratorio

#### 4.1.1 Objetivo Específico 1:

Evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades físicas de un suelo cultivado con *maca* (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.

##### 4.1.1.1 Densidad aparente

Tabla 8. Resultados del análisis de la densidad aparente ( $Mg.m^{-3}$ )

| Tratamientos                 | Repeticiones |             |             | Promedio    |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | I            | II          | III         |             |
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 0.82         | 0.79        | 0.78        | <b>0.80</b> |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 0.76         | 0.81        | 0.78        | <b>0.78</b> |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 0.81         | 0.78        | 0.83        | <b>0.81</b> |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 0.75         | 0.74        | 0.77        | <b>0.75</b> |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 0.84         | 0.88        | 0.85        | <b>0.86</b> |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 0.87         | 0.85        | 0.86        | <b>0.86</b> |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 0.79         | 0.77        | 0.75        | <b>0.77</b> |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 0.89         | 0.85        | 0.86        | <b>0.87</b> |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>0.79</b>  | <b>0.78</b> | <b>0.77</b> | <b>0.78</b> |

*Fuente: Elaboración propia*

El tratamiento con vermicompost al 20 %, tuvo en promedio la más baja densidad aparente del suelo, comparado a los demás tratamientos. En esta propiedad del suelo, los mejores tratamientos son los de más baja densidad aparente, debido que favorecen otras propiedades físicas del suelo, como el movimiento del agua y facilidad de laboreo del suelo. Los datos se presentan en la Tabla 8.

#### 4.1.1.2 Porosidad total

Tabla 9. Resultados del análisis de la porosidad total (%)

| Tratamientos                 | Repeticiones |              |              | Promedio     |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                              | I            | II           | III          |              |
| <b>T1: Compost_10%</b>       | 47.54        | 44.44        | 47.69        | <b>46.56</b> |
| <b>T2: Compost_20%</b>       | 48.48        | 48.38        | 50.00        | <b>48.95</b> |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 44.61        | 45.31        | 43.33        | <b>44.42</b> |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 34.85        | 35.59        | 33.84        | <b>34.76</b> |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 41.67        | 46.32        | 42.76        | <b>43.58</b> |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 46.21        | 42.37        | 42.76        | <b>43.78</b> |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 36.50        | 41.54        | 37.00        | <b>38.35</b> |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 47.50        | 44.83        | 46.45        | <b>46.26</b> |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>38.33</b> | <b>35.00</b> | <b>36.92</b> | <b>36.75</b> |

*Fuente: Elaboración propia*

El tratamiento con compost al 20 % tuvo en promedio la más alta porosidad total del suelo comparado a los demás tratamientos. En esta propiedad del suelo, los mejores tratamientos son los de más alta porosidad total, debido que favorece otras propiedades físicas del suelo, como el movimiento del agua, facilidad de laboreo del suelo, actividad de los microorganismos y de las raíces de las plantas. Los datos se presentan en la Tabla 9.

#### 4.1.2 Objetivo Especifico 2:

Evaluar el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades químicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo.

#### 4.1.2.1 pH

Tabla 10. Resultados del pH del suelo

| Tratamientos          | Repeticiones |      |      | Promedio |
|-----------------------|--------------|------|------|----------|
|                       | I            | II   | III  |          |
| T1: Compost_10%       | 5.69         | 5.65 | 5.76 | 5.70     |
| T2: Compost_20%       | 6.00         | 5.84 | 5.76 | 5.87     |
| T3: Vermicompost_10 % | 5.72         | 5.68 | 5.72 | 5.71     |
| T4: Vermicompost_20 % | 6.12         | 5.88 | 5.80 | 5.93     |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 5.44         | 5.20 | 5.28 | 5.31     |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 5.36         | 5.48 | 5.52 | 5.45     |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 5.20         | 5.21 | 5.20 | 5.20     |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 5.24         | 5.28 | 5.20 | 5.24     |
| T9: Testigo           | 5.44         | 5.40 | 5.40 | 5.41     |

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

El pH del suelo se incrementó por efecto de las enmiendas, especialmente las orgánicas, alcanzando el promedio más alto el tratamiento con vermicompost al 20 % (T4). El incremento de pH es favorable en el suelo al incrementar la disponibilidad de nutrientes. Los datos se presentan en la Tabla 10.

#### 4.1.2.2 Conductividad eléctrica (CE)

Tabla 11. Resultados de la CE del suelo

| Tratamientos          | Repeticiones |      |      | Promedio |
|-----------------------|--------------|------|------|----------|
|                       | I            | II   | III  |          |
| T1: Compost_10 %      | 0.66         | 0.17 | 1.31 | 0.713    |
| T2: Compost_20 %      | 1.43         | 1.02 | 0.92 | 1.123    |
| T3: Vermicompost_10 % | 0.59         | 0.87 | 0.68 | 0.713    |
| T4: Vermicompost_20 % | 0.44         | 0.31 | 0.78 | 0.510    |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 0.80         | 0.75 | 1.01 | 0.853    |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 0.95         | 1.06 | 0.97 | 0.993    |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 1.14         | 0.72 | 0.68 | 0.847    |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 1.38         | 0.90 | 0.50 | 0.927    |
| T9: Testigo           | 0.51         | 0.32 | 0.32 | 0.383    |

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

La CE del suelo se incrementó por efecto de las enmiendas, tanto orgánicas (excepto el vermicompost al 20 %) como inorgánicas, respecto al testigo, pero sin alcanzar valores mayores a  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  que califica a un suelo como salino. El tratamiento con vermicompost al 20 % (T4), tuvo la CE más baja, junto con el testigo, mostrando el efecto favorable de la enmienda orgánica en el mantenimiento de la calidad del suelo, evitando el incremento de exceso de sales. Los datos se presentan en la Tabla 11.

#### 4.1.2.3 Contenido de materia orgánica (MO)

Tabla 12. Resultados del contenido de MO del suelo

| Tratamientos                 | Repeticiones |              |              | Promedio      |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                              | I            | II           | III          |               |
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 9.27         | 9.75         | 9.75         | <b>9.590</b>  |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 9.41         | 10.23        | 9.55         | <b>9.730</b>  |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 9.82         | 9.82         | 9.75         | <b>9.797</b>  |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 11.04        | 11.45        | 11.04        | <b>11.177</b> |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 9.82         | 10.50        | 9.89         | <b>10.070</b> |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 9.07         | 10.23        | 10.02        | <b>9.773</b>  |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 10.70        | 10.56        | 10.90        | <b>10.720</b> |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 10.90        | 11.04        | 10.77        | <b>10.903</b> |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>10.50</b> | <b>10.77</b> | <b>10.43</b> | <b>10.567</b> |

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

La materia orgánica del suelo se incrementó en el tratamiento 4 (T4 = vermicompost al 20 %), mostrando el efecto de las enmiendas orgánicas en el mejoramiento del suelo. Todos los valores son altos, en estos suelos dedicados al cultivo de maca, debido a la baja tasa de descomposición de materia orgánica y su posterior acumulación. Los datos se presentan en la Tabla 12.

#### 4.1.2.4 Contenido de fósforo en el suelo (P)

Tabla 13. Resultados del contenido de P en el suelo

| Tratamientos                 | Repeticiones |             |             | Promedio       |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------|
|                              | I            | II          | III         |                |
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 12.80        | 11.30       | 10.20       | <b>11.433</b>  |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 19.90        | 16.80       | 20.90       | <b>19.200</b>  |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 57.10        | 61.50       | 62.30       | <b>60.300</b>  |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 122.20       | 113.30      | 96.10       | <b>110.533</b> |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 2.30         | 1.90        | 3.60        | <b>2.600</b>   |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 3.80         | 3.60        | 3.50        | <b>3.633</b>   |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 2.70         | 3.10        | 4.00        | <b>3.267</b>   |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 2.80         | 3.70        | 4.00        | <b>3.500</b>   |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>3.80</b>  | <b>3.50</b> | <b>3.60</b> | <b>3.633</b>   |

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

Las enmiendas orgánicas, tanto el compost como el vermicompost incrementaron el contenido de P en el suelo cultivado con maca, respecto a las enmiendas inorgánicas, que lo mantuvieron bajo. Fue el incremento de la actividad microbial el factor determinante en la mayor disponibilidad de P en el suelo. Los datos se presentan en la Tabla 13.

#### 4.1.2.5 Contenido de potasio en el suelo (K)

Tabla 14. Resultados del contenido de K en el suelo

| Tratamientos                 | Repeticiones |            |            | Promedio       |
|------------------------------|--------------|------------|------------|----------------|
|                              | I            | II         | III        |                |
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 490          | 514        | 527        | <b>510.333</b> |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 792          | 690        | 676        | <b>719.333</b> |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 493          | 504        | 512        | <b>503.000</b> |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 572          | 572        | 567        | <b>570.333</b> |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 263          | 267        | 262        | <b>263.667</b> |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 265          | 301        | 255        | <b>273.667</b> |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 252          | 276        | 283        | <b>270.333</b> |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 259          | 289        | 260        | <b>269.333</b> |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>286</b>   | <b>280</b> | <b>263</b> | <b>276.333</b> |

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

Las enmiendas orgánicas, tanto el compost como el vermicompost incrementaron el contenido de K en el suelo cultivado con maca (T1, T2, T3 y T4), respecto a las enmiendas inorgánicas (T5, T6, T7 y T8), que lo mantuvieron bajo. Los datos se presentan en la Tabla 14.

#### 4.1.2.6 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Tabla 15. Resultados de la CIC del suelo

| Tratamientos          | Repeticiones |       |       | Promedio |
|-----------------------|--------------|-------|-------|----------|
|                       | I            | II    | III   |          |
| T1: Compost_10 %      | 11.68        | 27.20 | 28.00 | 22.293   |
| T2: Compost_20 %      | 27.68        | 27.20 | 27.36 | 27.413   |
| T3: Vermicompost_10 % | 28.00        | 25.60 | 27.52 | 27.040   |
| T4: Vermicompost_20 % | 28.00        | 28.64 | 19.60 | 28.747   |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 28.16        | 29.28 | 28.00 | 28.480   |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 28.16        | 26.72 | 26.08 | 26.987   |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 27.04        | 28.80 | 28.16 | 28.000   |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 28.00        | 29.60 | 28.00 | 28.533   |
| T9: Testigo           | 28.16        | 27.20 | 27.20 | 27.520   |

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

El vermicompost al 20 %, tuvo la mayor CIC en el suelo superando al compost y el testigo, así como a las enmiendas inorgánicas. Los datos se presentan en la Tabla 15.

#### 4.1.2.7 Contenido de Calcio cambiable en el suelo (Cax)

Tabla 16. Resultados del contenido de Ca cambiable en el suelo

| Tratamientos          | Repeticiones |              |              | Promedio      |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                       | I            | II           | III          |               |
| T1: Compost_10 %      | 6.06         | 20.24        | 20.09        | <b>15.463</b> |
| T2: Compost_20 %      | 20.66        | 19.70        | 20.19        | <b>20.183</b> |
| T3: Vermicompost_10 % | 20.14        | 17.19        | 19.22        | <b>18.850</b> |
| T4: Vermicompost_20 % | 18.06        | 18.38        | 18.48        | <b>18.307</b> |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 21.14        | 22.04        | 20.66        | <b>21.280</b> |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 21.60        | 20.28        | 19.66        | <b>20.513</b> |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 19.85        | 20.76        | 20.77        | <b>20.460</b> |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 20.60        | 21.34        | 20.59        | <b>20.843</b> |
| T9: Testigo           | <b>21.06</b> | <b>20.15</b> | <b>20.25</b> | <b>20.487</b> |

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

El tratamiento con CaO en una dosis de 1 cmol/kg, incrementó la cantidad de calcio cambiable en comparación con los demás tratamientos. Se observó también que las

enmiendas orgánicas tuvieron menor contenido de calcio cambiabile. Los datos se presentan en la Tabla 16.

#### 4.1.2.8 Contenido de magnesio cambiabile en el suelo

Tabla 17. Resultados del contenido de Mg cambiabile en el suelo

| Tratamientos                 | Repeticiones |             |             | Promedio     |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                              | I            | II          | III         |              |
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 3.03         | 2.67        | 3.42        | <b>3.040</b> |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 3.23         | 3.22        | 2.87        | <b>3.107</b> |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 3.58         | 4.15        | 3.95        | <b>3.893</b> |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 6.17         | 5.55        | 6.33        | <b>6.017</b> |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 2.37         | 2.70        | 2.80        | <b>2.623</b> |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 2.53         | 2.47        | 2.52        | <b>2.507</b> |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 2.28         | 3.07        | 2.53        | <b>2.627</b> |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 2.47         | 3.17        | 2.48        | <b>2.707</b> |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>2.93</b>  | <b>2.83</b> | <b>2.85</b> | <b>2.870</b> |

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

El tratamiento de vermicompost al 20 % tuvo el más alto promedio de magnesio cambiabile en comparación con los demás tratamientos. Se observó también que el compost incrementó este ion cambiabile en el suelo. Las enmiendas inorgánicas no tuvieron este efecto. Los datos se presentan en la Tabla 17.

#### 4.1.2.9 Contenido de potasio cambiabile en el suelo

Tabla 18. Resultados del contenido de K cambiabile en el suelo

| Tratamientos          | Repeticiones |      |      | Promedio |
|-----------------------|--------------|------|------|----------|
|                       | I            | II   | III  |          |
| T1: Compost_10 %      | 1.06         | 1.01 | 1.19 | 1.087    |
| T2: Compost_20 %      | 1.61         | 1.48 | 1.47 | 1.520    |
| T3: Vermicompost_10 % | 0.96         | 0.94 | 1.03 | 0.977    |
| T4: Vermicompost_20 % | 1.25         | 1.18 | 1.18 | 1.203    |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 0.68         | 0.71 | 0.80 | 0.730    |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 0.70         | 0.68 | 0.65 | 0.677    |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 0.59         | 0.66 | 0.54 | 0.597    |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 0.63         | 0.74 | 0.63 | 0.667    |
| T9: Testigo           | 0.70         | 0.67 | 0.63 | 0.667    |

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

El tratamiento con compost al 20 % tuvo el mayor valor promedio de potasio cambiabile. Los tratamientos con enmiendas inorgánicas y testigo, presentaron menores contenidos de potasio cambiabile, respecto a las enmiendas orgánicas. Los datos se presentan en la Tabla 18.

