



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

## UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

### Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas

#### EFFECTO DE TRES TIPOS DE VERMICOMPOSTA SOBRE PLANTA

DE *Ficus carica* L.

#### TESIS

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES

Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

Presenta:

LILIANA CASTAÑEDA ROJAS

Bajo la supervisión de: Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

Bermejillo, Durango, México. Mayo 2024



**APROBADA**



**inifap**  
Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

# EFFECTO DE TRES TIPOS DE VERMICOMPOSTA SOBRE PLANTA DE

*Ficus carica* L.

Tesis realizada por **Liliana Castañeda Rojas** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDA

DIRECTOR:



---

DR. JESÚS GUADALUPE ARREOLA ÁVILA

ASESOR:



---

DR. RICARDO TREJO CALZADA

ASESOR:



---

M.C. JOSÉ RAMÓN HERNÁNDEZ SALGADO

ASESOR:



---

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

## CONTENIDO

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN GENERAL.....                                                                                           | 18 |
| CAPÍTULO I.....                                                                                                | 22 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL .....                                                                                 | 22 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN .....                                                                                        | 26 |
| 1.3 OBJETIVOS .....                                                                                            | 27 |
| 1.3.1 Objetivo general.....                                                                                    | 27 |
| 1.3.2 Objetivos específicos .....                                                                              | 27 |
| 1.4 HIPÓTESIS GENERAL .....                                                                                    | 28 |
| 1.5 REVISIÓN DE LITERATURA .....                                                                               | 28 |
| 1.5.1. Sostenibilidad frente al cambio climático .....                                                         | 28 |
| 1.5.2. <i>Eisenia fetida</i> .....                                                                             | 30 |
| 1.5.3. Taxonomía .....                                                                                         | 30 |
| 1.5.4. Ingenieros del ecosistema .....                                                                         | 31 |
| 1.5.5. Materia prima para el vermicompostaje .....                                                             | 33 |
| 1.5.6. Vermicompostaje, tecnología eficiente para el reciclaje.....                                            | 33 |
| 1.5.7. Vermicomposta, restaurador del suelo.....                                                               | 34 |
| 1.5.8. <i>Ficus carica</i> L., un cultivo alternativo .....                                                    | 37 |
| 1.6 Literatura citada .....                                                                                    | 41 |
| CAPÍTULO II.....                                                                                               | 50 |
| Fuentes de estiércol, sobrevivencia de <i>Eisenia fetida</i> y características de vermicomposta elaborada..... | 50 |

|       |                                                                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.  | RESUMEN .....                                                                                                           | 50 |
| 2.2.  | INTRODUCCIÓN .....                                                                                                      | 50 |
| 2.3.  | MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                                                              | 53 |
| 2.3.1 | Ubicación geográfica del área de estudio .....                                                                          | 53 |
| 2.3.2 | Diseño experimental .....                                                                                               | 53 |
| 2.3.3 | Variables medidas.....                                                                                                  | 54 |
| 2.4.  | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                            | 55 |
| 2.4.1 | Sobrevivencia de <i>Eisenia fetida</i> .....                                                                            | 55 |
| 2.4.2 | pH .....                                                                                                                | 56 |
| 2.4.3 | Conductividad eléctrica .....                                                                                           | 58 |
| 2.4.4 | Materia orgánica .....                                                                                                  | 59 |
| 2.4.5 | Sodio.....                                                                                                              | 60 |
| 2.5.  | CONCLUSIONES .....                                                                                                      | 62 |
| 2.6.  | Literatura citada .....                                                                                                 | 62 |
|       | CAPÍTULO III .....                                                                                                      | 68 |
|       | Respuesta fisiológica de <i>Ficus carica</i> L. a las aplicaciones de vermicomposta en condiciones de malla sombra..... | 68 |
| 3.1   | RESUMEN .....                                                                                                           | 68 |
| 3.2   | INTRODUCCIÓN .....                                                                                                      | 68 |
| 3.3   | MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                                                              | 71 |
| 3.3.1 | Ubicación del área de estudio .....                                                                                     | 71 |
| 3.3.2 | Proceso de vermicompostaje .....                                                                                        | 71 |
| 3.3.3 | Diseño experimental .....                                                                                               | 72 |

|                                                                                                                                                              |                                                     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----|
| 3.3.4                                                                                                                                                        | Variables medidas.....                              | 74  |
| 3.3.5                                                                                                                                                        | Análisis estadístico.....                           | 75  |
| 3.4                                                                                                                                                          | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                        | 75  |
| 3.4.1                                                                                                                                                        | Fotosíntesis.....                                   | 75  |
| 3.4.2                                                                                                                                                        | Conductancia estomática .....                       | 76  |
| 3.4.3                                                                                                                                                        | Concentración de CO <sub>2</sub> intercelular ..... | 78  |
| 3.4.4                                                                                                                                                        | Transpiración .....                                 | 79  |
| 3.4.5                                                                                                                                                        | Clorofila .....                                     | 80  |
| 3.4.6                                                                                                                                                        | Diámetro de tallo .....                             | 81  |
| 3.4.7                                                                                                                                                        | Concentración foliar de nutrimentos.....            | 83  |
| 3.4.8                                                                                                                                                        | Nitrógeno .....                                     | 83  |
| 3.4.9                                                                                                                                                        | Potasio .....                                       | 85  |
| 3.4.10                                                                                                                                                       | Calcio .....                                        | 86  |
| 3.4.11                                                                                                                                                       | Hierro .....                                        | 87  |
| 3.4.12                                                                                                                                                       | Zinc .....                                          | 89  |
| 3.4.13                                                                                                                                                       | Cobre .....                                         | 90  |
| 3.4.14                                                                                                                                                       | Manganeso .....                                     | 91  |
| 3.4.15                                                                                                                                                       | Sodio.....                                          | 93  |
| 3.5                                                                                                                                                          | CONCLUSIONES .....                                  | 94  |
| 3.6                                                                                                                                                          | Literatura citada .....                             | 94  |
| CAPITULO IV.....                                                                                                                                             |                                                     | 100 |
| Cambio en la composición química del suelo por aplicaciones de vermicomposta generada a partir de tres fuentes de estiércol sobre <i>Ficus carica</i> L..... |                                                     | 100 |

|        |                                     |     |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 4.1    | RESUMEN .....                       | 100 |
| 4.2    | INTRODUCCIÓN .....                  | 100 |
| 4.3    | MATERIALES Y MÉTODOS .....          | 102 |
| 4.3.1  | Ubicación del área de estudio ..... | 102 |
| 4.3.2  | Proceso de vermicompostaje .....    | 103 |
| 4.3.3  | Diseño experimental .....           | 104 |
| 4.3.4  | Variables medidas .....             | 105 |
| 4.3.5  | Análisis estadístico .....          | 111 |
| 4.4    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....        | 111 |
| 4.4.1  | Bicarbonatos .....                  | 111 |
| 4.4.2  | Cloruros .....                      | 113 |
| 4.4.3  | pH .....                            | 114 |
| 4.4.4  | Conductividad eléctrica .....       | 115 |
| 4.4.5  | Sodio .....                         | 117 |
| 4.4.6  | Nitrógeno .....                     | 118 |
| 4.4.7  | Fósforo .....                       | 119 |
| 4.4.8  | Potasio .....                       | 120 |
| 4.4.9  | Calcio .....                        | 121 |
| 4.4.10 | Magnesio .....                      | 123 |
| 4.4.11 | Zinc .....                          | 124 |
| 4.4.12 | Cobre .....                         | 125 |
| 4.4.13 | Hierro .....                        | 127 |
| 4.4.14 | Manganeso .....                     | 128 |

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 4.5 | CONCLUSIONES .....      | 130 |
| 4.6 | Literatura citada ..... | 130 |
|     | ANEXO .....             | 139 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                  |                                                                                             |     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Cuadro 1.</b> | Valores nutricionales de <i>Ficus carica</i> L. en 100 gr de fruto fresco...<br>.....       | 38  |
| <b>Cuadro 2.</b> | Relación alimento, tipo de estiércol, tiempo y extracción de lombrices evaluadas. ....      | 53  |
| <b>Cuadro 3.</b> | Fuente de vermicomposta, dosis y relación vermicomposta - suelo.<br>.....                   | 73  |
| <b>Cuadro 4.</b> | Concentración foliar mineral en <i>Ficus carica</i> L. en diferentes casos de estudio. .... | 83  |
| <b>Cuadro 5.</b> | Concentraciones de nutrientes en tres tipos de estiércol. ....                              | 139 |
| <b>Cuadro 6.</b> | Concentraciones de nutrientes en vermicompostas de tres fuentes.<br>.....                   | 139 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> | Población de <i>Eisenia fetida</i> en tres fuentes de estiércol. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n=3 observaciones)..... | 56 |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.</b> Cambios en pH durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n=3 observaciones). .....                                                                                                                                                                   | 58 |
| <b>Figura 3.</b> Cambios en conductividad eléctrica durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n=3 observaciones). .....                                                                                                                                              | 59 |
| <b>Figura 4.</b> Cambios en la materia orgánica durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n=3 observaciones). .....                                                                                                                                                  | 60 |
| <b>Figura 5.</b> Cambios en sodio durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n=3 observaciones). .....                                                                                                                                                                | 62 |
| <b>Figura 6.</b> Dinámica fotosintética en <i>Ficus carica</i> L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicomposta en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0, 60, 120 y 180 corresponden a t ha <sup>-1</sup> ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones). ..... | 76 |
| <b>Figura 7.</b> Conductancia estomática en <i>Ficus carica</i> L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicomposta en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha <sup>-1</sup> ). Medias entre columnas con letras iguales son                                                                                                                                |    |



estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 77

**Figura 8.** Concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $\text{t ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 79

**Figura 9.** Transpiración en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra en una zona árida de México. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $\text{t ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 80

**Figura 10.** Índice de clorofila en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $\text{t ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 81

**Figura 11.** Diámetro de tallo en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $\text{t ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 82

**Figura 12.** Concentración foliar de nitrógeno en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha= 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones)..... 84

**Figura 13.** Concentración foliar de potasio en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha= 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones). ..... 86

**Figura 14.** Concentración foliar de calcio en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha= 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones). ..... 87

**Figura 15.** Concentración foliar de hierro en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha= 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones). ..... 88

**Figura 16.** Concentración foliar de zinc en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y

180 corresponden a  $t \text{ ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 90

**Figura 17.** Concentración foliar de cobre en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $t \text{ ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 91

**Figura 18.** Concentración foliar de manganeso en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $t \text{ ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 92

**Figura 19.** Concentración foliar de sodio en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $t \text{ ha}^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 94

**Figura 20.** Bicarbonatos en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $t \text{ ha}^{-1}$ ). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 112

**Figura 21.** Cloruros en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 114

**Figura 22.** pH en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 115

**Figura 23.** Conductividad eléctrica en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 116

**Figura 24.** Sodio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 118

**Figura 25.** Nitrógeno en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son

significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 119

**Figura 26.** Fósforo en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 120

**Figura 27.** Potasio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 121

**Figura 28.** Calcio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 122

**Figura 29.** Magnesio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 124

**Figura 30.** Zinc en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 125

**Figura 31.** Cobre en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 127

**Figura 32.** Hierro en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 128

**Figura 33.** Manganeso en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones). ..... 129

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo becario que permitió dedicarme exclusivamente a los estudios de maestría e investigación.

Al Posgrado de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas de la UACH - URUZA, por contribuir en mi aprendizaje y darme la oportunidad de desarrollar mi crecimiento académico.

Expreso mi gratitud al Dr. Jesús G. Arreola Ávila, por su confianza al emprender esta investigación, por su apoyo para poder desarrollarla y por la paciencia para explicar cuando en ocasiones parecía complicado.

Agradezco al Dr. Ricardo Trejo Calzada, quien acompañó desde el inicio el desarrollo de esta investigación, por su guía y valiosos consejos prácticos que ayudaron en el desarrollo de este estudio.

A mi comité asesor M.C. José Ramón Hernández Salgado, Dr. José Antonio Cueto Wong, en especial al Dr. Jesús G. Arreola Ávila y al Dr. Ricardo Trejo Calzada, por sus atentas lecturas, comentarios puntuales y sugerentes que hicieron de esta investigación un mejor trabajo.

A la Dra. Alondra Gisela Campos Villareal, por su valioso apoyo en laboratorio y campo, por sus consejos y motivación que contribuyeron en el desarrollo de mi trabajo. Agradezco el tiempo, la guía y amistad brindada.

A la M.C. Sandra Patricia Maciel Torres, por el apoyo brindado en laboratorio y sus recomendaciones puntuales al respecto, esto agilizó en gran medida los resultados obtenidos.