#### 4.1.2.10 Contenido de sodio cambiabile en el suelo

Tabla 19. Resultados del contenido de Na cambiabile en el suelo

| Tratamientos                 | Repeticiones |             |             | Promedio     |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                              | I            | II          | III         |              |
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 0.23         | 0.19        | 0.20        | <b>0.207</b> |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 0.18         | 0.15        | 0.19        | <b>0.173</b> |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 0.17         | 0.17        | 0.17        | <b>0.170</b> |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 0.22         | 0.23        | 0.20        | <b>0.217</b> |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 0.17         | 0.18        | 0.19        | <b>0.180</b> |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 0.18         | 0.19        | 0.16        | <b>0.177</b> |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 0.17         | 0.17        | 0.17        | <b>0.170</b> |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 0.15         | 0.21        | 0.20        | <b>0.187</b> |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>0.17</b>  | <b>0.15</b> | <b>0.17</b> | <b>0.163</b> |

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

El tratamiento con vermicompost al 20 % tuvo el mayor valor promedio de sodio cambiabile; pero en general los valores de todos los tratamientos son bajos. Este elemento cuando es expresado porcentaje respecto a la CIC (Porcentaje de sodio intercambiabile = PSI), tiene valores límites de 15 que califican a suelos sódicos o salino sódicos; pero en nuestro experimento el PSI es bajo. Los datos se presentan en la Tabla 19.

#### 4.1.2.11 Saturación de bases

Tabla 20. Resultados de la saturación de bases del suelo (%)

| Tratamientos                 | Repeticiones |            |            | Promedio      |
|------------------------------|--------------|------------|------------|---------------|
|                              | I            | II         | III        |               |
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 99           | 100        | 100        | <b>99.67</b>  |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 100          | 99         | 99         | <b>99.33</b>  |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 99           | 99         | 99         | <b>99.00</b>  |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 100          | 99         | 100        | <b>99.67</b>  |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 100          | 99         | 99         | <b>99.33</b>  |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 99           | 100        | 100        | <b>99.67</b>  |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 99           | 99         | 99         | <b>99.00</b>  |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 99           | 99         | 100        | <b>99.33</b>  |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>100</b>   | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100.00</b> |

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

Los tratamientos presentaron promedios de saturación de bases (SB) altos y similares, no observándose un efecto de las enmiendas orgánicas e inorgánicas. Los valores fluctuaron entre 99.33 % y 100 %. Los datos se presentan en la Tabla 20.

#### 4.1.2.12 Saturación de acidez cambiabile

Tabla 21. Resultados de la acidez cambiabile del suelo (%)

| Tratamientos          | Repeticiones |      |      | Promedio |
|-----------------------|--------------|------|------|----------|
|                       | I            | II   | III  |          |
| T1: Compost_10 %      | 0.95         | 0.41 | 0.40 | 0.59     |
| T2: Compost_20 %      | 0.00         | 0.61 | 0.60 | 0.40     |
| T3: Vermicompost_10 % | 0.60         | 0.66 | 0.61 | 0.62     |
| T4: Vermicompost_20 % | 0.00         | 1,17 | 0.38 | 0.52     |
| T5:CaO_1_cmol_Ca      | 0.41         | 0.58 | 0.61 | 0.53     |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 0.60         | 0.42 | 0.43 | 0.48     |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 0.65         | 0.60 | 0.62 | 0.62     |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 0.63         | 0.59 | 0.42 | 0.55     |
| T9: Testigo           | 0.40         | 0.42 | 0.42 | 0.41     |
| T5:CaO_1_cmol_Ca      | 0.41         | 0.58 | 0.61 | 0.53     |

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

Los tratamientos con compost al 20 %, así como el testigo tuvieron los valores promedio más bajos de acidez cambiabile (AC), respecto a los demás tratamientos. En esta propiedad del suelo, los mejores tratamientos son los de más baja AC, debido a que con alta AC, los iones ácidos afectan negativamente el crecimiento de la raíz, especialmente el aluminio. Los datos se presentan en la Tabla 21.

## 4.2 Prueba de hipótesis

### 4.2.1 Hipótesis específica 1

«La aplicación de enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, e inorgánicas: cal y yeso, mejorarán significativamente las propiedades físicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp) en Carhuamayo».

#### 4.2.1.1 Densidad aparente

Los datos de densidad aparente (DAP), de la muestra, se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 22. Prueba de normalidad (shapiro-Wilks) para la DAP del suelo**

| Tratamiento                  | n        | Media       | D.E.        | W*          | p-valor           |
|------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 3        | 0.80        | 0.02        | 0.92        | <b>0.4628</b>     |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 3        | 0.78        | 0.03        | 0.99        | <b>0.7806</b>     |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 3        | 0.81        | 0.03        | 0.99        | <b>0.7806</b>     |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 3        | 0.75        | 0.02        | 0.96        | <b>0.6394</b>     |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 3        | 0.86        | 0.02        | 0.92        | <b>0.4628</b>     |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 3        | 0.86        | 0.01        | 1.00        | <b>&gt;0.9999</b> |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 3        | 0.77        | 0.02        | 1.00        | <b>&gt;0.9999</b> |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 3        | 0.87        | 0.02        | 0.92        | <b>0.4628</b>     |
| <b>T9: Testigo</b>           | <b>3</b> | <b>0.78</b> | <b>0.01</b> | <b>1.00</b> | <b>&gt;0.9999</b> |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es mayor que 0.05 en todos los tratamientos, se aceptó la  $H_0$  y se concluyó que los datos de la población tienen una distribución normal. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia. Los datos se presentan en la Tabla 22.

El análisis de variancia de la densidad aparente del suelo presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p$  valor  $< 0.05$ ), debido al tipo y proporción de enmienda aplicada al suelo. El promedio fue bajo, y los datos presentaron también un CV bajo, indicando homogeneidad dentro de cada tratamiento. Los datos se presentan en la Tabla 23.



#### 4.2.1.2 Porosidad total

Los datos de la porosidad total (PT), de la muestra, se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 24. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la PT del suelo**

| Tratamiento           | N | Media | D.E. | W*   | p-valor |
|-----------------------|---|-------|------|------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 46.56 | 1.83 | 0.78 | 0.0780  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 48.95 | 0.91 | 0.80 | 0.1054  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 44.42 | 1.00 | 0.97 | 0.6795  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 34.76 | 0.88 | 0.99 | 0.8298  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 43.58 | 2.43 | 0.91 | 0.4302  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 43.78 | 2.11 | 0.83 | 0.1770  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 38.35 | 2.78 | 0.82 | 0.1726  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 46.26 | 1.35 | 0.99 | 0.7639  |
| T9: Testigo           | 3 | 36.75 | 1.67 | 0.99 | 0.8310  |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es mayor que 0.05 en todos los tratamientos, se aceptó la Ho y se concluyó que los datos de la población de donde proviene la muestra tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 24. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

El análisis de variancia de la porosidad total del suelo presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p$  valor  $< 0.05$ ), debido al tipo y proporción de enmienda aplicada al suelo. Los datos presentaron también un CV bajo, indicando homogeneidad dentro de cada tratamiento. Los datos se presentan en la Tabla 25.



## 4.2.2 Hipótesis específica 2

La aplicación de enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, e inorgánicas: cal y yeso, mejorarán significativamente las propiedades químicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp) en Carhuamayo.

### 4.2.2.1 pH

Se analizaron los datos de la muestra para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

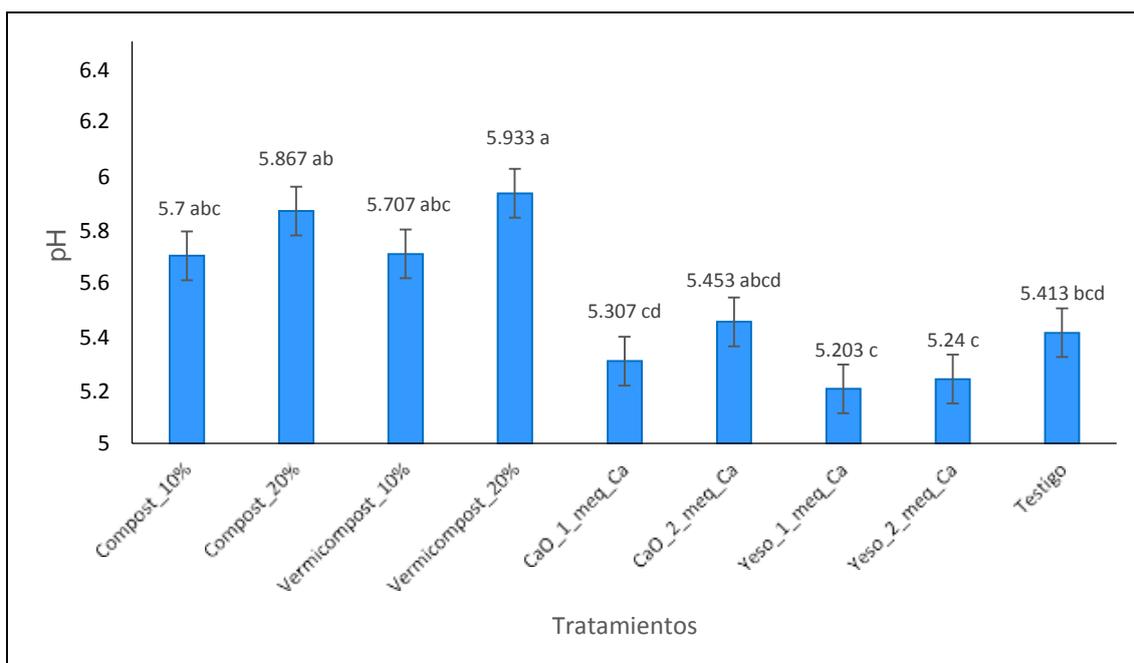
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 26. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el pH del suelo**

| Tratamiento           | n | Media | D.E.  | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 5.70  | 0.056 | 0.976 | 0.6993  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 5.87  | 0.122 | 0.964 | 0.6394  |
| T3: lot_10%           | 3 | 5.71  | 0.122 | 0.964 | 0.6394  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 5.93  | 0.083 | 0.923 | 0.4628  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 5.31  | 0.023 | 0.750 | <0.0001 |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 5.45  | 0.023 | 0.750 | <0.0001 |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 5.20  | 0.167 | 0.923 | 0.4628  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 5.24  | 0.006 | 0.750 | <0.0001 |
| T9: Testigo           | 3 | 5.41  | 0.040 | 1.000 | >0.9999 |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos (T5, T6, T8 < 0.05), se rechaza Ho y se concluye que los datos no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 26. Se procedió a aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.



**Figura 4.** Prueba de Kruskal Wallis para el pH del suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico.

El tratamiento con vermicompost al 20 % sobresale con el más alto valor de pH, sin diferencias significativas con los tratamientos que recibieron enmiendas orgánicas, pero superando a los tratamientos con enmiendas inorgánicas, mostrando el efecto del compost y vermicompost en incrementar el pH y mejorar el suelo cultivado con maca. Los datos se presentan en la Figura 4. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### **4.2.2.2 Conductividad eléctrica**

Los datos de la conductividad eléctrica (CE), de la muestra, se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

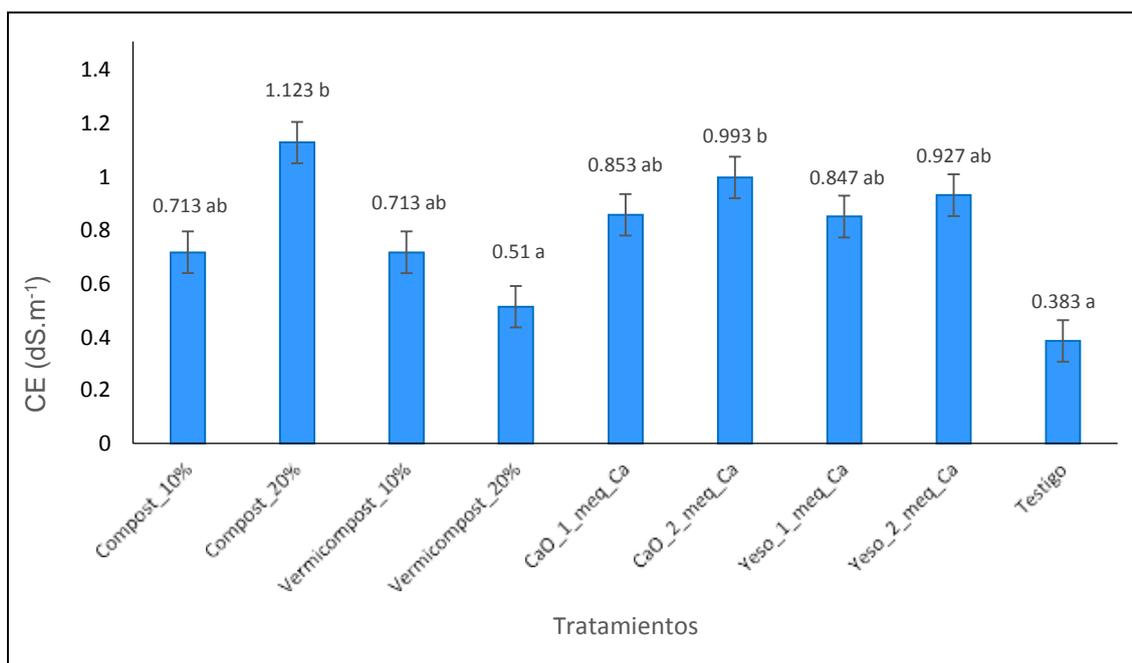
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 27. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la CE del suelo**

| Tratamiento           | N | Media | D.E.  | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 0.713 | 0.572 | 0.993 | 0.8473  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 1.123 | 0.270 | 0.890 | 0.3535  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 0.713 | 0.143 | 0.959 | 0.6090  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 0.510 | 0.243 | 0.938 | 0.5170  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 0.853 | 0.138 | 0.888 | 0.3449  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 0.993 | 0.059 | 0.881 | 0.3245  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 0.847 | 0.255 | 0.815 | 0.1483  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 0.927 | 0.441 | 0.997 | 0.9018  |
| T9: Testigo           | 3 | 0.383 | 0.110 | 0.750 | <0.0001 |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos (T9 < 0.05), se rechaza  $H_0$  y se concluye que los datos de la población de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 27. Se procedió a aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis



**Figura 5. Prueba de Kruskal Wallis para la CE del suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico**

La prueba de Kruskal Wallis mostró que el tratamiento testigo junto con el tratamiento de vermicompost al 20 % manifestaron, significativamente, los más bajos valores de CE, exponiendo el efecto de la enmienda orgánica al mantener baja concentración de sales en el suelo. El tratamiento con compost al 20 % y CaO (2 meq) mostraron, significativamente los más altos valores de CE. En el caso del compost, se puede atribuir al tipo de insumo utilizado en su preparación. Los datos se presentan en la Figura 5. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.3 Contenido de materia orgánica

Los datos del contenido de materia orgánica (MO), de la muestra, se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

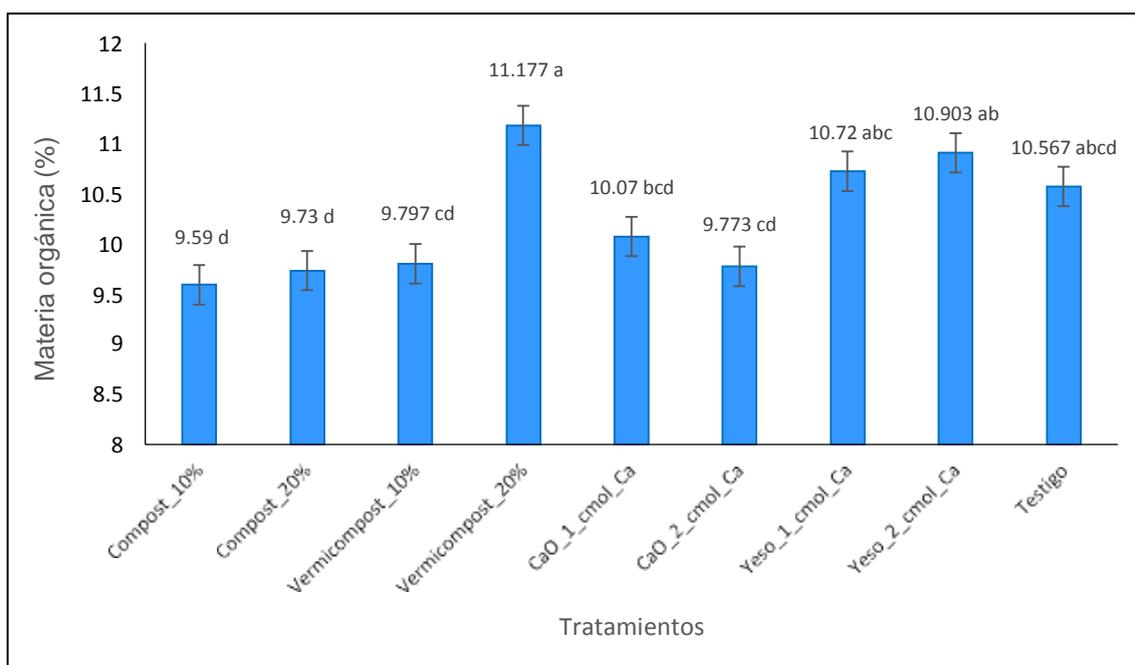
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 28. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de MO del suelo**

| Tratamiento           | n | Media  | D.E.  | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|--------|-------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 9.590  | 0.277 | 0.750 | <0.0001 |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 9.730  | 0.439 | 0.874 | 0.3047  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 9.797  | 0.040 | 0.750 | <0.0001 |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 11.177 | 0.237 | 0.750 | <0.0001 |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 10.070 | 0.374 | 0.826 | 0.1820  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 9.773  | 0.618 | 0.881 | 0.3235  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 10.720 | 0.171 | 0.990 | 0.8057  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 10.903 | 0.135 | 1.000 | 0.9578  |
| T9: Testigo           | 3 | 10.567 | 0.180 | 0.897 | 0.3708  |

*Fuente: Elaboración propia*

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos (T1, T3, T4 < 0.001), se rechaza Ho y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 28. Se procede a aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.



**Figura 6. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de materia orgánica. Las líneas al centro de las barras representan el error típico.**

De los análisis de materia orgánica, se observa que el tratamiento con vermicompost al 20 % sobresalió significativamente respecto a los demás tratamientos, mostrando el efecto de esta enmienda orgánica en mejorar el suelo cultivado con maca. Los datos se presentan en la Figura 6. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### **4.2.2.4 Contenido de fósforo en el suelo (P)**

Los datos de la muestra se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 29. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de P del suelo**

| Tratamiento           | n | Media   | D.E.   | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|---------|--------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 11.433  | 1.305  | 0.992 | 0.8300  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 19.200  | 2.138  | 0.920 | 0.4494  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 60.300  | 2.800  | 0.862 | 0.2714  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 110.533 | 13.268 | 0.967 | 0.6690  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 2.600   | 0.889  | 0.915 | 0.4314  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 3.633   | 0.153  | 0.964 | 0.6394  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 3.267   | 0.666  | 0.953 | 0.5813  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 3.500   | 0.624  | 0.923 | 0.4628  |
| T9: Testigo           | 3 | 3.633   | 0.153  | 0.964 | 0.6394  |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es mayor que 0.05 en todos los tratamientos, se acepta  $H_0$  y se concluye que los datos de la población tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 29. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 30. Análisis de variancia del contenido de P en el suelo**

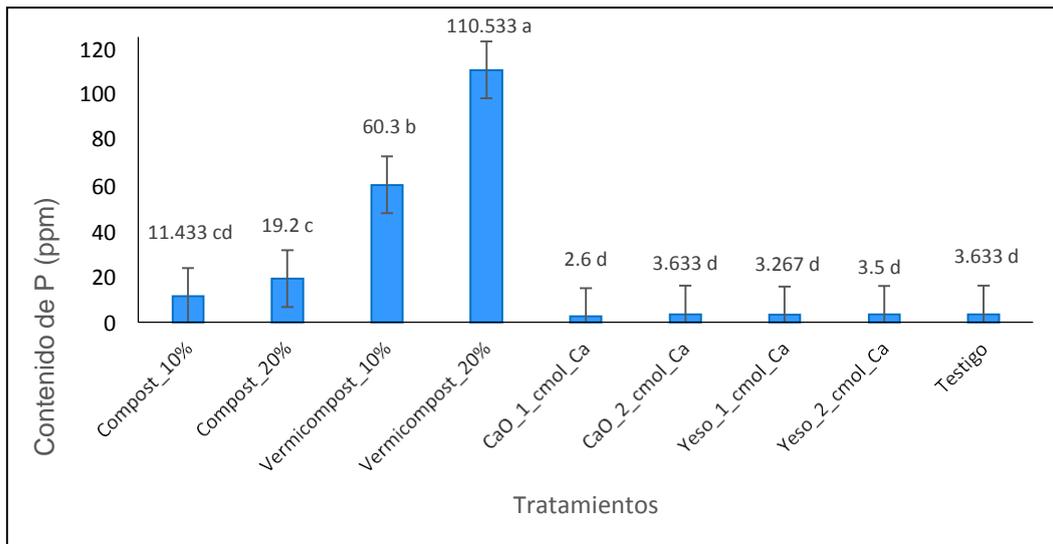
| F. de V.     | S.C.      | G.L. | C.M.     | Fc.     | p-valor |
|--------------|-----------|------|----------|---------|---------|
| Tratamientos | 33371.587 | 8    | 4171.448 | 195.713 | <0.0001 |
| Error        | 383.653   | 18   | 21.314   |         |         |
| Total        | 33755.240 | 26   |          |         |         |

S = 4.617 ppm

$\bar{x}$  = 24.23 ppm

CV = 19.051 %

El análisis de variancia del contenido de P presentó diferencias significativas entre tratamientos (p valor = 0,05), debido a la fuente de enmienda aplicada al suelo. Los datos se presentan en la Tabla 30.



**Figura 7. Prueba de Duncan para el contenido de P en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.**

La Figura 7 muestra al tratamiento con vermicompost al 20 %, superior estadísticamente a los demás tratamientos, con un promedio de 110.533 ppm de P, seguido del tratamiento con vermicompost al 10 %. Esto demuestra el efecto favorable de la enmienda orgánica en incrementar el P del suelo, debido a la mineralización del P orgánico en formas inorgánicas, lo cual incide favorablemente en su mejoramiento. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.5 Contenido de potasio en el suelo

Los datos del contenido de potasio (K) de la muestra, se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

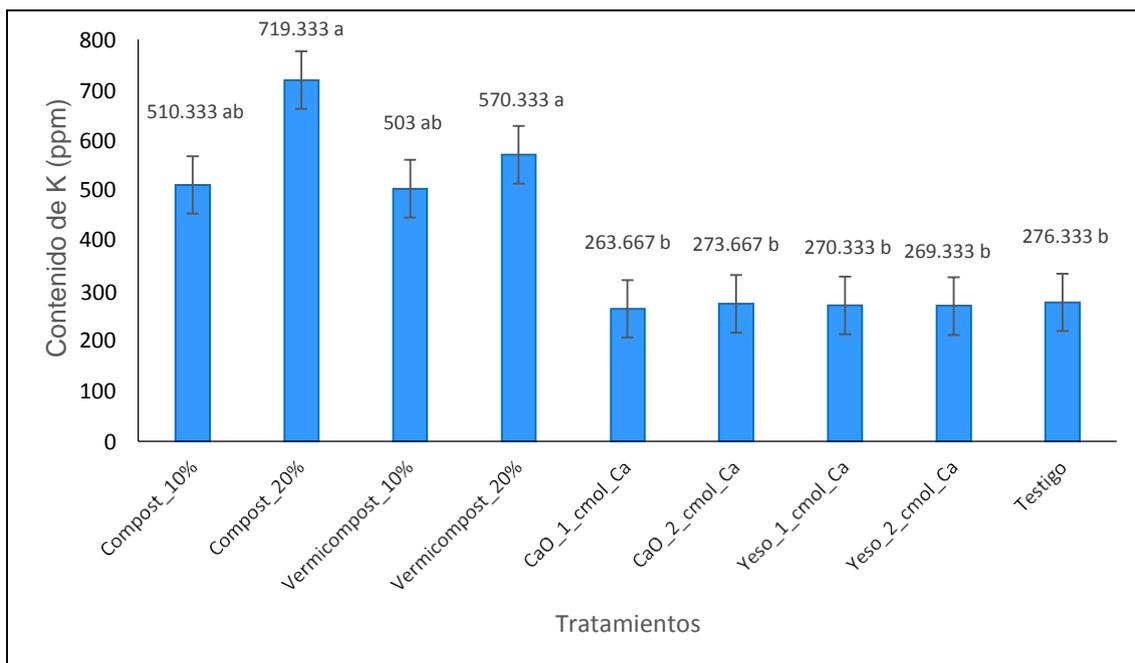
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 31. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de K en el suelo**

| Tratamiento           | N | Media   | D.E.   | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|---------|--------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 510.333 | 18.771 | 0.971 | 0.6725  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 719.333 | 63.319 | 0.839 | 0.2124  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 503.000 | 9.539  | 0.992 | 0.8263  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 570.333 | 2.887  | 0.750 | <0.0001 |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 263.667 | 3.055  | 0.964 | 0.6394  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 273.667 | 24.194 | 0.904 | 0.3962  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 270.333 | 16.258 | 0.909 | 0.4134  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 269.333 | 17.039 | 0.775 | 0.0552  |
| T9: Testigo           | 3 | 276.333 | 11.930 | 0.929 | 0.4871  |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos un tratamiento (T4 < 0.001), se rechazó Ho y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 31. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis.



**Figura 8.** Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de K en el suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico.

La aplicación de enmiendas orgánicas incrementó el K en el suelo, destacando significativamente el compost y vermicompost con los valores más altos, lo cual se atribuye al efecto de las enmiendas orgánicas en favorecer la liberación de potasio de las fuentes minerales. Los datos se presentan en la Figura 8. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.6 Capacidad de intercambio catiónico

Los datos de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de la muestra se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

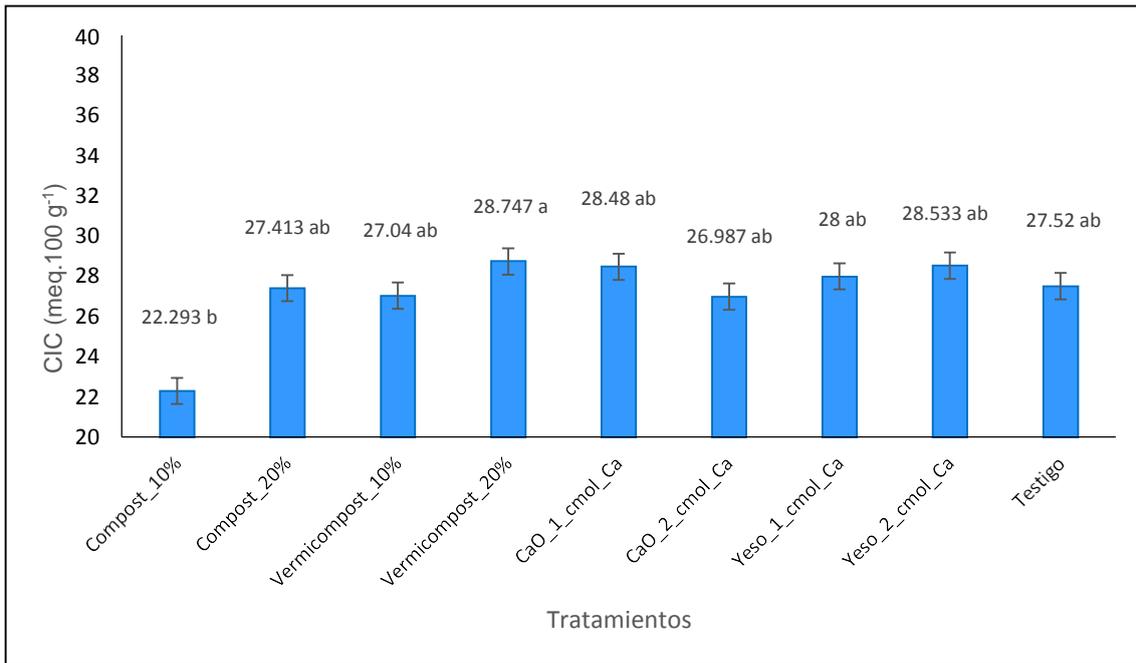
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 32. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la CIC del suelo**

| Tratamiento           | n | Media  | D.E.  | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|--------|-------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 22.293 | 9.200 | 0.787 | 0.0836  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 27.413 | 0.244 | 0.964 | 0.6394  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 27.040 | 1.270 | 0.893 | 0.3614  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 28.747 | 0.805 | 0.987 | 0.7806  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 28.480 | 0.697 | 0.842 | 0.2190  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 26.987 | 1.065 | 0.953 | 0.5813  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 28.000 | 0.891 | 0.976 | 0.6993  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 28.533 | 0.924 | 0.750 | <0.0001 |
| T9: Testigo           | 3 | 27.520 | 0.554 | 0.750 | <0.0001 |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos del experimento (T8, T9), se rechazó Ho y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 32. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis.