A la Ings. Alicia Rodríguez Rodallegas y Pamela C. Manzanares Nieto por sus atenciones y apoyo brindado durante el trabajo en laboratorio. Gracias por la guía.

Mi gratitud al M.C. Cristobal Hernández Bautista por la confianza inquebrantable y el ejemplo de tenacidad que me impulsaron a no darme por vencida, por el apoyo incondicional en cada momento del desarrollo de este proyecto.

A la Ing. Betsabé Montiel Castañeda y a Victoria Montiel Castañeda por su ejemplo de resiliencia y amor infinito, son un verdadero tesoro.

Al Prof. Marcelino Castañeda Ortiz mi padre, por creer en mí, por sus palabras de aliento y consejos, a mi madre Victoria Rojas Santiago(†) por enseñarme a esforzarme, a la M.E. Olivia Castañeda Rojas, Lic. Aurora Castañeda Rojas y a Homero Castañeda Rojas por escucharme y estar presentes en mi vida.



## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: Liliana Castañeda Rojas

Fecha de Nacimiento: 29 de agosto de 1984

Lugar de Nacimiento: Playa Vicente, Veracruz de Ignacio de la Llave

CURP: CARL840829SMVZSJL08

Profesión: Ingeniero Agrónomo en Horticultura

Cédula profesional: 13253713



### **Desarrollo académico**

Preparatoria: Centro de Educación Abierta con clave del centro de trabajo 21PB H0131X, Zacatlán, Puebla. (2003-2005).

Licenciatura: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreó Coahuila (2016-2021).

### **Desarrollo científico**

Participación como ponente en el VI Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas en diciembre del 2022, con el trabajo titulado: Comportamiento del pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y sodio en tres tipos de estiércol durante el vermicompostaje.

## RESUMEN GENERAL

La industria ganadera y agrícola son las responsables del suministro de alimentos a la creciente población mundial. En el proceso no sólo se generan alimentos, también se crean residuos orgánicos y utilizan productos de síntesis química que degradan y vulneran los sistemas ecológicos. Es necesaria la producción agrícola sostenible, diversificando el sistema de producción y aprovechando los residuos. Así, el objetivo de esta investigación en la primera etapa fue evaluar la sobrevivencia de *Eisenia fetida* en tres fuentes de estiércol (bovino, ovino y caprino). En la segunda etapa se determinó el efecto de la vermicomposta de diferentes fuentes sobre la fisiología y crecimiento de *Ficus carica* L. y el cambio en la composición química del suelo después de un ciclo. En una primera etapa se utilizó estiércol procedente de vacunos, ovinos y caprinos estabulado, mediante un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. Las dosis para la segunda etapa correspondieron a una relación vermicomposta – suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0, 60, 120 y 180 t ha<sup>-1</sup>) con tres repeticiones. Al finalizar el ciclo 2022-2023, se obtuvieron los siguientes resultados. El uso de estiércol fresco de bovino provocó mortandad total en *Eisenia fetida* (se continuó el proceso de vermicompostaje con composta tradicional de estiércol bovino, descartándose la variable de reproducción para este material en específico). Por el contrario, tanto en el estiércol caprino como en el estiércol ovino se registró crecimiento de *Eisenia fetida*. La mayor población se contabilizó en estiércol de cabra. El proceso de vermicompostaje transformó estiércol en una enmienda con mejores atributos en pH, CE y MO, manteniendo los niveles de Na. Se observó un aumento de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, magnesio, zinc, cobre, hierro, manganeso y cloruros en el suelo debido a la adición de vermicomposta. Se registraron efectos variables en potasio, calcio, conductividad eléctrica, bicarbonatos y sodio, con efecto acidificante del suelo con tendencia a la reducción de pH. La vermicomposta de bovino aumentó clorofila, CO<sub>2</sub> intercelular y la transpiración de las hojas de higuera, mientras que la vermicomposta de ovino y caprino aumentaron la conductancia estomática y la fotosíntesis. Por lo tanto, la aplicación de vermicompostas modificó los contenidos minerales en el suelo y en *Ficus carica* L., provocando reacciones diversas en la fisiología de higuera. Los hallazgos pueden aplicarse en la fertilización de higuera, sin embargo se necesitan considerar otros factores agronómicos para mejorar los resultados.

**Palabras clave:** Estiércol animal, Vermicomposta, *Eisenia fetida*, *Ficus carica* L., fisiología vegetal, suelo.

**Tesis de:** Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

**Autor:** Liliana Castañeda Rojas

**Director de Tesis:** Jesús Guadalupe Arreola Ávila

## GENERAL ABSTRACT

The livestock and agricultural industries are responsible for supplying food to the growing global population. This process not only generates food but also creates organic waste and employs synthetic chemical products that degrade and compromise ecological systems. Sustainable agricultural production is necessary, diversifying the production system and utilizing waste effectively. Thus, the objective of this research in the first stage was to evaluate the survival of *Eisenia fetida* in three sources of manure (bovine, ovine, and caprine). In the second stage, the effect of vermicompost from different sources on the physiology and growth of *Ficus carica* L. and the change in soil chemical composition after one cycle were determined. In the first stage, manure from cattle, sheep, and goats was used, employing a completely randomized experimental design with three replicates. The dosages for the second stage corresponded to a vermicompost-soil ratio of 0:1, 1:6, 1:3.5, and 1:2.6 (0, 60, 120, and 180 t ha<sup>-1</sup>) with three replicates. At the end of the 2022-2023 cycle, the following results were obtained. The use of fresh bovine manure caused total mortality in *Eisenia fetida* (the vermicomposting process was continued with traditional bovine manure compost, excluding the reproduction variable for this specific material). In contrast, *Eisenia fetida* growth was recorded in both caprine and ovine manure, with the highest population in goat manure. The vermicomposting process transformed manure into an amendment with improved attributes in pH, EC, and OM, maintaining Na levels. There was an increase in organic matter, nitrogen, phosphorus, magnesium, zinc, copper, iron, manganese, and chlorides in the soil due to the addition of vermicompost. Variable effects were recorded in potassium, calcium, electrical conductivity, bicarbonates, and sodium, with an acidifying effect on the soil tending to reduce pH. Bovine vermicompost increased chlorophyll, intercellular CO<sub>2</sub>, and leaf transpiration in fig trees, while ovine and caprine vermicompost increased stomatal conductance and photosynthesis. Therefore, the application of vermicomposts modified the mineral contents in the soil and in *Ficus carica* L., causing diverse reactions in fig tree physiology. The findings can be applied to fig fertilization; however, other agronomic factors need to be considered to improve results.

**Keywords:** Animal manure, Vermicompost, *Eisenia fetida*, *Ficus carica* L., Plant physiology, Soil.

**Thesis for:** Master of Science in Natural Resources and Environment in Arid Zones UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, Regional University Unit of Arid Zones

**Author:** Liliana Castañeda Rojas

**Thesis Advisor:** Jesús Guadalupe Arreola Ávila

## CAPÍTULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

De las actividades económicas que más extensión territorial ocupan son la agrícola y ganadera, siendo así, que en 2021 a nivel mundial aprovecharon aproximadamente 4,750 millones de hectáreas de suelo (FAO, 2021), con ello alimentó en 2021 a 7,000.837 millones de personas. Sin embargo, para el año 2022 se rebasó los 8,000 millones de habitantes, aumentando con ello la demanda de alimentos, esta explotación demográfica supone grandes cantidades de alimento para dar una vida mejor y más larga a la población (UNFPA, 2023).

México por su parte, es un país en crecimiento, con sus 131.1 millones de personas en 2023 (CONAPO, 2023) la demanda de alimentos sin duda es muy grande, y las industrias encargadas de cubrirla son la ganadera y agrícola principalmente. Tales actividades son en gran medida causantes de la actual vulnerabilidad ecológica y como lo describe Ma et al. (2023), el factor humano en conjunto con las actividades industriales y agrícolas han llevado al límite del colapso los recursos necesarios para la subsistencia del hombre, pero sobre todo del ambiente.

En este marco, es necesaria la producción sustentable de cultivos, no sólo granos y productos hortícolas, también los frutales son de suma importancia en la buena alimentación y para la diversificación de las diferentes zonas ecológicas. Se conoce que México es productor de varios frutales de exportación, como la nuez (*Carya illinoensis*), aguacate (*Persea Americana* L.), guayaba (*Psidium guajava* L.), berries (frutos rojos), limón (*Citrus × latifolia* Tan.), mango (*Mangifera indica* L.), piña (*Ananas comosus* L.), fresa (*Fragaria vesca* L.), papaya (*Carica papaya* L.) y plátano (*Musa × paradisiaca* L.) principalmente, los volúmenes exportados

de estas frutas se incrementaron en un 14.1% en el ciclo de enero-julio de 2023, representando un valor de 915.9 millones de dólares (GCMA, 2023), los frutos mexicanos llegan a Estados Unidos, Japón, Canadá, China y España principalmente (TREID, 2022), esto indica una buena presencia a nivel global. Sin embargo, no todos los frutales pueden ser producidos por los agricultores, debido a los requerimientos edafoclimáticos, prácticas agrícolas que necesita cada uno y el costo de producción que implica.

En esta línea, en la zona norte de México se encuentra la cuenca lechera más grande del país, a pesar de ser una zona árida soporta su economía en el recurso agua, es así, que la superficie sembrada en el ciclo agrícola 2020-2021 aumentó en un 7.3% más que el año previo y 5% más que en el periodo 2010-2020 (INIFAP, 2021a), este aumento de superficie agrícola se debe mayormente a la demanda de productos forrajeros como la alfalfa (*Medicago sativa* L.); que en 2024 el cultivo ocupó 36,911 hectáreas de la superficie agrícola sembrada en la zona de estudio (Representación Región Lagunera – Subdelegación de Planeación, 2024), sin duda su requerimiento hídrico es mucho mayor comparado con otros cultivos forrajeros, con una demanda por hectárea de 1400 a 1600 mm al año ( $14,000 - 16,000 \text{ m}^3$ ) (Montemayor-Trejo et al., 2010). En el caso de frutales, el nogal es el número uno producido en la región Comarca Lagunera, en 2024 la superficie sembrada entre plantaciones en desarrollo y producción alcanzó la cifra de 11,609.7 hectáreas (Representación Región Lagunera – Subdelegación de Planeación, 2024) representando un gasto alto de agua, sus requerimientos van de los 1170 a los 1370 mm anuales ( $11,700 - 13,700 \text{ m}^3$  por hectárea, respectivamente) (Sifuentes-Ibarra et al., 2015), correspondiendo a  $135,833.5 \text{ hm}^3$  de agua sólo para satisfacer la superficie de nogal anual de la región.

Otro fruto importante de la región es el melón (*Cucumis melo* L.), y que de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera en el cierre de la producción agrícola de 2022 se sembraron en la región Laguna 5,048.4 hectáreas de este fruto (SIAP, 2022a), lo que requirió un gasto hídrico de entre

400 y 600 mm (4000 - 6000 m<sup>3</sup>) durante su ciclo de desarrollo por hectárea (FAO, 2005), si bien este fruto no demanda gran cantidad de agua como el nogal, las propiedades nutritivas que ofrece son bajas comparadas a las que ofrecen otros frutos. Algo similar sucede con la sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.), fruto con la misma importancia que el melón en la región, pues en 2022 se reportaron 969 hectáreas cosechadas (SIAP, 2022a), con un requerimiento hídrico que va de los 500 a los 700 mm (5000 – 7000 m<sup>3</sup> por hectárea) (PROAIN, 2020) durante su ciclo de desarrollo. Si bien el melón y sandía no demandan grandes cantidades del recurso hídrico, sí emplean gran cantidad de insumos fertilizantes, al igual que el nogal para su producción, del mismo modo, las labores culturales para que desarrollen bien tales cultivos y la aplicación de agroquímicos en sus ciclos de desarrollo son necesarias para aumentar y mejorar la producción.

En el marco anterior, y ante el agotamiento y escasez de recursos que presentan las zonas áridas, es de vital importancia la diversificación de cultivos que, impliquen menor demanda de insumos para su producción. En este sentido, *Ficus carica* L. es un frutal que se puede adecuar a la zona árida del país, pues cuenta con gran adaptabilidad, el uso del recurso hídrico es moderado y brinda la ventaja de dos cosechas al año (Flores-M y Jiménez-B, 2007); este atributo ofrece mayor producción en comparación con la mayoría de los frutales que sólo ofrecen una cosecha anual.

El higo es un cultivo adaptable a diferentes entornos climáticos, que van desde el tropical, templado y el de zonas áridas, también se conoce que es tolerable a sequías y suelos con bajos niveles de materia orgánica (Ammar, et al., 2020; Reza-Morovati et al., 2022), tal es el caso de las regiones del Mediterráneo español, donde la producción del frutal se lleva a cabo con escasa o nula aportaciones de riego (Galán et al., 2023).

En tal sentido, la zona árida de México tiene potencial para plantaciones de higo, estas pueden ir desde las huertas de traspatio, hasta producciones comerciales que aporten a la demanda nacional o internacional y considerando la demanda del mercado actual norteamericano y europeo (Ayuso et al., 2022; INTAGRI,



2019); es preciso fomentar la producción de cultivos alternos que demanden poca inversión y recursos; como el agua que se encuentra en riesgo; pero que contribuyan en la economía.

Por otra parte, la industria ganadera también contribuye en gran medida a la alimentación de la población, sin embargo, los residuos de esta actividad son fuente importante de contaminación ambiental. El estiércol no sólo puede emitir óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), también es fuente de patógenos que dañan la salud del ser humano (Penn State Extension, 2023), del mismo modo, si se utiliza como fertilizante sin haber pasado por un proceso previo de compostaje, ofrece pocos nutrientes a las plantas y elementos como el fósforo que ante su deficiencia causará pérdida en los cultivos aplicados, es por ello que el uso de estiércol como fertilizante se utilizan en altas cantidades que van de 50 a 100 veces más que los fertilizantes de síntesis química. ODEPA (2022) señala, que este tipo de residuo genera gases de efecto invernadero, tiene condiciones de inestabilidad y poca madurez, esto concuerda con Flores-Sánchez et al. (2015), donde después de ocho años aplicando estiércol solarizado a suelos de cultivo en una zona árida, el contenido de materia orgánica aumentó solamente un 0.1% comparado con suelos sin la aplicación de estiércol y además la estabilidad de agregados en el suelo resultó de mala a baja calidad.

Ante esta situación, es indispensable la gestión de residuos de la industria ganadera, el estiércol es fuente rica de carbono cuando se lleva a cabo un pretratamiento antes de aplicarlo, para aumentar la nutrición de plantas y obtener beneficios ambientales al suelo (Thelen et al., 2010). En este sentido, el vermicompostaje es una tecnología que puede aprovechar los recursos que el sector pecuario brinda en la región. El organismo protagonista de este proceso *Eisenia fetida*, ofrece gran diversidad de microflora y transforma los desechos orgánicos en fertilizantes útiles y respetuosos con el medio ambiente, ofreciendo una alternativa productiva sostenible.

Mediante el establecimiento de un cultivo de baja exigencia de recursos para su producción y la aplicación de un fertilizante orgánico producto de los residuos

ganaderos, se puede lograr una alternativa real para los agricultores del norte del país, al mismo tiempo que se contribuye en la gestión y disminución de desechos, el cuidado del recurso hídrico y también del suelo al disminuir el uso de fertilizantes sintéticos y agroquímicos.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La escasez del agua debido al cambio climático (Jin et al., 2024) y el incremento de la salinidad causada por el uso intensivo de fertilizantes (Qiu et al. 2023), se han convertido en factores que limitan la producción de cultivos tradicionales en las zonas áridas (Al-Rashed et al., 2023; Mendieta-Mendoza et al., 2024). Para solventar este problema, es necesario la implementación de cultivos alternativos que proporcionen posibilidades de llevar a cabo una agricultura sustentable.

El higo es uno de los frutales que menor requerimiento hídrico necesita, el aporte para producción comercial se estima entre los 105 a los 600 mm anuales; equivalente a 1050 - 6000 m<sup>3</sup> por hectárea (Garza-Villareal, 2020; INIFAP, 2021b). Además, es un especie de bajo requerimiento nutrimental para su producción (Ammar et al., 2020; Hydro Environment, 2024), que podrían ser abastecidos mediante el uso de enmiendas como estiércoles o vermicomposta, aumentando las oportunidades para mejorar la rentabilidad de la producción agrícola (Murillo-Montoya et al., 2020).

En este mismo sentido, la población ganadera en el norte de México es alta; 1,395,52 cabezas de ganado bovino, ovino y caprino (SIAP, 2023) y que en total generan 18,068,719.9 toneladas de estiércol al año, total que representa una fuente importante de contaminación al suelo. Es por ello que esta investigación se centra en la gestión de estos residuos con la ayuda de *Eisenia fetida*, la finalidad es aprovecharlos de manera sostenible para minimizar el impacto contaminante que pueden llegar a generar, pues como lo señalan varios estudios, la aplicación de estiércol sin tratar influye negativamente en la estructura microbiana y provoca resistencia a antibióticos (Guo et al., 2021; Jing-Zhang et al., 2019; Kuppusamy et al., 2023; Wang et al., 2020), esto representa un alto

riesgo para la salud humana, para la del propio suelo y un problema emergente de contaminación microbiológica al sector hídrico a nivel global (Liang et al., 2020; Zhu, et al., 2022).

Es necesaria la gestión de los residuos del sector ganadero con el fin de prevenir la problemática antes descrita, es innegable el riesgo e impacto negativo para el medio ambiente y la salud, por tanto, al dar un proceso de vermicompostaje al estiércol se ofrece una alternativa de reciclaje de nutrientes para impulsar una agricultura sostenible y segura. Además, se obtiene un fertilizante orgánico, que contribuya al ciclo de nutrientes, de menor costo para el agricultor (Ferraz-Ramos et al., 2022) y que ayude a mitigar el impacto ambiental de contaminantes. Asimismo, el uso de esos fertilizantes orgánicos en cultivos con bajos requerimientos hídricos y tolerantes a la sequía, puede contribuir a hacer un uso más eficiente del agua en los sistemas agrícolas en zonas donde este recurso es limitado.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Cuantificar la sobrevivencia de *Eisenia fetida* durante el proceso de vermicompostaje y evaluar los efectos de la vermicomposta sobre el suelo y el cultivo de *Ficus carica* L., con el fin de aprovechar los desechos de la industria ganadera y contribuir en el diseño de una tecnología aplicable al cultivo de este frutal.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Cuantificar la sobrevivencia de *Eisenia fetida* en tres fuentes de estiércol de ganado bovino, ovino y caprino.
- Evaluar el efecto de diferentes dosis de vermicomposta generada a partir de tres diferentes fuentes de estiércol en la fisiología y crecimiento de *Ficus carica* L.

- Determinar el cambio en la composición química del suelo después de haber usado vermicomposta como fertilizantes.

## 1.4 HIPÓTESIS GENERAL

- Los tres tipos de estiércol proporcionan un medio adecuado para la sobrevivencia y crecimiento de *Eisenia fetida*.
- Los tipos de vermicomposta y las dosis en que son aplicadas producen respuestas diferenciales en la fisiología y crecimiento de las plantas de *Ficus carica* L.
- El origen de la vermicomposta afecta de manera diferente la fertilidad del suelo.

## 1.5 REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.5.1. Sostenibilidad frente al cambio climático

La UNCCD (2022) señala, que el sector agropecuario ha alterado los ciclos naturales en el planeta; en el mundo la agricultura ha causado la deforestación del 80% de los bosques y utiliza el 70% de agua dulce; provocando la pérdida de biodiversidad; entre ellos la salud del suelo. En este sentido, la UNCCD manifiesta que el suelo en conjunto con el agua y biodiversidad son las bases de la economía y sociedad, y que más del 50% de Producto Interno Bruto (PIB) depende en un grado de moderado a alto del recurso natural.

De acuerdo con Song (2023), el suelo es fuente primordial para los cultivos, un recurso vivo que da sustento a los recursos florístico, en él se reciclan nutrientes y es un ente capaz de degradar sustancias tóxicas. Sin embargo, el impacto antropogénico agota cada año hectáreas de suelos que un día fueron fértiles. La agricultura y ganadería son las actividades que más agotan este recurso y como lo señala Ferreira et al. (2022), la escala de degradación ha avanzado a un ritmo sin precedentes en todo el globo. De acuerdo con Song et al. (2023), este

deterioro del suelo amenaza la producción agrícola mundial y por consecuencia la seguridad alimentaria.

En 2021 la FAO contabilizó 1,660 millones de hectáreas de suelos agrícolas degradados en todo el planeta; 733 millones correspondiendo a las zonas áridas y 927 millones para zonas húmedas; a consecuencia de la intensificación de la agricultura, también señala que el uso de fertilizantes inorgánicos usados para incrementar rendimientos en campo ha tenido un efecto contrario a largo plazo, provocando una disminución de nutrientes, aumento en salinidad y contaminación de fuentes de agua dulce, factores son causantes de la degradación del suelo (FAO, 2021).

En América Latina y Caribe se tienen las mayores reservas de suelo cultivable. Sin embargo, la superficie agrícola aumenta cada año, en 2021 el aumento fue de 561 a 741 millones de hectáreas, el problema es que en estas regiones las malas prácticas agrícola suponen un grave daño al recurso suelo, la contaminación se atribuye principalmente al uso intensificado de fertilizantes de síntesis química, agroquímicos, uso de estiércol y purines sin darles previamente algún tratamiento (FAO & UNEP, 2021). En 2021 la superficie afectada en América Latina y Caribe por degradación fue de 76 millones de hectáreas, correspondiendo al 14% de toda la superficie sembrada en esta región (FAO, 2021).

Con respecto al uso de fertilizantes inorgánicos, tan sólo en México se utilizaron en 2020 7.1 millones de toneladas de fertilizante, en 2021 6.6 millones, en 2022 6.1 millones y para 2023 las expectativas son de 6.6 millones, aunque en los últimos años el uso de fertilizantes se redujo, los resultados no se deben al uso consiente encaminado a una agricultura sustentable, sino que las causas apuntan hacia el conflicto entre Ucrania y Rusia y del problema de movilización de materias primas en el Mar Negro para la generación de fertilizantes (SIAP, 2023). La aplicación de todas estas toneladas de fertilizantes, suponen un incremento en la producción agrícola; pues precisamente va dirigido a la planta; sin embargo con el paso del tiempo acaba con las reservas nutrimentales del

suelo, causando degradación en las tierras agrícolas como lo señala la FAO (FAO, 2021).

La superficie de México es de 198 millones de hectáreas, de las cuales 142.4 tienen vocación agrícola-ganadera, representando un 72% del territorio nacional, de toda esta zona el 35% tiene algún grado de degradación a causa de las actividades agropecuarias, el 7.4% se atribuye a la deforestación para ampliar las áreas de cultivo, el resto corresponde a las áreas urbanas, sobreexplotación vegetal y a la industria (Rojas-Martínez & Torres-Torres, 2019). En 2022 el Censo Agropecuario en México reveló que se tenían 32.1 millones de hectáreas de superficie agrícola (INEGI, 2022), en 2021 la nación se posicionó a nivel mundial en el 11° lugar de producción de alimentos, en el mismo lugar para producción de productos agrícolas y repitiendo el mismo lugar en producción ganadera. Como anteriormente se menciona, las actividades agropecuarias son las que mayor impacto negativo tienen en la degradación de los suelos, es aquí donde radica la importancia de fomentar una agricultura sustentable (SIAP, 2022b).

#### **1.5.2. *Eisenia fetida***

Las lombrices presentan una baja vagilidad, gracias a ello tienen un amplio endemismo para trabajar en diferentes regiones ecológicas, este mismo endemismo las hace sensibles a cambios en el medio ambiente y pueden llegar a desaparecer en lugares con disturbios o alterados, de tal modo, que ayudan a evaluar el grado de deterioro o conservación de un área ecológica, y que de acuerdo con Fragoso-González (2000), se tiene gran variedad de especies que pueden ayudar a identificar la problemática.

#### **1.5.3. Taxonomía**

- Reino: Animalia
- Filo: Annelida
- Clase: Clitellata
- Orden: Haplotaxia

- Familia: Acanthodrilidae, Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae, Ocnerodrilidae, Octochaetidae.
- Género: Aporrectodea, Amynthes, Allolobophora, Balanteodrilus, Bimastos, Dendrobaena, Dendrodrilus, Dichogaster, Diplotrema, Eutrigaster, Eisenia, Eiseniella, Eukerria, Kaxdrilus, Larsonidrilus, Lavellodrilus, Lumbricus, Mayadrilus, Microscolex, Octolasion, Onychochaeta, Protozapotecia, Periscolex, Pontoscolex, Phoenicodrilus, Polypheretima, Ramiellona, Zapatadrilus, Zapotecia.
- Especies: Allolobophora chlorotica, Allolobophora moebii, Allolobophora molleri, Amynthes corticis, Amynthes gracilis, Aporrectodea longa, Aporrectodea rosea, Aporrectodea trapezoides, Aporrectodea tuberculata, Aporrectodea turgida, Balanteodrilus pearsei, Bimastos parvus, Dendrobaena octaedra, Dendrodrilus rubidus, Dichogaster affinis, Dichogaster bolau, Dichogaster eiseni, Dichogaster michoacana, Dichogaster ribaucourti, Dichogaster saliens, Diplotrema albidus, Diplotrema munchiei, Eisenia fetida, Eiseniella tetraedra, Eukerria saltensis, Eutrigaster sporadonephra, Eutrigaster verens, Kaxdrilus parvus, Kaxdrilus sylvicola, Larsonidrilus microscolecinus, Larsonidrilus orbiculatus, Lavellodrilus bonampakensis, Lavellodrilus ilkus, Lavellodrilus maya, Lavellodrilus parvus, Lavellodrilus riparius, Lumbricus castaneus, Lumbricus rubellus, Lumbricus terrestres, Mayadrilus calakmulensis, Mayadrilus rombki, Microscolex dubius, Microscolex phosphoreus, Octolasion cyaneum, Octolasion tyrtaeum, Onychochaeta elegans, Periscolex brachycystis, Phoenicodrilus taste, Polypheretima elongata, Pontoscolex corethrurus, Protozapotecia aquilonalis, Protozapotecia australis, Protozapotecia koebeli, Ramiellona strigosa, Zapatadrilus ticus, Zapotecia Amecameca, Zapotecia nova.