**Figura 9. Prueba de Kruskal Wallis para la CIC del suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.**

El tratamiento con vermicompost al 20 % tuvo significativamente el mayor valor de la CIC del suelo respecto a los demás tratamientos, lo cual se atribuye a la acción de la enmienda orgánica en incrementar las cargas negativas de la fase sólida del suelo y de esa manera la capacidad de intercambiar iones entre la fase sólida y la fase líquida del suelo, que es indicador en el mejoramiento del suelo. Los datos se presentan en la Figura 9. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.7 Contenido de calcio cambiabile en el suelo

Los datos de la muestra se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

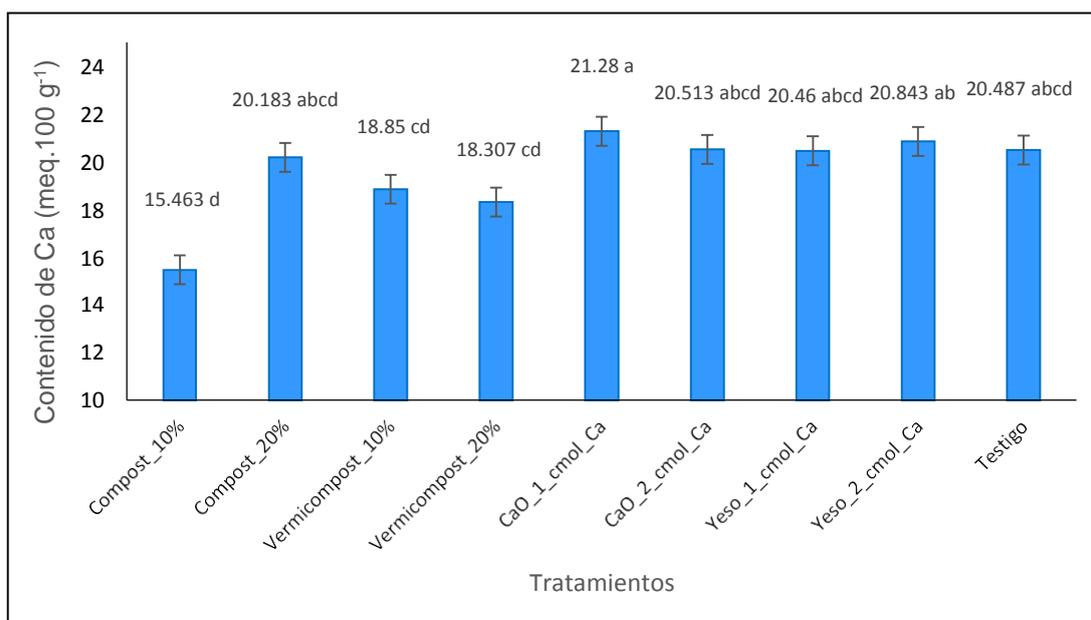
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 33. Pueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de Ca cambiabile en el suelo**

| Tratamiento           | n | Media  | D.E.  | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|--------|-------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 15.463 | 8.144 | 0.758 | 0.0192  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 20.183 | 0.480 | 1.000 | 0.9747  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 18.850 | 1.509 | 0.955 | 0.5895  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 18.307 | 0.219 | 0.916 | 0.4389  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 21.280 | 0.701 | 0.970 | 0.6667  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 20.513 | 0.991 | 0.958 | 0.6051  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 20.460 | 0.528 | 0.758 | 0.0184  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 20.843 | 0.430 | 0.760 | 0.0209  |
| T9: Testigo           | 3 | 20.487 | 0.499 | 0.831 | 0.1929  |

**Fuente: Elaboración propia**

Como el p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos (T1, T7, T8), se rechazó Ho y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis. Los datos se presentan en la Tabla 33.



**Figura 10. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Ca cambiable en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.**

Al comparar los promedios de los tratamientos, se observó que las enmiendas inorgánicas, en general, incrementaron el contenido de calcio cambiable en el suelo, debido al aporte de calcio, tanto del CaO como del  $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , el cual se liberó al momento de su disolución en el suelo y fue adsorbido por el complejo de cambio. Las enmiendas orgánicas también se constituyeron en una fuente de encalado de estos suelos ácidos, donde se cultiva maca. Esto indica que las enmiendas inorgánicas también contribuyen a la restauración de los suelos con maca. Los datos se presentan en la Figura 10. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### **4.2.2.8 Contenido de magnesio cambiable**

Seguidamente, los datos de la muestra se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

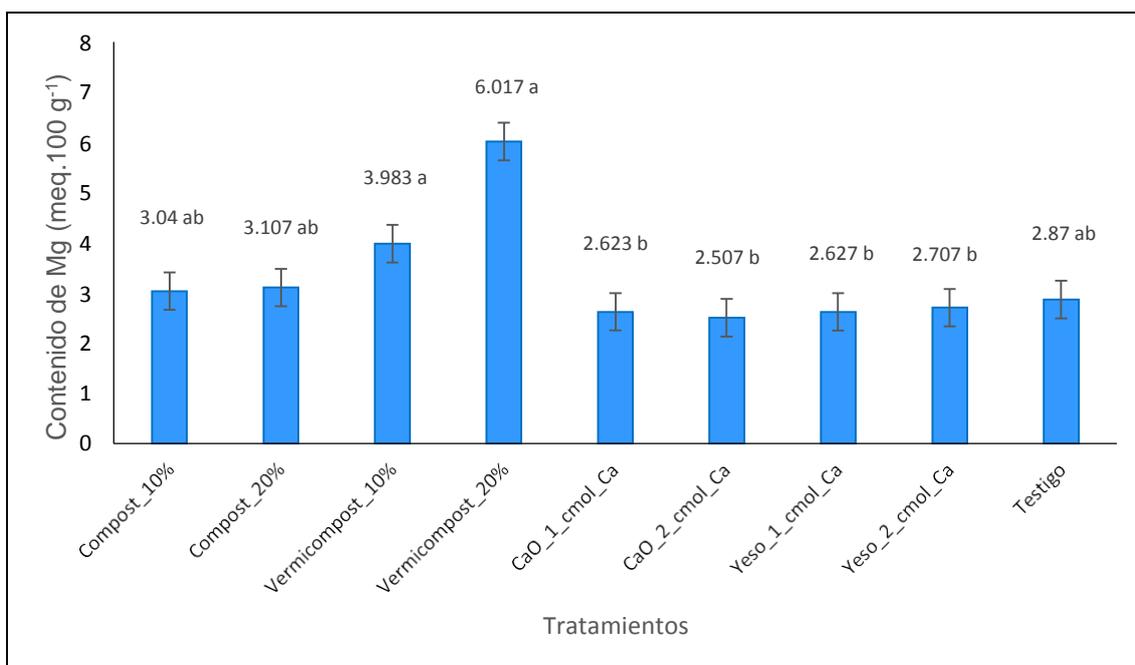
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 34. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de Mg cambiante en el suelo**

| <b>Tratamiento</b>           | <b>n</b> | <b>Media</b> | <b>D.E.</b> | <b>W*</b> | <b>p-valor</b> |
|------------------------------|----------|--------------|-------------|-----------|----------------|
| <b>T1: Compost_10 %</b>      | 3        | 3.040        | 0.375       | 0.999     | 0.9548         |
| <b>T2: Compost_20 %</b>      | 3        | 3.107        | 0.205       | 0.771     | 0.0440         |
| <b>T3: Vermicompost_10 %</b> | 3        | 3.893        | 0.289       | 0.971     | 0.6723         |
| <b>T4: Vermicompost_20 %</b> | 3        | 6.017        | 0.412       | 0.896     | 0.3716         |
| <b>T5: CaO_1_cmol_Ca</b>     | 3        | 2.623        | 0.225       | 0.913     | 0.4283         |
| <b>T6: CaO_2_cmol_Ca</b>     | 3        | 2.507        | 0.032       | 0.871     | 0.2962         |
| <b>T7: Yeso_1_cmol_Ca</b>    | 3        | 2.627        | 0.404       | 0.957     | 0.6003         |
| <b>T8: Yeso_2_cmol_Ca</b>    | 3        | 2.707        | 0.401       | 0.761     | 0.0233         |
| <b>T9: Testigo</b>           | 3        | 2.870        | 0.053       | 0.893     | 0.3614         |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos (T8 = 0,0233), se rechaza  $H_0$  y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 34. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis.



**Figura 11. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Mg cambiante en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.**

El efecto de las enmiendas orgánicas mostró significación estadística en el tratamiento con vermicompost al 20 % con un promedio de 6.017 meq Mg<sup>+2</sup>/100 g suelo, lo cual se debe a la acción de los ácidos orgánicos en favorecer la liberación del Mg del suelo e incrementar la adsorción en el complejo de cambio, de esa manera se incrementa el Mg cambiante, lo cual es favorable en el mejoramiento del suelo porque se presenta mayor almacenamiento de nutrientes como el magnesio y mayor disponibilidad para las plantas y organismos del suelo. Los datos se presentan en la Figura 11. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### **4.2.2.9 Contenido de potasio cambiante**

Los datos de la muestra se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

Tabla 35. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de K cambiabile en el suelo

| Tratamiento           | n | Media | D.E.  | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 1.087 | 0.093 | 0.938 | 0.5195  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 1.520 | 0.078 | 0.803 | 0.1234  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 0.977 | 0.047 | 0.907 | 0.4070  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 1.203 | 0.040 | 0.750 | <0.0001 |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 0.730 | 0.062 | 0.923 | 0.4628  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 0.677 | 0.025 | 0.987 | 0.7806  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 0.597 | 0.060 | 0.991 | 0.8231  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 0.667 | 0.064 | 0.750 | <0.0001 |
| T9: Testigo           | 3 | 0.667 | 0.035 | 0.993 | 0.8439  |

Fuente: Elaboración propia

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos (T8, T4), se rechaza  $H_0$  y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 35. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis.

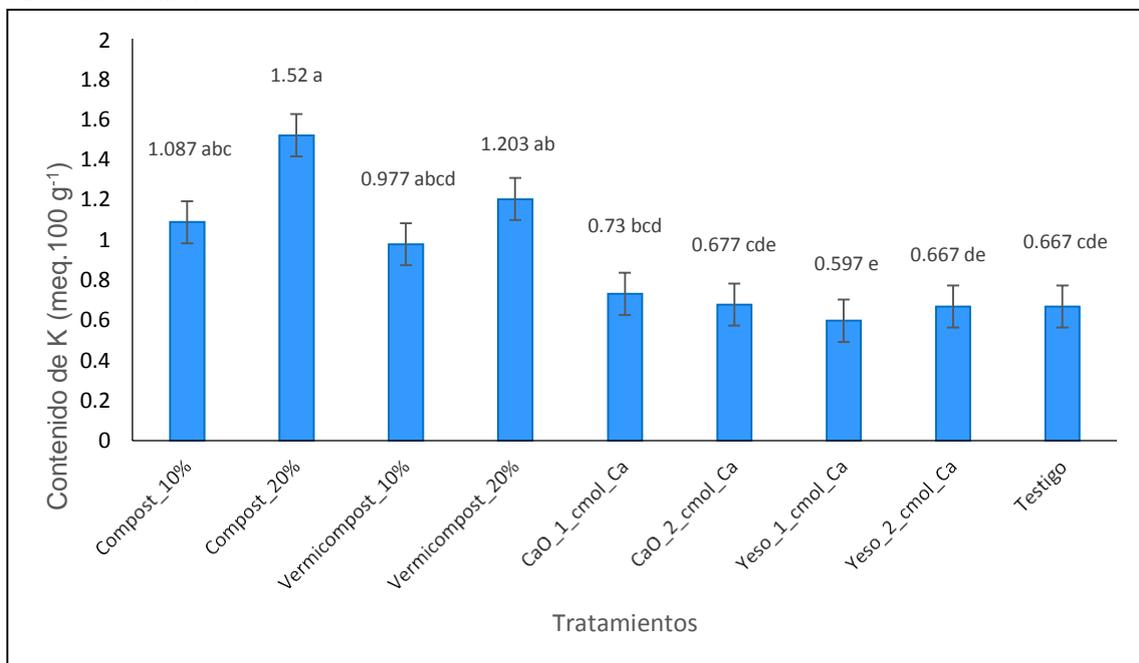


Figura 12. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de K cambiabile en el suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico.

El tratamiento con 20% de compost sobresalió significativamente en el contenido de potasio cambiabile con un promedio de 1.52 meq/100 g. La tendencia muestra que las enmiendas orgánicas tuvieron mayor contenido de potasio cambiabile respecto a las

enmiendas inorgánicas, lo cual se atribuye a la acción de los ácidos orgánicos sobre la liberación de potasio de las fuentes minerales, lo que incrementó el potasio cambiante; lo cual favorece en el mejoramiento del suelo, al incrementar la cantidad de este nutriente cambiante y su mayor disponibilidad para las plantas. Los datos se presentan en la Figura 12. Se comprobó la hipótesis planteada

#### 4.2.2.10 Contenido de sodio cambiante

Los datos de la muestra se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

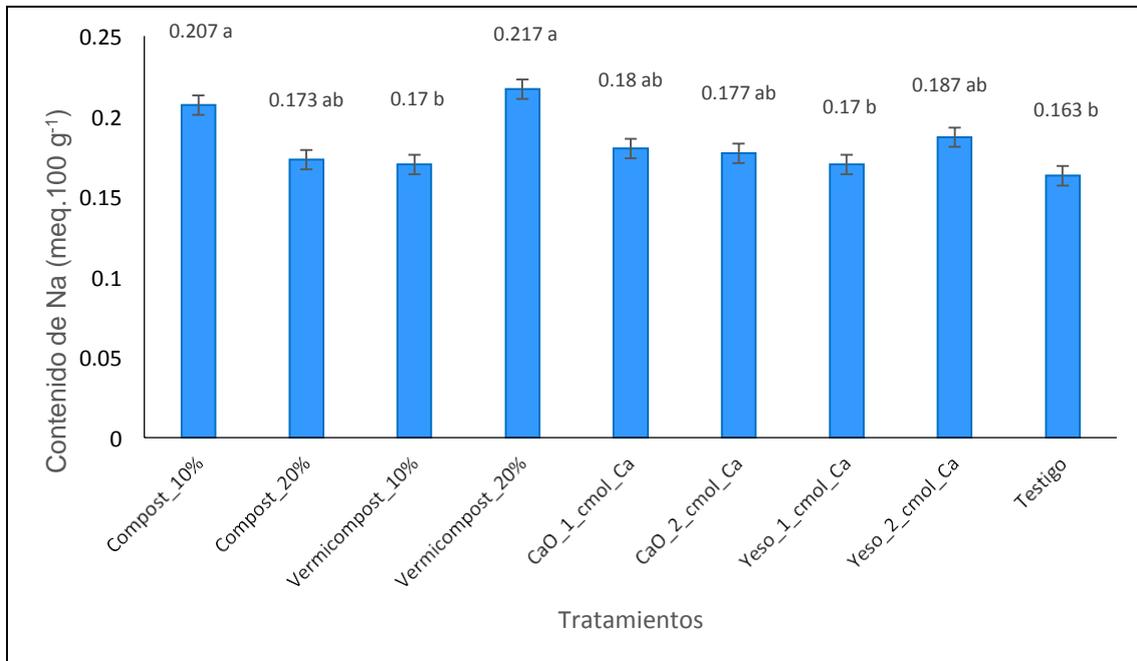
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 36. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para el contenido de Na cambiante en el suelo**

| Tratamiento           | n | Media | D.E.  | W*    | p-valor |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 0.207 | 0.021 | 0.923 | 0.4628  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 0.173 | 0.021 | 0.923 | 0.4628  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 0.170 | 0.000 | 0.157 | <0.0001 |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 0.217 | 0.015 | 0.964 | 0.6394  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 0.180 | 0.010 | 1.000 | >0.9999 |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 0.177 | 0.015 | 0.964 | 0.6394  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 0.170 | 0.000 | 0.157 | <0.0001 |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 0.187 | 0.032 | 0.871 | 0.2962  |
| T9: Testigo           | 3 | 0.163 | 0.012 | 0.750 | <0.0001 |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es menor que 0.05 en al, menos uno de los tratamientos (T3, T5, T7, T9), se rechaza Ho y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis. Los datos se presentan en la Tabla 36.