#### **1.5.4. Ingenieros del ecosistema**

Estos son los invertebrados más comunes y con mayor biomasa que se pueden encontrar en el suelo; las lombrices juegan un rol fundamental en la

descomposición de material orgánico, de contaminantes y a la vez de enriquecimiento de nutrientes (Shi et al., 2023). Estos organismos han ayudado en la evaluación de riesgos ambientales y ecotoxicidad de los suelos, gracias a la alta capacidad de respuesta ante contaminantes que los lleva a desarrollar mecanismos de defensa, a causa de esto, son vistos como organismos modelo (Zhang et al., 2019).

Cuando los mecanismos de defensa se activan, las lombrices muestran anomalías en el movimiento enzimático y a su vez mejoran sus sistemas de reacción, se presenta un cambio en la vía metabólica y un ajuste en su comportamiento. Por ejemplo, la carboxilesterasa, catalasa, glutatión-S-transferasa, superóxidasa dismutasa, oxidasa multifuncional y el malondialdehído, indican cuando los insectos se encuentran en un ambiente de toxicidad, tales mecanismos sensibles pueden funcionar en las lombrices, haciendo posible la identificación de ambientes tóxicos en el suelo (Shi et al., 2023).

Por su parte, *Eisenia fetida* es una de las especies preferidas para realizar vermicompostaje, las razones: la adaptabilidad presentada en diferentes condiciones ambientales y su gran voracidad, lo que la convierte en excelentes administradoras de residuos orgánicos; mediante el proceso de fragmentación; gestoras del suelo, al mismo tiempo mejoran la fertilidad de dichos residuos y son promotoras del crecimiento vegetal. Estos anélidos cuentan con catalizadores biológicos que usan en la descomposición de material orgánico (Chekwube-Enebe y Erasmus, 2023), es por ello por lo que la dieta de las lombrices es factor importante, pues de esto depende la microflora que excreten las mismas y de los beneficios que brinden como fertilizante orgánico (Yuvaraj et al., 2020). Otro beneficio que brinda esta especie es, que mediante el proceso de vermicompostaje disminuye los gases de efecto invernadero comparado con el compostaje normal (Alshehrei & Amén, 2021).



### **1.5.5. Materia prima para el vermicompostaje**

La industria ganadera no sólo genera alimentos, también generan residuos y contaminación. En México, de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022c) en el Inventario anual 2020-2021 se registraron 36 millones de cabezas de ganado bovino; 33 millones para carne y 3 millones para lechero; esto representa 657,000,000 de toneladas de estiércol al año (ton/est/año) (Martínez-Morales, s.f.); 9 millones de cabezas de ganado ovino estimando 8,100,000 de ton/est/año y 9 millones de cabezas de ganado caprino representando 5,256,000 ton/est/año.

En la región Comarca Lagunera, el censo ganadero preliminar hasta el mes de agosto de 2023 registró una población de 976,430 cabezas de animales bovinos, 13,041 de ovinos y 406,054 de caprinos (SIAP, 2023), en este sentido, los desechos generados de esta población corresponderían a 17,819,847.5, 11,736.9 y 237,135.5 ton/est/año respectivamente.

Estos desechos orgánicos suponen una fuente de alimento para *Eisenia fetida*, que por medio de la ingesta fragmenta la materia orgánica, proporcionando un sustrato ideal para que microorganismos descomponedores entren en acción, estimulando conjuntamente la actividad biológica. Gracias a la labor de lombrices y microorganismos los residuos son degradados hasta que parcialmente empieza la mineralización y proceso de humificación, obteniendo un producto estable orgánico y disponible para la aplicación al suelo y planta (Dohaish, 2020).

### **1.5.6. Vermicompostaje, tecnología eficiente para el reciclaje**

De acuerdo con investigaciones recientes se ha comprobado que el vermicompostaje es una tecnología que utiliza eficientemente el uso de desechos orgánicos, obteniendo así un producto humificado de alta calidad, rico en nutrientes y masa microbiana (Getachew-Gebrehana et al., 2023). Es verdad que estos factores pueden variar de acuerdo con la especie de lombrices que se utilice y del alimento de estas, aun así, el producto final tiene gran potencial para

la conservación del suelo, de su biodiversidad y aumenta el contenido de materia orgánica en él.

Mediante el proceso biooxidativo del vermicompostaje se pueden reciclar diferentes tipos de desechos orgánicos, tal proceso no requiere grandes inversiones y puede ser adoptado fácilmente por el sector agropecuario. Es así, como el vermicompostaje se convierte en una tecnología de bajo costo y amigable con el medio ambiente (Cao et al., 2021), mismo que puede ser utilizado por los propios ganaderos y agricultores para tener un segundo producto que aporte ingresos extras a las familias, o bien para disminuir costos de producción.

Con el fin de aumentar la producción agrícola en el mundo y disminuir los costos de producción, en los últimos años se han usado productos orgánicos, estos se agregan en forma de estiércol, residuos molidos de especies vegetales, también en compostas y vermicompostas. En esta última, algunas especies de lombrices como *Lumbricus rubellus*, *Eisenia andrei*, *Eudrilus eugeniae* y especialmente *Eisenia fetida* se emplean para convertir la materia orgánica en elementos nutritivos más fáciles de absorber para las plantas. Es así como el producto resultante de la ingesta de *Eisenia fetida* le da al suelo la oportunidad de recuperar el poder físico, químico y biológico necesario para ser fértil (Wojciech-Przemieniecki et al., 2021).

En este marco, el vermicompostaje es una técnica útil que se usa para disminuir biorresiduos, además de ofrecer materia orgánica, nutrientes y mejorar la estructura del suelo; es una opción viable para la gestión de residuos sólidos que representan un problema ecológico a nivel global.

#### **1.5.7. Vermicomposta, restaurador del suelo**

El uso de enmiendas orgánicas ha ganado importancia en los últimos años con el fin de mejorar la condición física, química y biológica del suelo, a causa de ello, los cultivos han mostrado una respuesta favorable, tanto que el sector agrícola se muestra cada vez más interesado en este tipo de biofertilizantes (Getachew-

Gebrehana et al., 2023). De los biofertilizantes que gozan de buena popularidad por los efectos benéficos que ha mostrado es la vermicomposta, esta aporta al suelo un buen porcentaje de materia orgánica produciendo un impacto restaurador, este resultado tiene un efecto completamente contrario a lo que sucede cuando se realizan aplicaciones de fertilizante nitrogenados, pues con el tiempo, estos últimos acidifican los suelos (Chen et al., 2022) disminuyendo su fertilidad.

Las investigaciones hechas hasta el día de hoy muestran, que el uso de vermicomposta tiene un claro provecho en plantas, sobre todo en hortalizas y también en suelo, como sanador, conservador de la humedad, realizando control de patógenos y que como resultado, se obtienen mayores cosechas (Asaf et al., 2021; Awadhpersad et al., 2021; Liu et al., 2019; Sarker y Kashem 2021; Öztürkci y Akköprü 2021; Wojciech-Przemieniecki et al., 2021), del mismo modo, logra dar estabilidad al contenido de materia orgánica, al mismo tiempo que pone a disposición nutrientes para las plantas (Yu et al., 2022). Así mismo, la aplicación de vermicomposta reduce la abundancia de genes resistentes a antibióticos que se encuentran en el estiércol y aumenta el número de bacterias benéficas, promoviendo una agricultura sostenible (Mu et al., 2023).

Diversos estudios muestran los efectos benéficos del uso de vermicomposta; por ejemplo en una región árida de África, el vermicompostaje a partir de estiércol de cabra se empleó para poder producir alimentos en tierras donde antes no era posible, de tal modo que lograron reducir la pérdida de productos perecederos a causa del transporte, en el mismo estudio, Ndiipohamba-Katakula et al. (2021) encontraron que al mezclar estiércol de cabra con desechos verdes durante el proceso de vermicompostaje, se liberan entre la semana diez y doce más nutrientes y aumentaba la tasa de biodegradación, lo que supone una mejor nutrición para las plantas. Del mismo modo, Liu et al. (2019) afirman que, al usar vermicomposta y ácido húmico se incrementan en el suelo los macroagregados y disminuyen los niveles de sal, estos mismos autores al estudiar el ciclo de cultivo de maíz notaron que el aprovechamiento de nutriente por parte de la

planta se daba en la etapa vegetativa, mientras que en la etapa reproductiva había una absorción mayor de potasio; gracias a la aplicación de vermicomposta los nutrientes estuvieron disponibles en el momento adecuado. De igual manera, Asaf et al. (2021) afirman que al usar vermicomposta en fresa se incrementa el número de frutos, la calidad, así como la absorción de macronutrientes y micronutrientes en las plantas. Al igual, Ose et al. (2021) en plantas de *Dracocephalum moldavica* tratadas con vermicomposta, aumentaron la concentración de clorofila, mejoraron el estado fisiológico así como la producción de biomasa. Awadhpersad et al. (2021) observaron mayor número de frutos en tomate con el uso de vermicomposta líquida y sólida, así como un mayor porcentaje de potasio libre para las plantas. También Sarker y Kashem (2021) tuvieron resultados positivos al usar vermicomposta con zinc y boro en el cultivo de col (*Brassica oleracea* L. var. capitata L.), resultando en un mayor número de cabezas y aumento en las medidas del diámetro en las bolas de esta hortaliza, en contraste del fertilizante mineral. Rekha et al. (2018), basados en los efectos de la vermicomposta en el crecimiento de frutos de chile (*Capsicum annuum* L.) comparados con plantas tratadas con ácido giberélico, detectaron que, la vermicomposta puede usarse como fertilizante ofreciendo mejores resultados.

Por otra parte, Wojciech-Przemieniecki et al. (2021) al verter vermicomposta al sustrato de vivero mejoraron la biometría en las plantas de *Larix decidua*, aumentaron el nivel de micorrizas en el sustrato utilizado y bajaron el nivel de nemátodos dañinos, estos efectos generaron confianza en la vermicomposta para usarla como un método de protección para suelos agrícolas. Del mismo modo Öztürkci y Akköprü (2021), con la aplicación de vermicomposta redujeron en un 48% la enfermedad conocida como tizón del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), al bajar los índices del patógeno, y aumentaron el crecimiento de la raíz.

Nurhidayati et al. (2018), al usar la vermicomposta como fertilizante, observaron que tiene efectos a largo plazo sobre la producción de mostaza Pak-Col (*Brassica Rapa Chinensis*) en al menos cuatro ciclos seguidos de cultivo. Por otra parte, Demir Z. (2021), midió una mayor retención de humedad en el suelo al agregar

vermicomposta en comparación con los suelos que no recibieron tratamiento. Una señal de un suelo sano es la estructura, al respecto Wang et al. (2021a) al usar vermicomposta y biocarbón como enmiendas observaron mejora en las propiedades físicas, lo que condujo hacia un incremento en la calidad y rendimiento de *Cucumis sativus*.

En este sentido, los beneficios encontrados a partir del uso de las excretas de lombrices son notables, pero también aportan otro bien al medio ambiente. Estos anélidos generan sustancias que excretan a través de la piel cuando se encuentran bajo un estrés por metales, logrando que bacterias benéficas se propaguen por el suelo, Alshehrei y Ameen hallaron que el vermicompostaje es una tecnología para mitigar residuos de desechos orgánicos; y además, para reducir la contaminación por metales (Alshehrei & Ameen, 2021).

Los metales pesados son un problema en las tierras de cultivo, Wang et al. (2021b) al usar vermicomposta y polvo de cáscara, disminuyeron los niveles de cadmio asimilable en *Lactuca sativa* y, aumentaron el pH, intercambio catiónico, catalasa, invertasa y ureasa del suelo. En otro estudio, Wang et al. (2022) demostraron que al usar vermicomposta junto con vermireactores minerales se induce al crecimiento de apio (*Apium graveolens*) y col (*Brassica oleracea* var. Capitata), de esta forma baja la concentración de plomo en el tejido comestible por efecto de dilución, además de reducir el problema de contaminación en el suelo. En este marco y con los resultados mostrados, la vermicomposta se posiciona como una alternativa para mantener sano el medio ambiente, evitar contaminación, mejorar la fertilidad de las plantas y suelo.

#### **1.5.8. *Ficus carica* L., un cultivo alternativo**

El higo es un fruto de origen asiático, en los últimos años ha tenido una gran aceptación; y a pesar de ser de los primeros frutales cultivados en la historia (Meziant et al. 2021; Reza-Morovati et al., 2022), recientemente se empieza a conocer los beneficios que aporta a la dieta.

**Cuadro 1.** Valores nutricionales de *Ficus carica* L. en 100 gr de fruto fresco.

| <b>Concentración<br/>nutricional</b> | <b>Concentración</b> |
|--------------------------------------|----------------------|
| Energía                              | 74 kcal              |
| Proteínas                            | 1.2 gr               |
| Calcio                               | 35 mg                |
| Magnesio                             | 17 mg                |
| Hierro                               | 0.6 mg               |
| Fósforo                              | 22.5 mg              |
| Potasio                              | 16 mg                |
| Fibras                               | 3 gr                 |
| Grasas                               | 0.2-0.3 gr           |
| Hidratos de carbono                  | 15.4-19.2 gr         |
| Zinc                                 | 0.3 mg               |
| Sodio                                | 2 mg                 |
| Tiamina                              | 0.06 mg              |
| Riboflavina                          | 0.05 mg              |
| Niacina                              | 0.5 mg               |
| Vitamina B <sub>6</sub>              | 0.11 mg              |
| Vitamina C                           | 2 mg                 |
| Vitamina A                           | 8 µg                 |

(Garza-Villareal, 2020; Moreiras et al, 2013)

También, análisis realizados han dado a conocer el potencial en la actividad farmacológica (Ayuso et al., 2022; Purnamasari et al., 2019; Yang et al., 2023; Yeganehzad et al., 2022).

De acuerdo con FAOSTAT, son 54 países que producen higo en 218,729 hectáreas y con un promedio de 6.5 t ha<sup>-1</sup>. En 2018 la producción de higo alcanzó 1,000,000 de toneladas. Turquía encabezó la producción con un 26.7%, seguido de Egipto, Marruecos, Argelia e Irán, sin embargo el país que más rendimiento obtuvo por hectárea fue Colombia superando las 10 t ha<sup>-1</sup>, seguido de

Uzbekistán, Israel, Chipre, Macedonia (Nte.), Albania, Japón, E. U. y Yemen (FAOSTAT, 2020).

Por su parte, México tiene condiciones edafoclimáticas óptimas para el cultivo de higo, gracias a ello, en 2018 quince estados de la república reportaron cultivos comerciales, Morelos es el que mayor superficie de este fruto reporta (516.5 ha), Veracruz y Puebla también reportan buena superficie sembrada, estos tres estados tienen el 92.8% de superficie y aportan el 78.4% de la producción, de quince estados productores en la república mexicana, sólo Veracruz supera la producción promedio con  $12.4 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP, 2020).

En años recientes se han buscado sistemas de producción rentables y que a la vez no impliquen grandes intervenciones tecnológicas y de manejo, sobre todo para pequeños y medianos productores. En este sentido, el higo es un frutal donde las prácticas culturales requeridas son mínimas, incluso en las zonas de producción comercial de España no necesitan riego, y los productos fertilizantes y fitosanitarios son de bajo consumo para su producción (Galán et al., 2023), y la ventaja de que puede ofrecer dos cosechas al año; durante primavera y verano. Por otro lado, la demanda de higo a nivel mundial ha crecido y las estimaciones apuntan a que seguirá creciendo (Ayuso et al., 2022). En relación con esto, el higo se considera un frutal apto para establecerse en las zonas áridas gracias a la capacidad de adaptación, al gran valor nutricional y porque representa una oportunidad de negocio para los productores de la región. En este marco, este estudio pretende evaluar la respuesta que el higo presente a través de la fertilización con vermicomposta y si es una tecnología viable para su aplicación en la región.

A este respecto, la higuera mostró un mayor crecimiento de tallo al utilizar vermicomposta sólida y líquida en comparación de fertilizantes de síntesis química, al mismo tiempo que se mantuvo sano el sistema planta ambiente, estos resultados reportados por Del Ángel-Ocampo et al. (2021), si bien dan un adelanto del potencial del uso de la vermicomposta, es necesaria la evaluación de la respuesta fisiológica que presenta el frutal, simultáneamente, conocer los

efectos físico químicos en el suelo, asimismo, es necesario comparar la respuesta del uso de vermicomposta en diferentes regiones ecológicas de México. Del Ángel Ocampo desarrolló el estudio en Puebla, región completamente diferente a la que se presenta en la zona árida del norte de México.

En tal sentido, la vermicomposta puede aportar los nutrientes necesarios al suelo y a la higuera, y como lo señala Gaaliche et al. (2019), que el proceso metabólico de la higuera está influenciado por macronutrientes y micronutrientes. En esta línea, Márquez (2019), encontró variaciones nutrimentales en higueras, deficiencia de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en cada ciclo de cultivo en la Comarca Lagunera, aunque se puede resolver con fertilizantes sintéticos, la tendencia actual es el uso de fertilizantes orgánicos con el fin de promover la sustentabilidad de los recursos. Una alternativa, es la vermicomposta, ya que puede aportar los nutrimentos esenciales en el proceso de nutrición de la higuera, además de mostrar una respuesta de producción y adaptabilidad aún bajo condiciones de escasos recursos.

En relación a esto, Ammar et al. (2020) indicó, que la higuera es una planta que muestra un desarrollo satisfactorio en suelos con bajos niveles de materia orgánica, baja fertilidad, moderada condición salina, y bajos niveles de humedad, estas condiciones son características de zonas áridas y muy similares a los de la región de estudio, esta misma investigación proporcionó información que al adicionar vermicomposta al sustrato para la producción de higuera se puede eficientar el uso de agua en las zonas áridas, y se logra disminuir en un 50% el uso del recurso hídrico.

Aún con las investigaciones anteriores, el estudio en frutales es poco. En higo la información en cuanto al uso de enmiendas es escasa, y con vermicomposta no hay literatura que aporte datos acerca de dosis, fuentes de materia orgánica en el vermicompostaje, los efectos en procesos fisiológicos, crecimiento de plantas y el cambio que pueda tener en las condiciones fisicoquímicas del suelo.



## 1.6 Literatura citada

- Al-Rashed, Muhammad., Sefelnasr, Ahmed., Sherif, Mohsen., Murad, Ahmed., Alshamsi, Dalal., Aliawi, Amjad., Ebraheem-Abdel, Azim. (2023). Novel concept for water scarcity quantification considering nonconventional and virtual water resources in arid countries: Application in Gulf Cooperation Council countries. *Science of The Total Environment*, 882,163473. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163473>.
- Alshehrei, F., & Ameen, F. (2021). Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3284-3293. doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.072
- Ammar, A., Ben-Aissa, I., Mars, M., & Gouiaa, M. (2020). Comparative physiological behavior of fig (*Ficus carica* L.) cultivars in response to water stress and recovery. *Scientia Horticulturae*, 260(108881). doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108881
- Asaf, D. E., Yavuz, A., & Erdogan, U. (2021). The Effects of Vermicompost Applications on the Yield and Quality of San Andreas (*Fragaria x ananassa* Duch.) Strawberry Variety. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9, 2641-2648. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9isp.2641-2648.4950>
- Awadhpersad, V., Ori, L., & Adil, A. A. (2021). Production and effect of vermiwash and vermicompost on plant growth parameters of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Suriname. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 10(4), 397-413. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1911898.114>
- Ayuso, Manuel., Carpena, Mari., Taofiq, Oludemi., Gonçalves-Albuquerque, Tânia., Simal-Gandara, Jesus., P.P.-Oliveira, M. Beatriz., Prieto, Miguel A., C.F.R.-Ferreira, Isabel., & Barros, Lillia. (2022). Fig “*Ficus carica* L.” and its by-products: A decade evidence of their health-promoting benefits towards the development of novel food formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.010>
- Cao, Yune., Tian, Yongqiang., Wu, Qing., Li, Jianshe., & Zhu, Hongyan. (2021). Vermicomposting of livestock manure as affected by carbon-rich additives (straw, biochar and nanocarbon): A comprehensive evaluation of earthworm performance, microbial activities, metabolic functions and vermicompost quality. *Bioresource Technology*, 320(Part B), 124404. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124404>.
- Chekwube-Enebe, Matthew., & Erasmus, Mariana. (2023). Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345(118585). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>.
- Chen, D., Wang, X., Carrión, V., J., Yin, S., Yue, Z., Liao, Dong, Y., & Li, X. (2022). Acidic amelioration of soil amendments improves soil health by impacting

- rhizosphere microbial assemblies. *Soil Biology and Biochemistry*, 167(108599). doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108599
- CONAPO. (2023). Día Mundial de la Población. Las Proyecciones de la Población de México para los próximos 50 años: 2020-2070. Comunicado. <https://www.gob.mx/conapo/prensa/dia-mundial-de-la-poblacion-las-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-para-los-proximos-50-anos-2020-2070?idiom=es>
- Del Ángel-Ocampo, M., Martínez-Dávila, J. P., López-Romero, G., & Cruz-Hernández, J. (2021). Pilot strategy for leachate technology transfer for fig in Ixehuaco, Xochiapulco, Puebla, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24 (69), 1870-0462. <http://www.scielo.org.mx/cgi-bin/wxis.exe/iah/>
- Demir, Z. (2021). Effects of vermicompost applications on Atterberg Limits and workability of soils under different soil moisture contents. *Eurasian Journal of Soil Science*, 10(3), 215-221. <https://doi.org/10.18393/ejss.888643>
- Dohaish, EJAB. (2020). Vermicomposting of Organic Waste with *Eisenia fetida* Increases the Content of Exchangeable Nutrients in Soil. *Pak J Biol Sci*, 23(4):501-509. doi: 10.3923/pjbs.2020.501.509.
- FAO & UNEP. (2021). Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome. 84 p. <https://doi.org/10.4060/cb4827en>
- FAO. (2005). Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO: riego y drenaje. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/x0490s>
- FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- FAOSTAT. (2020). Cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/statistics/es/>
- Ferraz-Ramos, Rodrigo., Almeida-Santana, Natielo., de Andrade, Nariane., Scheffer-Romagna, Izabelle., Tirloni, Bárbara., de Oliveira-Silveira, Andressa., Domínguez, Jorge., & Seminoti-Jacques, Rodrigo Josemar. (2022). Vermicomposting of cow manure: Effect of time on earthworm biomass and chemical, physical, and biological properties of vermicompost. *Bioresource Technology*, 345(126572). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126572>.
- Ferreira-S. S, Carla., Seifollahi-Aghmiuni, Samaneh., Destouni, Georgia., Ghajarnia, Navid., & Kalantari, Zahra. (2022). Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of The Total Environment*, 805(150106). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>.
- Flores-M, Dora., & Jiménez-B, Vilma. (2007). Desarrollo del cultivo del higo (*Ficus carica*) para consumo fresco y procesado, como una alternativa de