**Figura 13.** Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Na cambiante en el suelo. Las líneas al centro de las barras representan el error típico.

Los tratamientos con compost al 10 % y vermicompost al 20 % tuvieron los promedios más altos en Na cambiante, significativamente superiores a los demás tratamientos. Esto demuestra el efecto de las enmiendas orgánicas en incrementar la CIC del suelo e incrementar la retención de cationes cambiables. Los valores reportados son bajos y no causarán problemas de exceso de sodio en el suelo. Los datos se presentan en la Figura 13. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.11 Saturación de bases

Los datos de saturación de bases (SB) de la muestra, se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

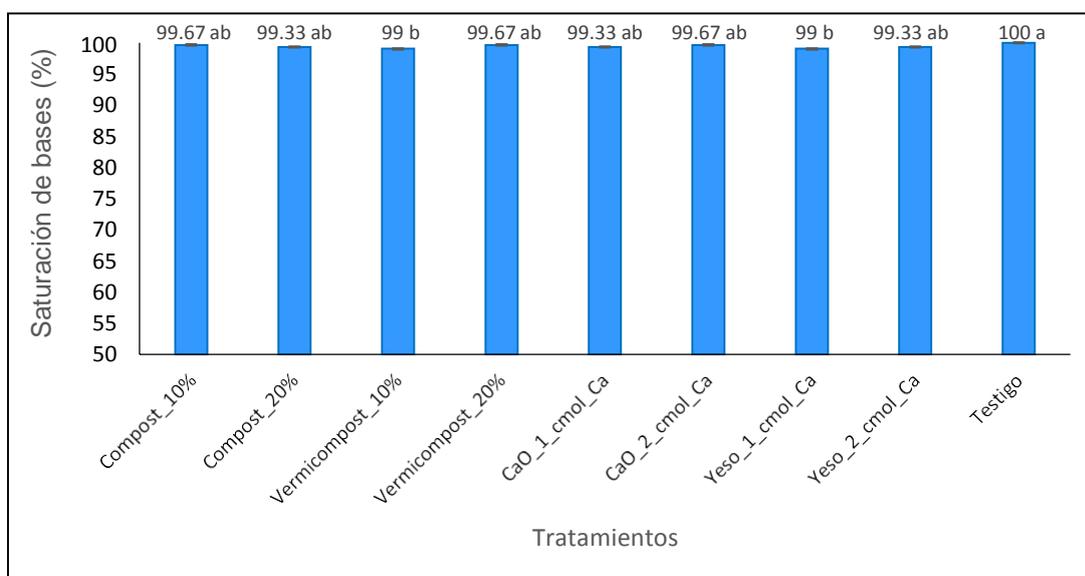
Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 37. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la SB del suelo**

| Tratamiento           | n | Media  | D.E. | W*   | p-valor |
|-----------------------|---|--------|------|------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 99.67  | 0.58 | 0.75 | <0.0001 |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 99.33  | 0.58 | 0.75 | <0.0001 |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 99.00  | 0.00 | sd   | >0.9999 |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 99.67  | 0.58 | 0.75 | <0.0001 |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 99.33  | 0.58 | 0.75 | <0.0001 |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 99.67  | 0.58 | 0.75 | <0.0001 |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 99.00  | 0.00 | sd   | >0.9999 |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 99.33  | 0.58 | 0.75 | <0.0001 |
| T9: Testigo           | 3 | 100.00 | 0.00 | sd   | >0.9999 |

**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 14. Prueba de Kruskal Wallis para la SB en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.**

Como p-valor es menor que 0.05 en la mayoría de tratamientos (T1, T2, T4, T5, T6, T7, T8), se rechazó  $H_0$  y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 37. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis.

Los tratamientos mostraron una relativa homogeneidad en la saturación de bases (%) del suelo, indicando el poco efecto de las enmiendas orgánicas e inorgánicas en esta propiedad química del suelo. Los datos fueron calculados en base a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), debido a que el método utilizado para determinar

la CIC fue el acetato de amonio 1 N a pH 7, lo cual sobre estima la CIC, debido al incremento de cargas variables. Los datos se presentan en la Figura 14. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.12 Acidez cambiabile

Los datos de acidez cambiabile (AC) de la muestra se analizaron para determinar si provienen de una población distribuida normalmente, para lo cual se aplicó la prueba de Shapiro Wilks. Se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

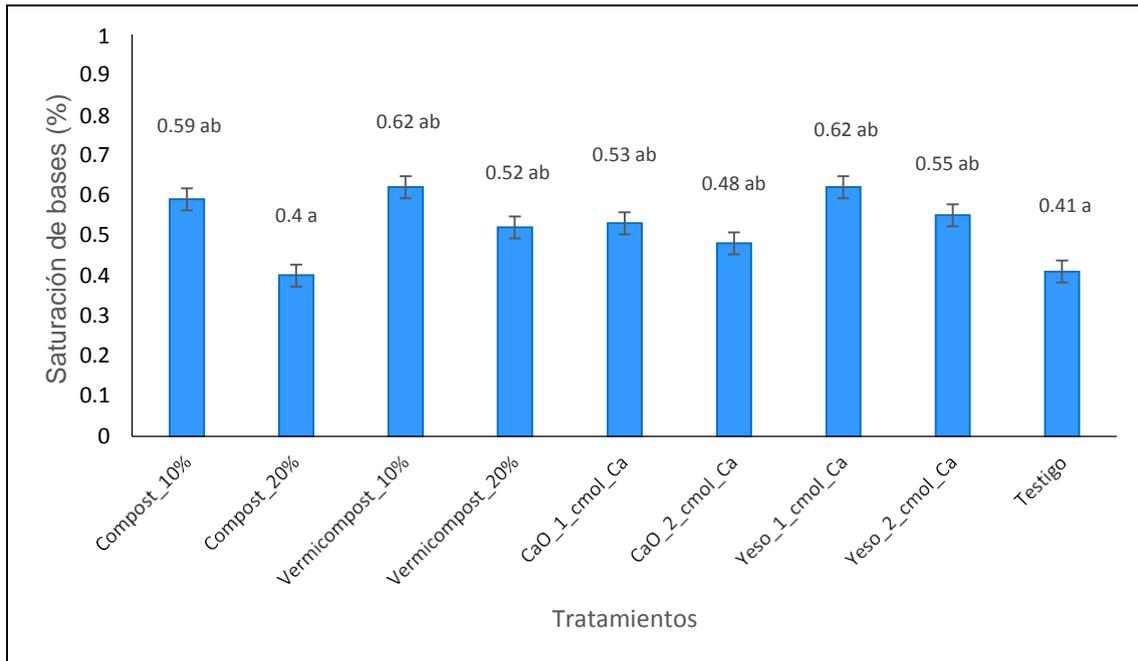
Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 38. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para la AC del suelo**

| Tratamiento           | N | Media | D.E. | W*   | p-valor |
|-----------------------|---|-------|------|------|---------|
| T1: Compost_10 %      | 3 | 0.59  | 0.31 | 0.76 | 0.0293  |
| T2: Compost_20 %      | 3 | 0.40  | 0.35 | 0.76 | 0.0266  |
| T3: Vermicompost_10 % | 3 | 0.62  | 0.03 | 0.87 | 0.2962  |
| T4: Vermicompost_20 % | 3 | 0.52  | 0.60 | 0.96 | 0.6161  |
| T5: CaO_1_cmol_Ca     | 3 | 0.53  | 0.11 | 0.86 | 0.2642  |
| T6: CaO_2_cmol_Ca     | 3 | 0.48  | 0.10 | 0.79 | 0.0946  |
| T7: Yeso_1_cmol_Ca    | 3 | 0.62  | 0.03 | 0.99 | 0.7806  |
| T8: Yeso_2_cmol_Ca    | 3 | 0.55  | 0.11 | 0.89 | 0.3410  |
| T9: Testigo           | 3 | 0.41  | 0.01 | 0.75 | <0.0001 |

**Fuente: Elaboración propia**

Como p-valor es menor que 0.05 en al menos uno de los tratamientos (T1, T2, T9), se rechazó Ho y se concluyó que los datos de la población no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la Tabla 38. Se procedió a desarrollar la prueba de Kruskal Wallis.



**Figura 15. Prueba de Kruskal Wallis para la AC en el suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico.**

El tratamiento con compost al 20 % y el testigo tuvieron la más baja AC, sobresaliendo significativamente respecto a los demás tratamientos. Se observa, que en general los promedios no tuvieron mayor variabilidad, indicando el poco efecto de las enmiendas orgánicas e inorgánicas en la AC del suelo. Los datos se presentan en la Figura 15. Se comprobó la hipótesis planteada.

#### 4.3 Discusión de resultados

Las enmiendas orgánicas disminuyeron la densidad aparente del suelo, siendo el tratamiento significativamente sobresaliente, el que se aplicó vermicompost al 20 %, con un valor promedio de  $0.75 \text{ Mg.m}^{-3}$ . El efecto se produce debido al incremento de volumen de suelo y de esa manera contribuye al mejoramiento del suelo. Los datos encontrados tienen similitud a lo reportado con la aplicación de biosólidos en suelos degradados, cuyos análisis de suelo demostraron una muy alta calidad de los suelos al final del periodo experimental (17), La diferencia específica es el tipo de material orgánico, pues en el trabajo que se reporta se utilizó biosólidos.

La porosidad total del suelo, considerada una propiedad clave en la restauración de suelos (23), fue incrementada hasta un promedio de 48,95 % respecto al testigo, debido al tratamiento de compost (20 %), demostrando su efecto en el mejoramiento del suelo cultivado con maca. Se tiene que enfatizar, que la mejora de porosidad, por efecto de enmiendas orgánicas puede ser temporal, pero en este trabajo esto contribuye al mejoramiento de suelos, por el uso de altas cantidades, lo cual se ha sugerido como una probable respuesta sostenible (19).

El pH del suelo, como propiedad química del suelo, se incrementó con el tratamiento de

vermicompost al 20 %, demostrando la mejora de propiedades químicas (36). Esta respuesta es de corto plazo, pero debido a la gran variabilidad natural, se debe enfocar la evaluación en variables a largo plazo (32).

El efecto de las enmiendas orgánicas, mostró su efecto de mantener baja la conductividad eléctrica (CE) del suelo, como lo fue el tratamiento con vermicompost al 20%. Este efecto se puede considerar mejoramiento (25), debido a que el suelo ensayado tiene baja CE y en general los tratamientos no excedieron los 4 dS.m<sup>-1</sup>, debido a la cantidad de precipitación pluvial que permite lixiviar las sales que se van formando en el suelo, favorecido por la presencia de la enmienda orgánica.

La cantidad de materia orgánica del suelo cultivado con maca, se incrementó significativamente con vermicompost al 20 %, respecto al testigo. Este resultado fue similar a la investigación de un suelo cultivado con arroz (18). En ese trabajo se concluyó que el uso combinado de yeso, compost y estiércol de lombriz (vermicompost) mejoró el suelo.

El contenido de nutrientes, P y K se incrementó por efecto de las enmiendas orgánicas, tanto vermicompost al 20 % (P), como compost al 20 % (K), respecto al testigo. Estos datos muestran el efecto en el mejoramiento del suelo cultivado con maca, donde se remueven entre 1760 kg (P) y 2000 kg (K) (13). Son las enmiendas orgánicas una alternativa para los suelos degradados, que además fija o incrementa el contenido de carbono en el suelo.

La CIC del suelo fue incrementada significativamente con la aplicación de vermicompost (20 %), respecto al tratamiento testigo, en forma similar que se reporta en la investigación sobre enmiendas orgánicas e inorgánicas para mejorar suelos degradados por el cultivo de arroz (18). Las diferencias estriban en los cultivos evaluados, pero se verificó la mejora de calidad del suelo. Esta propiedad del suelo es considerada clave en su mejoramiento (23).

Entre los cationes cambiabiles, se destaca significativamente el efecto del CaO (1 cmol/kg de suelo) en el incremento significativo, respecto al testigo. En el magnesio cambiabile sobresale significativamente el vermicompost al 20 %. En el potasio cambiabile sobresale el compost al 20 %. En el sodio cambiabile, sobresalieron significativamente el compost al 10 % y el vermicompost al 20 %. No se observó una tendencia clara del efecto de las enmiendas (orgánicas o inorgánicas) sobre los cationes cambiabiles. El sodio cambiabile no es nutriente y sus datos son bajos. Estos datos demuestran el mejoramiento del suelo cultivado con maca, donde se reporta que se extraen cantidades de 285 a 639 kg/ha de calcio cambiabile, pero con un reporte muy variable y complejo de movilización de magnesio, potasio y sodio (13).