- diversificación para el sector agrícola. [Informe Final]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 93 p. [https://Desarrollo del cultivo del higo \(\*Ficus carica\*\) para consumo fresco y procesado, como una alternativa de diversificación para el sector agrícolafrutales.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/01/h-04-desarrollo-del-cultivo-del-higo1.pdf](https://Desarrollo%20del%20cultivo%20del%20higo%20(Ficus%20carica)%20para%20consumo%20fresco%20y%20procesado,%20como%20una%20alternativa%20de%20diversificaci%C3%B3n%20para%20el%20sector%20agr%C3%ADCOLAfrutales.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/01/h-04-desarrollo-del-cultivo-del-higo1.pdf)
- Flores-Sánchez, Brenda., Segura-Castruita, Miguel Ángel., Fortis-Hernández, Manuel., Martínez-Corral, Luime., Aldaco-Nuncio, Rogelio Armando., & Orozco-Vidal, Jorge Arnaldo. (2015). Solarized manure amendments in aggregate stability of cultivated Aridisols from Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(7), 1543-1555. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n7/v6n7a10.pdf>
- Fragoso-González, C. E. (2000). Importancia de las lombrices de tierra (*Oligochaeta*) en el monitoreo de áreas prioritarias de conservación del centro, este y sureste de México. Instituto de Ecología. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto L301. México, D. F.
- Gaaliche, B., Ladhari, A., Zarrelli, A., & Ben-Mimoun, M. (2019). Impact of foliar potassium fertilization on biochemical composition and antioxidant activity of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, 253, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.024>
- Galán, A.J., Martín, A., Torres-Vila, L.M., Ruiz-Moyano, S., Galván, A.I., Serradilla, M.J., & López-Corrales, M. (2023). Quantification and identification of damage caused by pests and fungi in dried figs from orchards with different levels of agronomic management in the main production areas of Extremadura (SW Spain). *Crop Protection*, 172(106334). <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106334>.
- Garza-Villareal, Bernabé R. (2020). Cultivo higo variedad Black Mission superficie beneficiada: 5 hectáreas riego por goteo en cielo abierto con espalderas en Tamaulipas con una población de 1500 árboles por hectárea. Consultoría Experta en negocios de Agricultura, ganadería y Forestales. <https://agronegociosintegrados.blogspot.com/2020/07/cultivo-higo-variedad-black-mission.html>
- GCMA. (2023). Comercio Exterior Hortofrutícola. Acumulado Enero-Julio 2023 vs 2022. <https://gcma.com.mx/reportes/comercio-exterior/hortofruticola/>
- Getachew-Gebrehana, Zerihun., T.-Gebremikael, Mesfin., Beyene, Sheleme., Sleutel, Steven., L.-Wesemael, Wim M., & De Neve, Stefaan. (2023). Organic residue valorization for Ethiopian agriculture through vermicomposting with native (*Eudrilus eugeniae*) and exotic (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*) earthworms. *European Journal of Soil Biology*, 116(103488). <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103488>.
- Guo, Xueping; Akram, Sina; Stedtfeld, Robert; Johnson, Martina; Chabrelie, Alexandre; Yin, Daqiang; & Mitchell, Jade. (2021). Distribution of antimicrobial resistance across the overall environment of dairy farms – A

- case study. *Science of The Total Environment*, 788,147489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147489>.
- Hydro Environment. (2024). Guía de cultivo de Higo. Innovación Agrícola. [https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=466](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=466).
- INEGI. (2022). Resultados oportunos del censo agropecuario 2022. Comunicado de prensa Núm. 312/23. 31 de mayo de 2023. p. 1-8.
- INIFAP. (2021b). Manejo del riego por goteo en el cultivo de higuera en Baja California Sur. [Folleto]. Núm. 72. [https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/\\_Content?/=12311](https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=12311)
- INIFAP. (2021a). Reporte Anual 2021. Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano. CIR – NORTE CENTRO.
- INTAGRI. (2019). Producción de Higo en México. Frutales. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/produccion-de-higo-en-mexico>
- Jing-Zhang, Yu., Wei-Hu, Hang., Lin-Chen, Qing., K.-Singh, Brajesh., Yan, Hui., Chen, Deli., & Zheng-He, Ji. (2019). Transfer of antibiotic resistance from manure-amended soils to vegetable microbiomes. *Environment International*, 130(104912). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104912>.
- Jin, Tao., Zhang, Xiao., Wang, Tingting., Liang, Jichao., Ma, Wei., Xie, Jiancang. (2024). Spatiotemporal impacts of climate change and human activities on blue and green water resources in northwest river basins of China. *Ecological Indicators*, 160,111823. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111823>.
- Kuppusamy, Saranya., Venkateswarlu, Kadiyala., Megharaj, Mallavarapu., Sellappa, Kanmani., & Bok-Lee, Yong. (2023). Contamination of long-term manure-fertilized Indian paddy soils with veterinary antibiotics: Impact on bacterial communities and antibiotics resistance genes. *Applied Soil Ecology*, 192(105106). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105106>.
- Liang, Jinsong., Mao, Guannan., Yin, Xiaole., Ma, Liping., Liu, Lei., Bai, Yaohui., Zhang, Tong., & Qu, Jiuhui. (2020). Identification and quantification of bacterial genomes carrying antibiotic resistance genes and virulence factor genes for aquatic microbiological risk assessment. *Water Research*, 168(115160). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115160>.
- Liu, M., Wang, Ch., Wang, F., & Xie, Y. (2019). Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Applied Soil Ecology*. 142, 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.024>
- Ma, Lixia., Hou, Kang., Tang, Haojie., Liu, Jiawei., Wu, Siqi., Li, Xuxiang., & Sun, Pengcheng. (2023). A new perspective on the whole process of ecological vulnerability analysis based on the EFP framework. *Journal of Cleaner Production*, 426, 139160. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139160>.

- Márquez, G. S. Y. (2019). Dinámica nutrimental del cultivo de higo (*Ficus carica* L.) bajo sistemas de producción intensivas. [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo, <http://aedt.chapingo.edu.mx/handle/20.500.12098/830>
- Martínez-Morales, Imelda. (s.f.). La acumulación de estiércol en los pastizales ganaderos. Red de Ecoetología. INECOL. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/408-la-acumulacion-de-estiercol-en-los-pastizales-ganaderos>
- Mazcorro, Baldomero. (2022). Alfalfa, más que un forraje. CIMMYT. Noticias. <https://idp.cimmyt.org/alfalfa-mas-que-un-forraje/>
- Mendieta-Mendoza, Aurora., Renteria-Villalobos, Marusia., Randall, Hanson., Ruíz-Gómez, Sarahi., Ríos-López, Martín. (2023). Chemical degradation of agricultural soil under arid conditions by the accumulation of potentially toxic elements and salts. *Geoderma Regional*, 35, e00736. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00736>.
- Meziant, Leila., Bachir-bey, Mostapha., Bensouici, Chawki., Saci, Fairouz., Boutiche, Malika., & Louaileche, Hayette. (2021). Assessment of inhibitory properties of flavonoid-rich fig (*Ficus carica* L.) peel extracts against tyrosinase,  $\alpha$ -glucosidase, urease and cholinesterases enzymes, and relationship with antioxidant activity. *European Journal of Integrative Medicine*, 43(101272). <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2020.101272>.
- Montemayor-Trejo, José Alfredo., Aguirre-Aguiluz, Herman Walter., Olague-Ramírez, Jesús., Román-López, Abel., Rivera-González, Miguel., Preciado-Rangel, Pablo., Montemayor-Trejo, Isabel del Rocío., Segura-Castruita, Miguel Ángel., Orozco-Vidal, Jorge Arnaldo., & Yescas-Coronado, Pablo. (2010). Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(2), 145-156. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242010000200006&lng=es&tling=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000200006&lng=es&tling=es).
- Moreiras, Olga., Carbajal, Ángeles., Cabrera, Luisa., & Cuadrado, Carmen. (2013). Tablas de composición de alimentos. Editorial Pirámide, 16° ed. Revisada y ampliada. <https://www.sennutricion.org/es/2013/05/14/tablas-de-composicin-de-alimentos-moreiras-et-al>
- Mu, Meirui., Yang, Fengxi., Han, Bingjun., Li, Qinfen., Ding, Yongzhen., & Zhang, Keqiang. (2023). Implications of vermicompost on antibiotic resistance in tropical agricultural soils – A study in Hainan Island, China. *Science of The Total Environment*, 891(164607). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164607>.
- Murillo-Montoya, Sergio Adrián., Mendoza-Mora, Alexander., Fadul-Vasquez, Carlos Julio. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de*

- Ndiipohamba-Katakula, A. A., Handura, B., Gawanab, W., Itanna, F., & Mupambwa, H. A. (2021). Optimized vermicomposting of a goat manure-vegetable food waste mixture for enhanced nutrient release. *Scientific African*, 12(e00727). <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00727>
- Nurhidayati, N., Machfudz, M., & Murwani, I. (2018). Direct and residual effect of various vermicompost on soil nutrient and nutrient uptake dynamics and productivity of four mustard Pak-Coi (*Brassica rapa* L.) sequences in organic farming system. *International Journal of Organic Waste Recycling in Agriculture*, 7, 173–181. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0203-0>
- ODEPA. (2022). Estudio. Fertilización sostenible y Gestión Integral de Nutrientes. SCI econometrics. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/72003/EstudioFertilizacionSustentable.pdf>
- Ose, A., Andersone-Ozola, U., & Levinsh, G. (2021). Substrate-Dependent Effect of Vermicompost on Yield and Physiological Indices of Container-Grown *Dracocephalum moldavica* Plants. *Agriculture*, 11(12), 1231. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121231>
- Öztürkci, Y., & Akköprü, A. (2021). Effects of Solid and Liquid Vermicompost Application on Bean Growth and Common Bacterial Blight Disease in Different Growth Medium. *International Journal of Agricultural and Wildlife Sciences*, 7 (1), 30-40. <https://doi.org/10.24180/ijaws.7895>
- Penn State Extension. (2023). La Reducción de los Riesgos que Proviene de los Animales y el Estiércol. Departamento de Agricultura de Pennsylvania y el Fondo de Reinversión. <https://extension.psu.edu/la-reduccion-de-los-riesgos-que-proviene-de-los-animales-y-el-estiercol>
- PROAIN. (2020). Las necesidades hídricas en la producción de sandía. [Boletín]. Proain Tecnología Agrícola. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/las-necesidades-hidricas-en-la-produccion-de-sandia>
- Purnamasari, Risa., Winarni, D., Permanasari, AA., Agustina, E., Hayaza, S., & Darmanto, W. (2019). Anticancer Activity of Methanol Extract of *Ficus carica* Leaves and Fruits Against Proliferation, Apoptosis, and Necrosis in Huh7it Cells. *Cancer Informatics*. 18. doi:10.1177/1176935119842576
- Rekha, G. S., Kaleena, P. K., Elumalai, D., Srikumaran, M. P., & Maheswari, V. N. (2018). Effects of vermicompost and plant growth enhancers on the exomorphological features of *Capsicum annum* (Linn.) Hepper. *Int J Recycl Org Waste Agricult*, 7, 83–88. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0191-5>
- Representación Lagunera – Subdelegación de Planeación. (2024). Producción Agropecuaria y el Clima. Región Lagunera. [Boletín Informativo]. Núm. 4. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892305/BOLET\\_N\\_INF\\_PROD\\_AGROP\\_Y\\_CLIMA\\_4.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892305/BOLET_N_INF_PROD_AGROP_Y_CLIMA_4.pdf)

- Reza-Morovati, Mohammad., Ghanbari-Movahed, Maryam., M.-Barton, Emily., Hosein-Farzaei, Mohammad., & Bishayee, Anupa. (2022). A systematic review on potential anticancer activities of *Ficus carica* L. with focus on cellular and molecular mechanisms. *Phytomedicine*, 105(154333). <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154333>.
- Rojas-Martínez, Agustín., & Torres-Torres, Felipe. (2019). Agricultural Soil in Mexico: Retrospection and Prospective for Food Security. INEGI. Realidad, Datos y Espacio. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*. 9(3). 137-155. <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2019/01/25/suelo-agricola-en-mexico-retrospeccion-prospectiva-la-seguridad-alimentaria/>
- Sarker, M., & Kashem, M. (2021). Performance of vermicompost in zinc and boron nutrition for quality production of cabbage. *Eurasian J. Soil Sci*, 10(2): 161 - 170. <https://doi.org/10.18393/ejss.859136>
- Shi, Linlin., Zhang, Ping., Xu, Jun., Wu, Xiaohu., Pan, Xinglu., He, Lin., Dong, Fengshou., & Zheng, Yongquan. (2023). Systematic assessment of cyflumetofen toxicity in soil-earthworm (*Eisenia fetida*) microcosms. *Journal of Hazardous Materials*, 452(131300). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131300>.
- SIAP. (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-estadisticos-de-la-produccion-agricola-generada-a-nivel-nacional>
- SIAP. (2022c). Panorama Agroalimentario 2022. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://online.pubhtml5.com/aheiy/gryd/#p=1>
- SIAP. (2022b). Panorama Agroalimentario 2021. Publicaciones SIAP. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-2022](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-2022)
- SIAP. (2022a). Anuario estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2023). Expectativas Agroalimentarias 2023. Fertilizantes. Análisis de Estructura. Consumo Nacional. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2023/Expectativas-2023](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2023/Expectativas-2023)
- Sifuentes-Ibarra, Ernesto., Samaniego-Gaxiola, José Alfredo., Anaya-Salgado, Antonio., Núñez-Moreno, Jesús Humberto., Valdez-Gascón, Benjamín., Gutiérrez-Soto, Rosario Guadalupe., Ruelas-Islas, Jesús del Rosario., & Macías-Cervantes, Jaime. (2015). Irrigation scheduling in pecan (*Carya illinoensis*), through an integrated model based on thermal time. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(8), 1893-1902. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000801893&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801893&lng=es&tlng=en).

- Song, Mengyuan., Li, Jiafan., Gao, Lihong., & Tian, Yongqiang. (2023). Comprehensive evaluation of effects of various carbon-rich amendments on overall soil quality and crop productivity in degraded soils. *Geoderma*, 436(116529). <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116529>.
- Thelen, K.D., Fronning, B.E., Kravchenko, A., Min, D.H., & Robertson, G.P. (2010). Integrating livestock manure with a corn–soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass and Bioenergy*, 34(7), 960-966. Los <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.02.004>.
- TREID. (2022). Exportaciones de frutas desde México entre enero de 2021 y enero de 2022. Blog. <https://www.treid.co/post/exportaciones-de-frutas-desde-mexico-entre-febrero-de-2021-y-febrero-de-2022>
- UNCCD. (2022). The Global Land Outlook, second edition. UNCCD, Bonn. <https://www.unccd.int/resources/global-land-outlook/overview>
- UNFPA. (2023). Informe sobre el Estado de la Población Mundial 2023. 8.000 millones de vidas, Infinitas posibilidades. Argumentos a favor de los derechos y libertades. <https://www.unfpa.org/sites/default/files/wop23/SWOP2023-SPANISH-230403-web.pdf>
- Wang, F., Miao, L., Wang, Y., Zhang, M., Zhang, H., Ding, Y., & Zhu, W. (2022). Using cow dung and mineral vermireactors to produce vermicompost for use as a soil amendment to slow Pb<sup>2+</sup> migration. *Applied Soil Ecology*, 170(104299). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104299>
- Wang, F., Wang, X., & Song, N. (2021a). Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 315(107425). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107425>
- Wang, F., Zhang, W., Miao, L., Ji, T., Wang, Y., Zhang, H., Ding, Y., & Zhu, W. (2021b). The effects of vermicompost and shell powder addition on Cd bioavailability, enzyme activity and bacterial community in Cd-contaminated soil: A field study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 215(112163). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112163>
- Wang, Feifei., Shan, Haiying., & Wang, Zhiyi. (2020). On some properties of the  $\alpha$ -spectral radius of the k-uniform hypergraph. *Linear Algebra and its Applications*, 589, 62-79. <https://doi.org/10.1016/j.laa.2019.12.010>.
- Wojciech-Przemieniecki, S., Skwiercz, A., Damszel, M., Telesiński, A., Zapałowska, A., Sierota, Z., & Gorczyca, A. (2021). Ecology, biology and enzymatic activity of the rhizosphere planted with *Larix decidua* seedlings after addition of vermicompost. *Applied Soil Ecology*, 168(104101). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104101>



- Yang, Qiuxia., Liu, Yingjun., Guo, Yushan., Jiang, Yueming., Wen, Lingrong., & Yang, Ba. (2023). New insights of fig (*Ficus carica* L.) as a potential function food. *Trends in Food Science & Technology*, 140(104146). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104146>.
- Yeganehzad, Samira., Kiumarsi, Maryam., Nadali, Narjes., & Rabie-Ashkezary, Mansou. (2022). Formulation, development and characterization of a novel functional fruit snack based on fig (*Ficus carica* L.) coated with sugar-free chocolate. *Heliyon*, 6(e04350). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04350>
- Yu, Xiaolan., Li, Xiaoliang., Ren, Changqi., Wang, Jinchuang., Wang, Chaobi., Zou, Yukun., Wang, Xiongfei., Li, Guangyi., & Li, Qinfen. (2022). Co-composting with cow dung and subsequent vermicomposting improve compost quality of spent mushroom. *Bioresource Technology*, 358(127386). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127386>.
- Yuvaraj, Ananthanarayanan., Karmegam, Natchimuthu., Tripathi, Sudipta., Kannan, Soundarapandian., & Thangaraj, Ramasundaram. (2020). Environment-friendly management of textile mill wastewater sludge using epigeic earthworms: Bioaccumulation of heavy metals and metallothionein production. *Journal of Environmental Management*, 254(109813). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109813>.
- Zhang, Qingming., Saleem, Muhammad., & Wang, Caixia. (2019). Effects of biochar on the earthworm (*Eisenia fetida*) in soil contaminated with and/or without pesticide mesotrione. *Science of The Total Environment*, 671, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.364>
- Zhu, Lin., Lian, Yulu., Lin, Da., Huang, Dan., Yao, Yanlai., Ju, Feng., & Wang, Meizhe. (2022). Insights into microbial contamination in multi-type manure-amended soils: The profile of human bacterial pathogens, virulence factor genes and antibiotic resistance genes. *Journal of Hazardous Materials*, 437(129356). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129356>.

## CAPÍTULO II

### Fuentes de estiércol, sobrevivencia de *Eisenia fetida* y características de vermicomposta elaborada

#### 2.1. RESUMEN

La transformación de los desechos orgánicos realizada por lombrices, suponen un elemento primordial en el principio de sostenibilidad de los recursos. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la sobrevivencia de *Eisenia fetida*, cambio en el comportamiento en pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y sodio generada a partir de tres fuentes de estiércol (bovino, ovino y caprino) a los 90 días de establecido el experimento. Se utilizaron nueve recipientes con seis kilogramos de estiércol de ganado bovino, ovino y caprino respectivamente, donde se colocó un núcleo de 50 lombrices adultas en cada uno bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Se observó una mayor mortandad de lombrices en estiércol bovino, probablemente debido a la elevada CE y a un pH más alcalino. Por otra parte, la población de lombriz en estiércol ovino incrementó 4.8 veces y en estiércol caprino 6.86, en el cual fue estadísticamente superior ( $P \leq 0.05$ ). El pH se mantuvo alcalino para vermicomposta de ovino y caprino, en la fuente bovina el descenso llevó a un valor ligeramente ácido. La CE medida en la vermicomposta bovina descendió un 11% que el observado en estiércol. En MO hubo un ligero aumento de estiércol a vermicomposta, mostrando el mayor valor en vermicomposta de cabra (13.22%). La concentración de Na se mantuvo dentro de los rangos normales para los cultivos, teniendo como límite máximo 0.005%. El proceso mostró efectos positivos al transformar estiércol a vermicomposta, donde se revelaron mejores atributos y estabilidad del material orgánico, lo que benefició a la población de *Eisenia fetida* en los materiales de caprino y ovino.

**Palabras clave:** *Eisenia fetida*, estiércol, vermicomposta, sobrevivencia, desechos ganaderos.

#### 2.2. INTRODUCCIÓN

Los invertebrados con mayor masa que se pueden encontrar en el suelo son las lombrices, estas tienen un papel fundamental en la desintegración de material orgánico, de contaminantes y al mismo tiempo de enriquecimiento de nutrientes

(Shi et al., 2023). Estos organismos han sido utilizados en la evaluación de riesgos ambientales y ecotoxicidad de los suelos gracias a la alta capacidad de respuesta ante factores dañinos que las lleva a desarrollar mecanismos de defensa, por lo que son considerados organismos modelo (Zhang et al., 2019). Estos mecanismos de defensa incluyen expresión de anomalías en el sistema enzimático, mejoramiento en su sistema de reacción, cambio en su metabolismo y ajuste en su comportamiento (Shi et al., 2023). Esta sensibilidad a cambios en el medio ambiente puede llegar a ocasionar su desaparición en los lugares alterados o con disturbios (Fragoso-González, 2000). Así mismo, las lombrices presentan una baja vagilidad y gracias a ello tienen un amplio endemismo para trabajar en diferentes regiones ecológicas, es así que, se tiene gran variedad de especies que pueden ayudar a identificar el grado de deterioro y/o conservación de un área ecológica (Fragoso-González, 2000).

Una de las especies preferidas para la desintegración y estabilización de residuos orgánicos es *Eisenia fetida*, gracias a la adaptación que presenta en diferentes zonas ecológicas y su gran voracidad, convirtiéndolas en excelentes administradoras de residuos orgánicos mediante el proceso de fragmentación, son gestoras del suelo, mejoran la fertilidad de dichos residuos y promueven el crecimiento vegetal. Estos anélidos cuentan con catalizadores biológicos que usan en la descomposición de material orgánico (Chekwube-Enebe y Erasmus, 2023). Por lo tanto, la dieta de las lombrices es factor importante, pues de esto depende la microflora que excreten y los beneficios que brinden como fertilizante orgánico (Yuvaraj et al., 2020), sin dejar de lado el potencial reproductivo que puedan llegar a mostrar. En este sentido, probar diferentes materiales para la reproducción de *Eisenia fetida* es necesaria. Para que el proceso sea sustentable se tiene que aprovechar los recursos disponibles de la región en que se trabaje, con la finalidad de disminuir costos de producción y mitigar la contaminación que suponen los residuos orgánicos.

En la región de estudio, la industria ganadera representa una fuente de desechos orgánicos, misma que puede ser la materia prima para otros procesos. Estos

residuos pueden ser aprovechados para el proceso de cría de lombriz y generación de vermicomposta. La eficiencia del proceso estará determinada por la fuente del material orgánico, propiedades adecuadas en ellos pueden favorecer el desempeño de *Eisenia fetida* o menguarlo. En la Comarca Lagunera, el censo ganadero preliminar hasta el mes de agosto de 2023 registró una población de 976,430 cabezas de animales bovinos, 13,041 de ovinos y 406,054 de caprinos (SIAP, 2023), en este sentido, los desechos generados de esta población correspondieron a 17,819,847.5, 11,736.9 y 237,135.5 toneladas de estiércol en el año respectivamente y suponen una fuente de sales inorgánicas, patógenos, sulfuros, amonios y nitratos que pueden llegar a los mantos acuíferos, suponiendo en conjunto elementos de contaminación ambiental. En este sentido, la transformación de los desechos de la industria ganadera son un elemento primordial en el principio de sostenibilidad de los recursos. Estos desechos orgánicos son una fuente de alimento para *Eisenia fetida*, que por medio de la ingesta fragmenta la materia orgánica, proporcionando un sustrato ideal para la reproducción de su misma especie, también, estimulando la actividad biológica, gracias a la labor de lombrices y microorganismos, los residuos son degradados hasta que parcialmente empieza la mineralización y proceso de humificación, obteniendo un producto estable orgánico y disponible para la aplicación al suelo (Dohaish, 2020; Getachew-Gebrehana et al., 2023). La producción y calidad del material orgánico puede variar según la especie de lombriz que se utilice y del mismo alimento que se les proporcione, el producto final tiene gran potencial para la conservación del suelo, de su biodiversidad y aumenta el contenido de materia orgánica en él. Es por ello por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el potencial reproductivo de *Eisenia fetida* en tres fuentes de estiércol de ganado bovino, ovino y caprino, así mismo, medir el cambio químico en pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y sodio en estiércol y vermicomposta.

## 2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.3.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El presente estudio se estableció en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo campus Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, en Bermejillo, Durango, México. El sitio de estudio se ubica en las coordenadas 25°53'49.67"N y 103°36'16.99"O a una altura de 1114 msnm. Domina un clima BW (seco) con subtipo *hw* (muy seco semicálido), presentando temperatura media anual de 21°C, máximas de 41°C y mínimas de 9°C (INEGI, 2020).

### 2.3.2 Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. Se utilizó estiércol de ganado estabulado, correspondiente a bovino, ovino y caprino, colectado de una posta zootécnica de la misma Universidad Autónoma Chapingo. Para determinar el efecto de estiércol sobre la población de lombriz, expresada en número de lombrices, se utilizaron 9 contenedores donde se colocó en cada uno de ellos un núcleo de 50 lombrices adultas y 6 kg totales de cada material orgánico. En el Cuadro 2 se muestra la forma en que se manejó el experimento, que inició el 23 de mayo de 2022 con 2 kg de estiércol de cada una de las fuentes, al que se agregaron 50 lombrices, cada uno con tres repeticiones.

**Cuadro 2.** Relación alimento, tipo de estiércol, tiempo y extracción de lombrices evaluadas.

| Alimentación (2 kg en cada fase por unidad) | Tipo de estiércol | Fecha de alimentación y conteo         |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|
| 1 <sup>er</sup> alimento                    | Bovino            | 23/mayo/2022<br>Inicio del experimento |
|                                             | Ovino             |                                        |
|                                             | Caprino           |                                        |
| 2 <sup>do</sup> alimento                    | Bovino            | 06/junio/2022<br>15 días               |
|                                             | Ovino             |                                        |
|                                             | Caprino           |                                        |

---

|                          |         |                         |
|--------------------------|---------|-------------------------|
| 3 <sup>er</sup> alimento | Bovino  | 01/julio/2022           |
|                          | Ovino   | 40 días                 |
|                          | Caprino | Extracción de lombrices |
|                          |         | 20/agosto/2022          |
|                          |         | 90 días                 |

---

La unidad experimental correspondió a un contenedor plástico de 30 cm de diámetro y 35 cm de alto que contenía un núcleo de lombrices y estiércol humedecido al 100%. Estos fueron cubiertos con cartón y puestos bajo una malla sombra doble de 90% de reducción de luz. El experimento se realizó en verano, con temperaturas medias de 21°C, máximas de 41°C y mínimas de 9°C con vientos densos y calientes del NE al SO (INEGI, 2020).