La saturación de bases fue alta, mostrando pequeñas diferencias, pero significativas, respecto al control, que fue el tratamiento superior estadísticamente. Los valores

encontrados son considerados altos (Anexo 2), e indican que, incrementándose las otras propiedades físicas y químicas del suelo, se pueden mejorar los suelos cultivados con maca en Junín.

La acidez cambiante, propiedad química inversa a la CIC, mostró valores considerados bajos (Anexo 2) y se relacionan con lo reportado en la SB.

## CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp) en Carhumayo-2021, se determinó que las enmiendas orgánicas (compost al 20 % y vermicompost al 20 %) sobresalen con los mejores resultados haciendo efecto en el mejoramiento de suelos.
- Se evaluó el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades físicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo, de las cuales se obtuvo el mejor resultado del tratamiento con las enmiendas orgánicas compost al 20 % y vermicompost al 20 %, las cuales disminuyeron significativamente los parámetros de densidad con lo cual facilita el movimiento del agua, así como también el laboreo del suelo y porosidad del suelo, lo cual favorece el buen drenaje, laboreo de suelo y las actividades del microorganismo.
- Se evaluó el efecto de dos enmiendas orgánicas: compost y vermicompost, y dos enmiendas inorgánicas: cal y yeso agrícola, en las propiedades químicas de un suelo cultivado con maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en Carhuamayo se pudo observar que los mejores resultados del tratamiento se obtuvieron del compost al 20 % y del vermicompost al 20 % en el cual se incrementó significativamente el pH del suelo, materia orgánica, fósforo, capacidad de intercambio catiónico y magnesio cambiante; asimismo disminuyó la conductividad eléctrica, con estos resultados se puede deducir que con el vermicompost el suelo dedicado al cultivo de maca puede tener una alta tasa de crecimiento de materia orgánica, evitar el exceso de sales y así mismo favorece al incremento de nutrientes, mejorando la calidad del suelo.

## RECOMENDACIONES

1. Incluir en las evaluaciones de suelos cultivados con maca, las propiedades biológicas, como son la cantidad de organismos y la actividad microorgánica.
2. Evaluar otros suelos cultivados con maca en Carhuamayo con diferentes dosis de enmiendas orgánicas e inorgánicas, para validar los resultados obtenidos.
3. Evaluar las propiedades físicas y químicas de los suelos cultivados con maca con enmiendas orgánicas e inorgánicas en un periodo de tiempo de 6 meses.
4. Evaluar las propiedades físicas y químicas de suelos cultivados con maca con la aplicación de fertilizantes sintéticos.
5. Determinar la variación de los micronutrientes (cobalto, zinc, hierro, níquel, cobre, boro, cloro y manganeso) en suelos cultivados con maca.
6. Realizar estudios en suelos cultivados con maca en periodos de 1 año , 2 año y 4 años para realizar comparaciones de los resultados obtenidos en relación a las propiedades físicas y químicas del suelo.
7. Realizar estudios de suelos cultivados con maca en diferentes estaciones de año (invierno, verano, otoño y primavera).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PERMACULTURE RESEARCH INSTITUTE. How Do You Restore Degraded Soil? Permaculture News. [En línea] 13 de Octubre de 2016. [Citado el: 17 de Octubre de 2021.] <https://www.permaculturenews.org/2016/10/13/restore-degraded-soil/>.
2. ECO FARMING DAILY. SOIL RESTORATION: 5 CORE PRINCIPLES. EcoFarmingDaily . [En línea] Octubre de 2017. [Citado el: 17 de Octubre de 2021.] <https://www.ecofarmingdaily.com/build-soil/soil-restoration-5-core-principles/>.
3. LAL, R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. Sustentabilidad 2015 , 7 (5), 5875-5895. [En línea] 13 de Mayo de 2015. [Citado el: 17 de Octubre de 2021.] <https://doi.org/10.3390/su7055875>.
4. ABBOTT, L. K. y MURPHY, D. V. Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture. London : Kluwer Academic Publishers, 2003. ISBN 1- 4020 - 1756-1.
5. ABIVEN, S., MENASSERI, S. y CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. [En línea] January de 2009. [Citado el: 17 de Octubre de 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071708003234?via%3Dihub>.
6. ALIAGA, R. RAICES ANDINAS Contribuciones al conocimiento y a la capacitación V. Maca (*Lepidium meyenii*). Lima : Universidad Agraria La Molina.
7. TAPIA, M. E. y FRIES, A. M. Guía de Campo de los cultivos andinos FAO y ANPE. Lima : s.n., 2007. ISBN 978-92-5-305682-8.
8. FLYNN, R. , BALL, S. T. y Baker, R. D. Sampling for Plant Tissue Analysis. Mexico : Cooperative Extension Service College of Agriculture and Home Economics, 1999.
9. GARCÍA, A. Degradación de la fertilidad integral del suelo. En: Seminario nacional de los suelos en Colombia. El suelo importante recursos para la. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2009.
10. RATTIN, J. Utilización de enmiendas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina : s.n., 2018.
11. WEIL , R. R. y BRADY, N. C. The nature and properties of soils. s.l. : Fifteenth edition. Pearson, 2017.
12. MIRSAL, I. Contaminación del suelo: origen, monitoreo y remediación. s.l.: Springer Science & Business Media, 2008. ISBN 3540707751, 9783540707752.
13. CHARAJA Q., E. Variación de N, P, K y cationes cambiables en tres suelos de Puno, por efecto del cultivo de maca (*Lepidium meyenii* Walp.). Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae. Puno : s.n., 2008.
14. PONCE ESCOBAL, R. Aplicación de enmiendas para la recuperación de suelos degradados y efecto en el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*) en la microcuenca del Monzón. Tingo Maria : s.n., 2020.
15. GUTIERREZ YAPU, W.R. Comportamiento agronómico del cultivo de la maca (*Lepidium meyenii*), con la aplicación de fertilizantes orgánicos foliares a diferentes densidades de siembra, en la provincia Ingavi – La Paz. La Paz, Bolivia : s.n., 2007.

- 16.** MATIAS ROMERO, C. Estado degradación/recuperación de suelos agrícolas en el departamento Tercero Arriba (Córdova). Córdova : s.n., 2014.
- 17.** BERMUDEZ LOPEZ, A. Restauración de suelos degradados mediante la aplicación de biosólido producido en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre en Bogotá D.C. Bogota : s.n., 2013.
- 18.** SUCLUPE, M. J. y otros. Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. Trujillo : s.n., 2018. <http://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldao.251.25109>.
- 19.** CUEVAS, B. J. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. Temuco : s.n., 2006. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912006000200001>.
- 20.** CALDERÓN, A. y CÁCERES C. Producción de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) en condiciones de invernadero usando guano fermentado y pgprs bajo dos sistemas de cultivo en San Pedro de Cajas – Junín, Perú.. Lima : s.n., 2018. ISSN 1726-2216.
- 21.** BASTIDA, F, y otros. Restauración de suelos con enmiendas orgánicas: vinculando la funcionalidad celular y los procesos ecosistémicos. 2015. <https://doi.org/10.1038/srep15550>.
- 22.** BASTIDAS, F, y otros Role of amendments on N cycling in Mediterranean abandoned semiarid soils.. 2009, Vol. 41.
- 23.** ARANGO OROZCO, M. J. Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos. Caldas –Antioquia : s.n., 2017.
- 24.** Lal, R. y STEWART, BA . Research and Development Priorities for Soil Restoration . Nueva York : s.n., 1992. ISBN 978-1-4612-2820-2.
- 25.** ROOSE, É. Restauration de la productivité des sols tropicaux. 2017.
- 26.** LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. 2015. Doi: 10.3390/su7055875.
- 27.** XIA, H.P. Ecological rehabilitation and phytoremediation with four grasses in oil shale mined land. 2004, Vol. 54. ISSN 0045-6535.
- 28.** LONGHURST, R. D. , O'CONNOR, M. B. y TOXOPEUS, M. R. J. Pasture establishment and fertiliser requirements on rehabilitated land after opencast coal mining in New Zealand. . New Zealand : s.n., 1999. ISSN: 0028-8233.
- 29.** CALLAHAM, M, RHOADES, C.R y HENEGHAN, L. A. A Striking Profile: Soil Ecological Knowledge in Restoration Management and Science. . s.l. : Restoration Ecology, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00490.x>.
- 30.** CLEWELL, A. Restoration of Riverine Forest at Hall Branch on Phosphate-Mined Land, Florida. F. Florida : s.n., 1999.
- 31.** HENEGHAN, L., y otros. Integrating Soil Ecological Knowledge into Restoration Management.. 4, s.l. : Restoration Ecology, 2008, Vol. 16.
- 32.** CARPINTERO, Stephen R. C y Turner , Mónica G. Liebres y tortugas: interacciones de variables rápidas y lentas en los ecosistemas. 2000. <https://doi.org/10.1007/s100210000043>.

33. TEJADA TAFURCO, J. Rendimiento y Calidad: Uso de enmiendas Orgánicas.
34. MENDOZA, D. Uso de vermicomposts y compost de residuos hortícolas como componentes de sustratos para propagación de plantas mediante estaquillado. Madrid : s.n., 2010. , Actas de las II Jornadas de la Red Española, pp. 1-8.
35. WALLACE, A. y TERRY, R.E. Introduction: Soil conditioners, soil quality and soil sustainability. Nueva York.: s.n., 1998.
36. COOPERBAND, L. Building Soil Organic with Organic Amendments. A resource for urban and rural gardeners, small farmers, turfgrass managers and large – scale producers. Center for Integrated Agricultural Systems. Madison. : s.n., 2002.
37. TAN, K.H. Environmental Science. Nueva York. : s.n., 1994.
38. MENDOZA HERNANDEZ, D. Vermicompost y compost de residuos hortícolas como componentes de sustratos para la producción de planta ornamental y aromática. Caracterización de los materiales y respuesta vegetal. Valencia : s.n., 2010.
39. NOGALES, R, DOMINGUEZ, J y MATO, S. Vermicompostaje. Madrid : Mundi-Prensa, 2008.
40. EDWARDS , C.A y ARANCON, N.Q. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes to produce. Boca Raton, Florida: Earthworms Ecology, 2004.
41. LAZCANO, C, GÓMEZ – BRANDON, M y DOMINGUEZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. 2008.
42. ROMAN, P, MARTINEZ, M.M. y PANTOJA, A. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. s.l. : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO, 2013.
43. OZORES – HAMPTON, MÉNDEZ, J. Uso de biosólidos en producción de hortalizas. 2014.
44. ESPINOZA, J y MOLINA, E. Acidez y encalado de los suelos. s.l. : International Plant Nutrition Institute, 1999.
45. MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutricao da planta – perguntas e respostas. s.l. : Memorias del II Seminario sobre o Uso do Gesso na agricultura, Instituto Brasileiro do Fosfato, 1992.
46. MONTARANELLA, L, SCHOLE, R y BRAINICH, A. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. IPBES. 2018.
47. QUICENO, Y. Método crítico de Karl Popper: La Falsabilidad como criterio de demarcación entre la ciencia y la metafísica. [En línea] [Citado el: 28 de Enero de 2020.] file:///C:/Users/Admin/Downloads/Postura%20de%20%20Karl%20Popper.pdf. s/n.
48. ARROYO A., J. ¿Cómo ejecutar un plan de investigación?. Pasos para investigar científicamente hechos o fenómenos. Fundación para el desarrollo y aplicación de las ciencias. ARROYO A., J. 2012.
49. STEEL, R.G.D y TORRIE, J.H. Bioestadística: principios y procedimientos. Segunda edición. McGraw – Hill

# ANEXOS

## Anexo 1. Resultados originales de análisis de muestras



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 : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO

Departamento : JUNIN

Distrito : CARHUAMAYO

Referencia : H.R. 73969-023C-21

Bolt: 4494

Provincia : JUNIN

Predio :

Fecha : 25/03/2021

| Lab  | Claves | pH<br>(1:1) | C.E.<br>(1:1)<br>dS/m | CaCO <sub>3</sub><br>% | M.O.<br>% | P<br>ppm | K<br>ppm | Análisis Mecánico |           |              | Clase<br>Textural | CIC   | Cationes Cambiables |                  |                |                 |                                   | Suma<br>de<br>Cationes | Suma<br>de<br>Bases | %<br>Sat. De<br>Bases |
|------|--------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
|      |        |             |                       |                        |           |          |          | Arena<br>%        | Limo<br>% | Arcilla<br>% |                   |       | Ca <sup>2+</sup>    | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> |                        |                     |                       |
| 1650 |        | 5.70        | 0.24                  | 0.00                   | 10.34     | 8.7      | 249      | 54                | 26        | 20           | Fr Ar A           | 31.20 | 21.83               | 3.20             | 0.72           | 0.35            | 0.10                              | 26.20                  | 26.10               | 84                    |

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



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

### METODOS SEGUIDOS EN EL ANALISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
3. PH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
4. Calcareo total (CaCO<sub>3</sub>): método gaso-volumétrico utilizando un calcimetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono Orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %C x 1.724.
6. Nitrogeno total: método del micro Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO<sub>3</sub>-0.05M, pH 8.5.
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COONH<sub>4</sub>), pH 7.0.
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COOH), pH 7.0.
10. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COONH<sub>4</sub>); pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
11. Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>: método de Yuan. Extracción con KCl. N
12. Iones solubles:
  - a) Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
  - b) Cl, Co<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> solubles: volumetría y colorimetría. SO<sub>4</sub> turbidimetría con cloruro de Bario.
  - c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
  - d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:  
1 ppm = 1 mg/kilogramo  
1 milimho (mmho/cm) = 1 decisiemens/metro  
1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+) / kg  
Sales solubles totales (TDS) en ppm c mg/kg = 640 x CEes  
CE (1:1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

### TABLA DE INTERPRETACION

| Salinidad               |        | Materia Orgánica | Fósforo disponible | Potasio disponible | Relaciones Catiónicas |           |       |
|-------------------------|--------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------|-------|
| Clasificación del Suelo | CE(es) | %                | ppm P              | ppm K              | Clasificación         | K/Mg      | Ca/Mg |
| *muy ligeramente salino | <2     | <2.0             | <7.0               | <100               | *Normal               | 0.2 - 0.3 | 5 - 9 |
| *ligeramente salino     | 2 - 4  | *medio           | 7.0 - 14.0         | 100 - 240          | *defc. Mg             | >0.5      |       |
| *moderadamente salino   | 4 - 8  | *alto            | >14.0              | >240               | *defc. K              | >0.2      |       |
| *fuertemente salino     | >8     |                  |                    |                    | *defc. Mg             |           | >10   |

| Reacción o pH           |           | CLASES TEXTURALES     |                                   | Distribución de Cationes % |   |
|-------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|---|
| Clasificación del Suelo | pH        | A = arena             | Fr.Ar.A = franco arcillo arenoso  | Ca <sup>2+</sup>           | = |
| *fuertemente ácido      | <5.5      | A.Fr = arena franca   | Fr.Ar = franco arcilloso          | mg <sup>-2</sup>           | = |
| *moderadamente ácido    | 5.6 - 6.0 | Fr.A = franco arenoso | Fr.Ar.L = franco arcilloso limoso | K <sup>+</sup>             | = |
| *ligeramente ácido      | 6.1 - 6.5 | Fr. = franco          | Ar.A = arcilloso arenoso          | K <sup>+</sup>             | = |
| *neutro                 | 6.6 - 7.0 | Fr.L = franco limoso  | Ar.L = arcilloso limoso           | Na <sup>+</sup>            | = |
| *ligeramente alcalino   | 7.1 - 7.8 | L = limoso            | Ar. = arcilloso                   |                            |   |
| *moderadamente alcalino | 7.9 - 8.4 |                       |                                   |                            |   |
| *fuertemente alcalino   | >8.5      |                       |                                   |                            |   |



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ JUNÍN/ CARHUAMAYO  
MUESTRA DE : VERMICOMPOST  
REFERENCIA : H.R. 73971  
BOLETA : 4494  
FECHA : 01/04/2021

| Nº LAB | CLAVES | pH   | C.E.<br>dS/m | M.O.<br>% | N<br>% | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>% | K <sub>2</sub> O<br>% |
|--------|--------|------|--------------|-----------|--------|------------------------------------|-----------------------|
| 131    | -      | 6.52 | 3.68         | 37.98     | 2.86   | 3.01                               | 0.93                  |

| Nº LAB | CLAVES | CaO<br>% | MgO<br>% | Hd<br>% | Na<br>% |
|--------|--------|----------|----------|---------|---------|
| 131    | -      | 4.59     | 0.85     | 64.83   | 0.04    |

| Nº LAB | CLAVES | Fe<br>ppm | Cu<br>ppm | Zn<br>ppm | Mn<br>ppm | B<br>ppm |
|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 131    | -      | 6400      | 41        | 140       | 686       | 39       |



*B. La Torre*  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ JUNÍN/ CARHUAMAYO  
MUESTRA DE : COMPOST  
REFERENCIA : H.R. 73970  
BOLETA : 4494  
FECHA : 01/04/2021

| N° LAB | CLAVES | pH   | C.E.<br>dS/m | M.O.<br>% | N<br>% | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>% | K <sub>2</sub> O<br>% |
|--------|--------|------|--------------|-----------|--------|------------------------------------|-----------------------|
| 130    | -      | 6.00 | 3.61         | 27.57     | 1.10   | 1.39                               | 0.99                  |

| N° LAB | CLAVES | CaO<br>% | MgO<br>% | Hd<br>% | Na<br>% |
|--------|--------|----------|----------|---------|---------|
| 130    | -      | 2.32     | 0.79     | 24.18   | 0.04    |

| N° LAB | CLAVES | Fe<br>ppm | Cu<br>ppm | Zn<br>ppm | Mn<br>ppm | B<br>ppm |
|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 130    | -      | 17270     | 62        | 87        | 1835      | 44       |



*Br. Brulio La Torre Martínez*  
Ing. Brulio La Torre Martínez  
Jefe de 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 : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO

Departamento : JUNIN  
Distrito : CARHUAMAYO  
Referencia : H.R. 74085-029C-21

Bolt.: 4519

Provincia : JUNIN  
Predio :  
Fecha : 07/05/2021

| Lab  | Número de Muestra<br>Claves | pH<br>(1:1) | C.E.<br>(1:1)<br>dS/m | CaCO <sub>3</sub><br>% | M.O.<br>% | P<br>ppm | K<br>ppm | Análisis Mecánico |           |              | Clase<br>Textural | CIC   | Cationes Cambiables |                  |                |                 |                                   | Suma<br>de<br>Cationes | Suma<br>de<br>Bases | %<br>Sat. De<br>Bases |
|------|-----------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
|      |                             |             |                       |                        |           |          |          | Arena<br>%        | Limo<br>% | Arcilla<br>% |                   |       | Ca <sup>2+</sup>    | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> |                        |                     |                       |
| 2582 | Compost 10%, C1-R1          | 5.69        | 0.66                  | 0.00                   | 9.27      | 12.8     | 490      | 44                | 28        | 28           | Fr.Ar.            | 11.68 | 6.06                | 3.03             | 1.06           | 0.23            | 0.10                              | 10.48                  | 10.38               | 89                    |
| 2583 | Compost 10%, C1-R2          | 5.65        | 0.17                  | 0.00                   | 9.75      | 11.3     | 514      | 50                | 24        | 26           | Fr.Ar.A           | 27.20 | 20.24               | 2.67             | 1.01           | 0.19            | 0.10                              | 24.20                  | 24.10               | 89                    |
| 2584 | Compost 10%, C1-R3          | 5.76        | 1.31                  | 0.00                   | 9.75      | 10.2     | 527      | 42                | 28        | 30           | Fr.Ar.            | 28.00 | 20.09               | 3.42             | 1.19           | 0.20            | 0.10                              | 25.00                  | 24.90               | 89                    |
| 2585 | Compost 20%, C1-R1          | 6.00        | 1.43                  | 0.00                   | 9.41      | 19.9     | 792      | 50                | 28        | 22           | Fr.               | 27.68 | 20.66               | 3.23             | 1.61           | 0.18            | 0.00                              | 25.68                  | 25.68               | 93                    |
| 2586 | Compost 20%, C1-R2          | 5.84        | 1.02                  | 0.00                   | 10.23     | 16.8     | 690      | 60                | 26        | 14           | Fr.A.             | 27.20 | 19.70               | 3.22             | 1.48           | 0.15            | 0.15                              | 24.70                  | 24.55               | 90                    |
| 2587 | Compost 20%, C1-R3          | 5.76        | 0.92                  | 0.00                   | 9.55      | 20.9     | 676      | 64                | 22        | 14           | Fr.A.             | 27.36 | 20.19               | 2.87             | 1.47           | 0.19            | 0.15                              | 24.86                  | 24.71               | 90                    |
| 2588 | Vermicompost 10%, VC1-R1    | 5.72        | 0.59                  | 0.00                   | 9.82      | 57.1     | 493      | 58                | 26        | 16           | Fr.A.             | 28.00 | 20.14               | 3.58             | 0.96           | 0.17            | 0.15                              | 25.00                  | 24.85               | 89                    |
| 2589 | Vermicompost 10%, VC1-R2    | 5.68        | 0.87                  | 0.00                   | 9.82      | 61.5     | 504      | 62                | 24        | 14           | Fr.A.             | 25.60 | 17.19               | 4.15             | 0.94           | 0.17            | 0.15                              | 22.60                  | 22.45               | 88                    |
| 2590 | Vermicompost 10%, VC1-R3    | 5.72        | 0.68                  | 0.00                   | 9.75      | 62.3     | 512      | 54                | 26        | 20           | Fr.Ar.A           | 27.52 | 19.22               | 3.95             | 1.03           | 0.17            | 0.15                              | 24.62                  | 24.37               | 89                    |
| 2591 | Vermicompost 20%, VC2-R1    | 6.12        | 0.44                  | 0.00                   | 11.04     | 122.2    | 572      | 56                | 24        | 20           | Fr.Ar.A           | 28.00 | 18.06               | 6.17             | 1.25           | 0.22            | 0.00                              | 25.70                  | 25.70               | 92                    |
| 2592 | Vermicompost 20%, VC2-R2    | 5.88        | 0.31                  | 0.00                   | 11.45     | 113.3    | 572      | 60                | 22        | 18           | Fr.A.             | 28.64 | 18.38               | 5.55             | 1.18           | 0.23            | 0.30                              | 25.64                  | 25.34               | 88                    |
| 2593 | Vermicompost 20%, VC2-R3    | 5.80        | 0.78                  | 0.00                   | 11.04     | 96.1     | 567      | 66                | 22        | 12           | Fr.A.             | 29.60 | 18.48               | 6.33             | 1.18           | 0.20            | 0.10                              | 26.30                  | 26.20               | 89                    |

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



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



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 : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO

Departamento : JUNIN  
Distrito : CARHUAMAYO  
Referencia : H.R. 74085-029C-21

Bolt.: 4519

Provincia : JUNIN  
Predio :  
Fecha : 07/05/2021

| Lab  | Número de Muestra<br>Claves                      | pH<br>(1:1) | C.E.<br>(1:1)<br>dS/m | CaCO <sub>3</sub><br>% | M.O.<br>% | P<br>ppm | K<br>ppm | Análisis Mecánico |           |              | Clase<br>Textural | CIC   | Cationes Cambiables |                  |                |                 |                                   | Suma<br>de<br>Cationes | Suma<br>de<br>Bases | %<br>Sat. De<br>Bases |
|------|--------------------------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
|      |                                                  |             |                       |                        |           |          |          | Arena<br>%        | Limo<br>% | Arcilla<br>% |                   |       | Ca <sup>2+</sup>    | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> |                        |                     |                       |
| 2594 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X1), Ca 01-R1 | 5.44        | 0.80                  | 0.00                   | 9.82      | 2.3      | 263      | 62                | 22        | 16           | Fr.A.             | 28.16 | 21.14               | 2.37             | 0.68           | 0.17            | 0.10                              | 24.46                  | 24.36               | 87                    |
| 2595 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X1), Ca 01-R2 | 5.20        | 0.75                  | 0.00                   | 10.50     | 1.9      | 267      | 44                | 28        | 28           | Fr.Ar.            | 29.28 | 22.04               | 2.70             | 0.71           | 0.18            | 0.15                              | 25.78                  | 25.63               | 88                    |
| 2596 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X1), Ca 01-R3 | 5.28        | 1.01                  | 0.00                   | 9.89      | 3.6      | 261      | 42                | 30        | 28           | Fr.Ar.            | 28.00 | 20.66               | 2.80             | 0.80           | 0.19            | 0.15                              | 24.60                  | 24.45               | 87                    |
| 2597 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X2), Ca 02-R1 | 5.36        | 0.95                  | 0.00                   | 9.07      | 3.8      | 265      | 46                | 26        | 28           | Fr.Ar.A           | 28.16 | 21.60               | 2.53             | 0.70           | 0.18            | 0.15                              | 25.16                  | 25.01               | 89                    |
| 2598 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X2), Ca 02-R2 | 5.48        | 1.06                  | 0.00                   | 10.23     | 3.6      | 301      | 60                | 24        | 16           | Fr.A.             | 26.72 | 20.28               | 2.47             | 0.68           | 0.19            | 0.10                              | 23.72                  | 23.62               | 88                    |
| 2599 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X2), Ca 02-R3 | 5.52        | 0.97                  | 0.00                   | 10.02     | 3.5      | 255      | 60                | 22        | 18           | Fr.A.             | 26.08 | 19.66               | 2.52             | 0.65           | 0.16            | 0.10                              | 23.08                  | 22.98               | 88                    |

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



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**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 : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO

Departamento : JUNIN  
 Distrito : CARHUAMAYO  
 Referencia : H.R. 74085-029C-21

Bolt.: 4519

Provincia : JUNIN  
 Predio :  
 Fecha : 07/05/2021

| Lab  | Número de Muestra<br>Claves                  | pH<br>(1:1) | C.E.<br>(1:1)<br>dS/m | CaCO <sub>3</sub><br>% | M.O.<br>% | P<br>ppm | K<br>ppm | Análisis Mecánico |           |              | Clase<br>Textural | CIC   | Cationes Cambiables |                  |                |                 |                                   | Suma<br>de<br>Cationes | Suma<br>de<br>Bases | %<br>Sat De<br>Bases |
|------|----------------------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
|      |                                              |             |                       |                        |           |          |          | Arena<br>%        | Limo<br>% | Arcilla<br>% |                   |       | Ca <sup>+2</sup>    | Mg <sup>+2</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup> |                        |                     |                      |
| 2600 | Yeso Agrícola (acidez cambiabile X1), YA1-R1 | 5.20        | 1.14                  | 0.00                   | 10.70     | 2.7      | 252      | 62                | 22        | 16           | Fr.A.             | 27.04 | 19.85               | 2.28             | 0.59           | 0.17            | 0.15                              | 23.04                  | 22.89               | 85                   |
| 2601 | Yeso Agrícola (acidez cambiabile X1), YA1-R2 | 5.21        | 0.72                  | 0.00                   | 10.56     | 3.1      | 276      | 50                | 24        | 26           | Fr.Ar.A.          | 28.80 | 20.76               | 3.07             | 0.66           | 0.17            | 0.15                              | 24.80                  | 24.65               | 86                   |
| 2602 | Yeso Agrícola (acidez cambiabile X1), YA1-R3 | 5.20        | 0.68                  | 0.00                   | 10.90     | 4.0      | 283      | 48                | 26        | 26           | Fr.Ar.A.          | 28.16 | 20.77               | 2.53             | 0.54           | 0.17            | 0.15                              | 24.16                  | 24.01               | 85                   |
| 2603 | Yeso Agrícola (acidez cambiabile X1), YA2-R1 | 5.24        | 1.38                  | 0.00                   | 10.90     | 2.8      | 259      | 50                | 26        | 24           | Fr.Ar.A.          | 28.00 | 20.60               | 2.47             | 0.63           | 0.15            | 0.15                              | 24.00                  | 23.85               | 85                   |
| 2604 | Yeso Agrícola (acidez cambiabile X1), YA2-R2 | 5.28        | 0.90                  | 0.00                   | 11.04     | 3.7      | 289      | 44                | 28        | 28           | Fr.Ar.            | 29.60 | 21.34               | 3.17             | 0.74           | 0.21            | 0.15                              | 25.60                  | 25.45               | 86                   |
| 2605 | Yeso Agrícola (acidez cambiabile X1), YA2-R3 | 5.20        | 0.50                  | 0.00                   | 10.77     | 4.0      | 260      | 48                | 28        | 24           | Fr.               | 28.00 | 20.59               | 2.48             | 0.63           | 0.20            | 0.10                              | 24.00                  | 23.90               | 85                   |

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



*B. La Torre*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**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 : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO

Departamento : JUNIN  
 Distrito : CARHUAMAYO  
 Referencia : H.R. 74085-029C-21

Bolt.: 4519

Provincia : JUNIN  
 Predio :  
 Fecha : 07/05/2021

| Lab  | Número de Muestra<br>Claves                      | pH<br>(1:1) | C.E.<br>(1:1)<br>dS/m | CaCO <sub>3</sub><br>% | M.O.<br>% | P<br>ppm | K<br>ppm | Análisis Mecánico |           |              | Clase<br>Textural | CIC   | Cationes Cambiables |                  |                |                 |                                   | Suma<br>de<br>Cationes | Suma<br>de<br>Bases | %<br>Sat De<br>Bases |
|------|--------------------------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
|      |                                                  |             |                       |                        |           |          |          | Arena<br>%        | Limo<br>% | Arcilla<br>% |                   |       | Ca <sup>+2</sup>    | Mg <sup>+2</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup> |                        |                     |                      |
| 2594 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X1), Ca 01-R1 | 5.44        | 0.80                  | 0.00                   | 9.82      | 2.3      | 263      | 62                | 22        | 16           | Fr.A.             | 28.16 | 21.14               | 2.37             | 0.68           | 0.17            | 0.10                              | 24.46                  | 24.36               | 87                   |
| 2595 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X1), Ca 01-R2 | 5.20        | 0.75                  | 0.00                   | 10.50     | 1.9      | 267      | 44                | 28        | 28           | Fr.Ar.            | 29.28 | 22.04               | 2.70             | 0.71           | 0.18            | 0.15                              | 25.78                  | 25.63               | 88                   |
| 2596 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X1), Ca 01-R3 | 5.28        | 1.01                  | 0.00                   | 9.89      | 3.6      | 261      | 42                | 30        | 28           | Fr.Ar.            | 28.00 | 20.66               | 2.80             | 0.80           | 0.19            | 0.15                              | 24.60                  | 24.45               | 87                   |
| 2597 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X2), Ca 02-R1 | 5.36        | 0.95                  | 0.00                   | 9.07      | 3.8      | 265      | 46                | 26        | 28           | Fr.Ar.A.          | 28.16 | 21.60               | 2.53             | 0.70           | 0.18            | 0.15                              | 25.16                  | 25.01               | 89                   |
| 2598 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X2), Ca 02-R2 | 5.48        | 1.06                  | 0.00                   | 10.23     | 3.6      | 301      | 60                | 24        | 16           | Fr.A.             | 26.72 | 20.28               | 2.47             | 0.68           | 0.19            | 0.10                              | 23.72                  | 23.62               | 88                   |
| 2599 | Oxido de calcio (acidez cambiabile X2), Ca 02-R3 | 5.52        | 0.97                  | 0.00                   | 10.02     | 3.5      | 255      | 60                | 22        | 18           | Fr.A.             | 26.08 | 19.66               | 2.52             | 0.65           | 0.16            | 0.10                              | 23.08                  | 22.98               | 88                   |

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



*B. La Torre*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**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 : JOHNNY NILSON OMONTE ARZAPALO

Departamento : JUNIN  
 Distrito : CARHUAMAYO  
 Referencia : H.R. 74085-029C-21

Bolt.: 4519

Provincia : JUNIN  
 Predio :  
 Fecha : 07/05/2021

| Lab  | Número de Muestra<br>Claves | pH<br>(1:1) | C.E.<br>(1:1)<br>dS/m | CaCO <sub>3</sub><br>% | M.O.<br>% | P<br>ppm | K<br>ppm | Análisis Mecánico |           |              | Clase<br>Textural | CIC   | Cationes Cambiables |                  |                |                 |                                   | Suma<br>de<br>Cationes | Suma<br>de<br>Bases | %<br>Sat De<br>Bases |
|------|-----------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
|      |                             |             |                       |                        |           |          |          | Arena<br>%        | Limo<br>% | Arcilla<br>% |                   |       | Ca <sup>+2</sup>    | Mg <sup>+2</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup> |                        |                     |                      |
| 2606 | Testigo 1                   | 5.44        | 0.51                  | 0.00                   | 10.50     | 3.8      | 286      | 58                | 26        | 16           | Fr.A.             | 28.16 | 21.06               | 2.93             | 0.70           | 0.17            | 0.10                              | 24.96                  | 24.86               | 88                   |
| 2607 | Testigo 2                   | 5.40        | 0.32                  | 0.00                   | 10.77     | 3.5      | 280      | 58                | 24        | 18           | Fr.A.             | 27.20 | 20.15               | 2.83             | 0.67           | 0.15            | 0.10                              | 23.90                  | 23.80               | 87                   |
| 2608 | Testigo 3                   | 5.40        | 0.32                  | 0.00                   | 10.43     | 3.6      | 263      | 58                | 24        | 18           | Fr.A.             | 27.20 | 20.25               | 2.85             | 0.63           | 0.17            | 0.10                              | 24.00                  | 23.90               | 88                   |

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



*B. Braillo*  
**Ing. Braillo La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

**METODOS SEGUIDOS EN EL ANALISIS DE SUELOS**

- Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
- Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
- PH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
- Calcáreo total (CaCO<sub>3</sub>): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
- Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %Cx1.724.
- Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
- Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO<sub>3</sub>-0.5M, pH 8.5.
- Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COONH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>N, pH 7.0.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COOCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N; pH 7.0.
- Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH<sub>3</sub> - COONH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
- Al<sup>+3</sup> + H<sup>+</sup>: método de Yuan. Extracción con KCl, N.
- Iones solubles:
  - Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
  - Cl, Co<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> solubles: volumetría y colorimetría. SO<sub>4</sub> turbidimetría con cloruro de Bario.
  - Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
  - Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

**Equivalencias:**  
 1 ppm = 1 mg/kilogramo  
 1 milimho (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro  
 1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+) / kg  
 Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes  
 CE (1 : 1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

**TABLA DE INTERPRETACION**

| Salinidad               |        | Materia Orgánica | Fósforo disponible | Potasio disponible | Relaciones Catiónicas |               |           |
|-------------------------|--------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------|-----------|
| Clasificación del Suelo | CE(es) | CLASIFICACIÓN    | %                  | ppm P              | ppm K                 | Clasificación | K/Mg      |
| *muy ligeramente salino | <2     | *bajo            | <2.0               | <7.0               | <100                  | *Normal       | 0.2 - 0.3 |
| *ligeramente salino     | 2 - 4  | *medio           | 2 - 4              | 7.0 - 14.0         | 100 - 240             | *defc. Mg     | >0.5      |
| *moderadamente salino   | 4 - 8  | *alto            | >4.0               | >14.0              | >240                  | *defc. K      | >0.2      |
| *fuertemente salino     | >8     |                  |                    |                    |                       | *defc. Mg     | >10       |

| Reacción o pH           |           | CLASES TEXTURALES     |                                   | Distribución de Cationes % |           |
|-------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------|
| Clasificación del Suelo | pH        | A = arena             | Fr.Ar.A = franco arcillo arenoso  | Ca <sup>+2</sup>           | = 60 - 75 |
| *fuertemente ácido      | <5.5      | A.Fr = arena franca   | Fr.Ar = franco arcilloso          | Mg <sup>+2</sup>           | = 15 - 20 |
| *moderadamente ácido    | 5.6 - 6.0 | Fr.A = franco arenoso | Fr.Ar.L = franco arcilloso limoso | K <sup>+</sup>             | = 3 - 7   |
| *ligeramente ácido      | 6.1 - 6.5 | Fr. = franco          | Ar.A = arcilloso arenoso          | Na <sup>+</sup>            | = <15     |
| *neutro                 | 6.6 - 7.0 | Fr.L = franco limoso  | Ar.L = arcilloso limoso           |                            |           |
| *ligeramente alcalino   | 7.1 - 7.8 | L = limoso            | Ar. = arcilloso                   |                            |           |
| *moderadamente alcalino | 7.9 - 8.4 |                       |                                   |                            |           |
| *fuertemente alcalino   | >8.5      |                       |                                   |                            |           |

## Anexo 2. Tabla de interpretación de análisis de suelos

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

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

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

| Rangos    | Clases                |
|-----------|-----------------------|
| < 5,5     | Fuertemente ácido     |
| 5,6 – 6,0 | Moderadamente ácido   |
| 6,1 – 6,5 | Ligeramente ácido     |
| 6,6 – 7,0 | Neutro                |
| 7,1 – 7,8 | Ligeramente alcalino  |
| 7,9 – 8,4 | Medianamente alcalino |
| >8,5      | Fuertemente alcalino  |

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

| Clase | Calificación              | Conductividad Eléctrica<br>dS/m |
|-------|---------------------------|---------------------------------|
| 0     | No salino                 | 0 – 2                           |
| 1     | Muy ligeramente<br>Salino | 2 – 4                           |
| 2     | Ligeramente salino        | 4 – 8                           |
| 3     | Moderadamente<br>salino   | 8 – 16                          |
| 4     | Fuertemente salino        | ≥ 16                            |

### 5. Materia Orgánica<sup>2</sup>

| Nivel | %     |
|-------|-------|
| Bajo  | < 2   |
| Medio | 2 – 4 |
| Alto  | ≥ 4   |

6. Fósforo disponible<sup>2</sup>

| Nivel | P (ppm) |
|-------|---------|
| Bajo  | < 7     |
| Medio | 7-14    |
| Alto  | > 14    |

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

| Nivel | K (ppm)   |
|-------|-----------|
| Bajo  | < 100     |
| Medio | 100 – 240 |
| Alto  | > 240     |

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

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

9. Saturación de bases<sup>3</sup>

| Nivel | Suma de Cationes (%) | Acetato de Amonio (%) |
|-------|----------------------|-----------------------|
| Bajo  | < 35                 | < 50                  |
| Alto  | > 35                 | > 50                  |

10. Relaciones catiónicas<sup>4</sup>

| Relación    | Valor   |
|-------------|---------|
| K : Mg      | < 5:1   |
| Ca : Mg     | 6.5 : 1 |
| Mg : K      | 2 : 1   |
| K : Ca + Mg | 1 : 15  |

11. Distribución de cationes cambiables<sup>4</sup>

| Catión | %  |
|--------|----|
| Ca     | 65 |
| Mg     | 10 |
| K      | 5  |
| H      | 20 |

## 12. Micronutrientes<sup>4</sup>

| Nivel                | Fe        | Zn      | Mn    | Cu      | B     |
|----------------------|-----------|---------|-------|---------|-------|
|                      | -ppm..... |         |       |         |       |
| Bajo<br>(Deficiente) | 0 – 2,5   | 0-0,5   | 0-1,0 | 0-0,4   | 0-0,5 |
| Marginal             | 2,6 – 4,5 | 0,6-1,0 | -     | 0,4-0,6 | -     |
| Alto<br>(Suficiente) | >4,5      | >1,0    | >1,0  | >0,6    | >0,5  |

## 10. Calcáreo<sup>3</sup>

| Nivel    | % CaCO <sub>3</sub> |
|----------|---------------------|
| Bajo     | < 1                 |
| Medio    | 1 – 5               |
| Alto     | 5 – 15              |
| Muy alto | >15                 |

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

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

## 12. Fertilidad<sup>2</sup>

| Símbolo | Descripción                                                                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Alta: todos los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio son altos                                  |
| 2       | Media: cuando alguno de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio es medio, los demás son altos. |
| 3       | Cuando por lo menos uno de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio es bajo.                    |

(1) Soil Survey Division Staff. 2017. 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.

(4) Havlin, J., S. Tisdale, W. Nelson, and J. Beaton. (2014). Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Eighth Edition. Pearson

### Anexo 3. Galería fotográfica









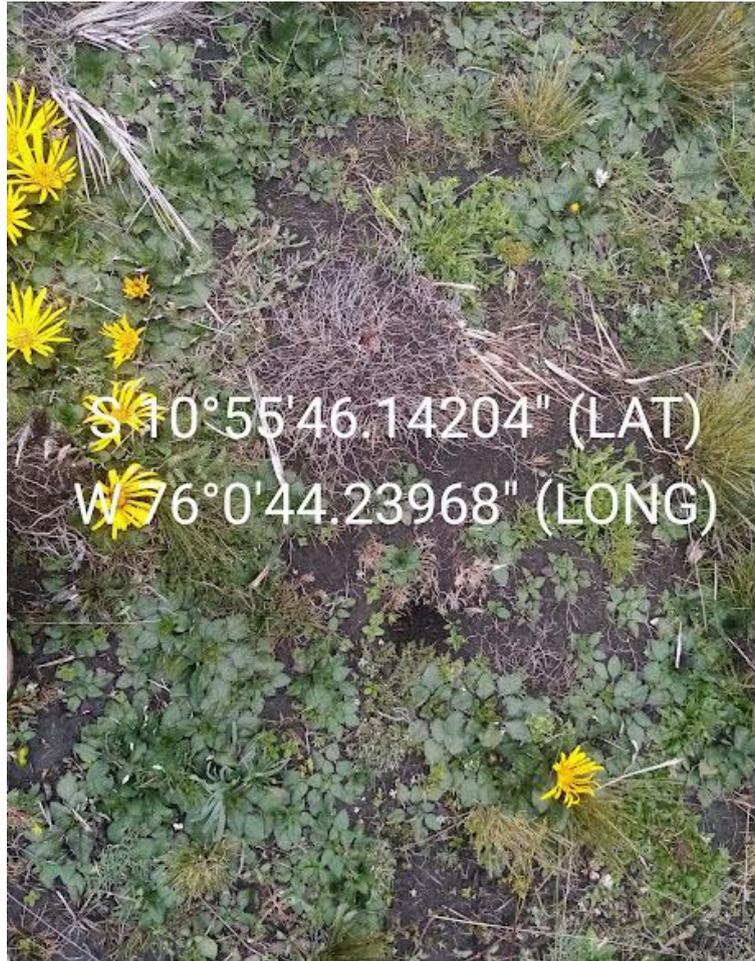


S 10°55'46.04376" (LAT)  
W 76°0'43.68996" (LONG)



S 10°55'46.06968" (LAT)  
W 76°0'44.19" (LONG)







S 10°55'46.16292" (LAT)  
W 76°0'44.29908" (LONG)



S 10°55'46.16292" (LAT)  
W 76°0'44.29908" (LONG)



S 10°55'46.2666" (LAT)  
W 76°0'44.62308" (LONG)



S 10°55'46.2666" (LAT)  
W 76°0'44.62308" (LONG)



S 10°55'46.34112" (LAT)  
W 76°0'44.85384" (LONG)



S 10°55'46.272" (LAT)  
W 76°0'45.18684" (LONG)

