La humedad dentro de cada unidad experimental fue monitoreada sólo para comprobar que estuviese en niveles adecuados, al agregar más alimento este ya contenía la humedad correspondiente. No fue necesario agregar más agua para elevar la humedad de la que ya se tenía.

### 2.3.3 Variables medidas

Se comparó el efecto de estiércol sobre la población de *Eisenia fetida* mediante la contabilización de lombrices en cada una de las repeticiones, para ello, en el último alimento agregado se les dio un periodo más prolongado para que terminaran por completo el alimento y obtener un material con mayor estabilidad.

Tanto en el estiércol empleado inicialmente como en la vermicomposta obtenida se determinó pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y concentración de sodio (Na). Debido a la nula sobrevivencia de lombrices en el estiércol de bovino y para continuar con el estudio, se utilizó composta tradicional de esta especie para generar vermicomposta del mismo. Las muestras fueron analizadas con el método 983.04 de la Asociación de Métodos Analíticos Oficiales

(2007), método Walkley y Black (1934) y para pH, CE de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT, 2000).

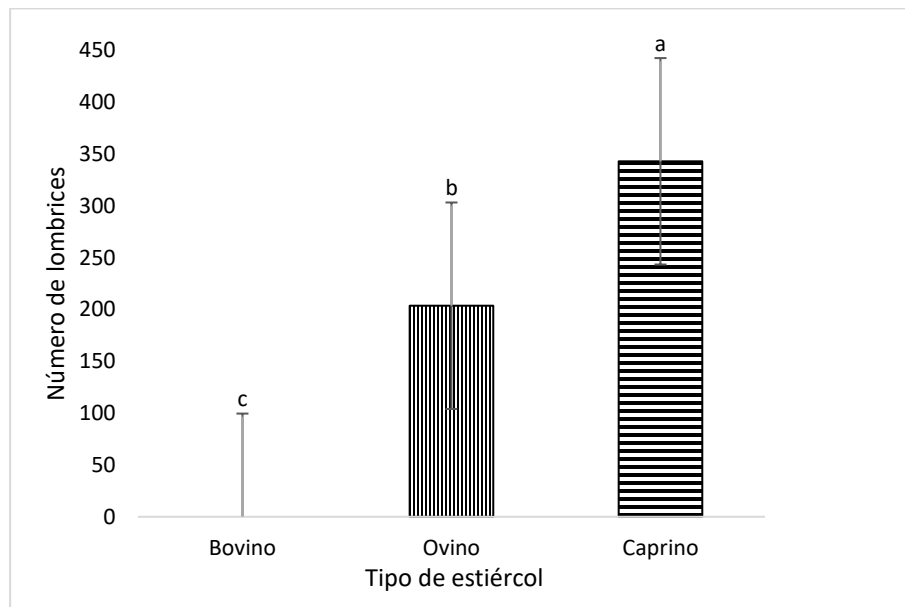
La base de datos se procesó con el programa InfoStat versión 2020 libre, con el que se realizó análisis de varianza, seguida de una prueba de ajuste de Kolmogorov para contrastar la normalidad de los datos, un análisis de residuos absolutos mediante prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## **2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **2.4.1 Sobrevivencia de *Eisenia fetida***

La fuente de estiércol tuvo un efecto significativo sobre la mortandad de lombrices (Figura 1), se observó que el estiércol bovino fue letal en esta especie. Resultados similares en esta misma fuente fueron atribuidos a las condiciones de cielo abierto (Gutiérrez-Vázquez et al., 2007). En este mismo sentido, se han observado crecimientos poblacionales de lombrices muy pobres en estiércol bovino, a pesar de registrar disminución en pH y CE que podían haber afectado la población de los anélidos (Morales-Munguía et al., 2009). En este estudio, los hallazgos indican que la mortandad total se debió probablemente a la elevada CE del material bovino inicial ( $13.52 \text{ mScm}^{-1}$ ) y a un pH más alcalino, así como a la probable presencia de antibióticos, los cuales se han encontrado en otras investigaciones (Congilosi y Aga, 2021; FAO & UNEP, 2021; Mu et al., 2023; Shen et al., 2024; Zhang et al., 2022). La elevada CE y el pH alcalino encontrados en este estudio, está relacionado con la alta sensibilidad que exhiben las lombrices al cambio en su medio, donde estos pueden ocasionar su desaparición (Fragoso-González, 2000). Por otra parte, también se han obtenido resultados favorables en reproducción de *E. andrei* y *E. Fetida* con estiércol bovino (Rodríguez-García et al., 2019), sin embargo, los resultados en esta investigación pueden deberse a la presencia de antibióticos antes mencionados, por lo que debe ser considerado en futuras investigaciones en la región de estudio.

En el estiércol de ovino y caprino, se observó un incremento de 4.08 y 6.86 veces respectivamente con relación a la población original de lombrices, mostrando este último una diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ) y mejores características para la producción de vermicomposta (Figura 1). Estos resultados muestran que el vermicompostaje con estiércol caprino y ovino tiene resultados favorables en la estabilización de materiales orgánicos, convirtiéndolos en un buen sustrato para la agricultura (Colín-Navarro, et al., 2019).



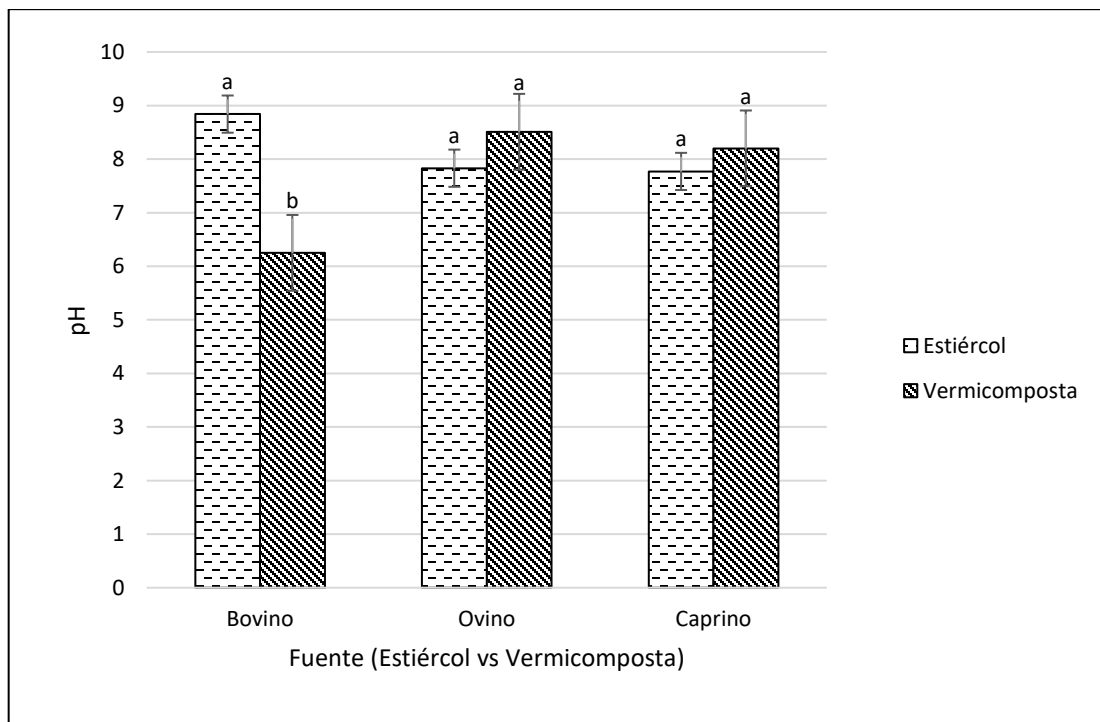
**Figura 1.** Población de *Eisenia fetida* en tres fuentes de estiércol. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n=3$  observaciones).

#### 2.4.2 pH

El pH en estiércol caprino fue de 7.7 y en estiércol ovino de 7.8, aumentando al terminar el proceso de vermicompostaje a 8.2 y 8.5 respectivamente (Figura 2), es probable que este efecto fuera determinado por la reducción de la materia orgánica al término del proceso (Gómez-Brandón et al., 2021; Gusain y Suthar, 2020) o a la ausencia de riego proporcionado durante el vermicompostaje debido a las condiciones iniciales del estiércol puro. En el caso de la vermicomposta bovino, este valor disminuyó 2.6 debido probablemente a la composta comercial



de bovino utilizada, previo al vermicompostaje. La necesidad de usar composta comercial de vacuno fue debido a la mortandad de *Eisenia fetida* causada por esta fuente durante el experimento. De ahí que el pH ácido en el material bovino pudo deberse a la utilización de la composta, pues con el uso de estiércol puro se han obtenido valores de 8.27 (Rincones et al., 2023). La reducción en pH para la fuente vacuna puede asociarse directamente con las lombrices, puesto que, tienen la capacidad de modificar las comunidades bacterianas del sustrato, cambiar el hábitat y suministro de nutrientes (Danish-Toor et al., 2024; Gong et al., 2019). Además, generan condiciones anaeróbicas donde se liberan ácidos orgánicos que ocasionan una disminución en el pH (Acosta-Durán et al., 2013). Por otro lado, el incremento de esta variable en las fuentes de ovino y caprino puede estar relacionado a la dieta de las lombrices, este factor es importante y de ello depende la microflora que excretan y los beneficios que brinden como fertilizante orgánico (Yuvaraj et al., 2020). En el mismo sentido, se ha observado que durante la transformación de la MO hay cambios químicos donde el pH cambia de ácido a alcalino, es decir, aumenta (Capistrán et al., 2004).

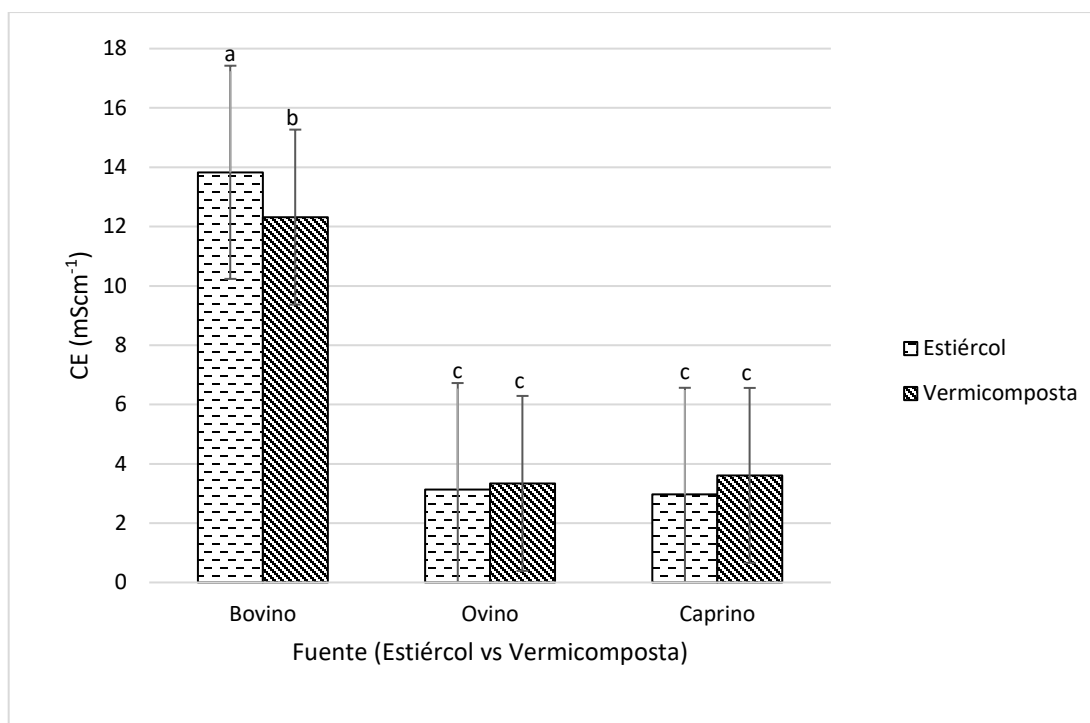


**Figura 2.** Cambios en pH durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha=0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n=3$  observaciones).

### 2.4.3 Conductividad eléctrica

En la figura 3 se muestra la conductividad eléctrica encontrada en las tres fuentes de estiércol y vermicomposta. La CE en estiércol bovino fue 78% mayor que en estiércol de ovino y caprino. En vermicomposta realizada a partir de composta tradicional de bovino, esta variable fue 72 y 70% superior a la observada en la fuente de ovino y caprino. La elevada CE fue muy probablemente la responsable de la mortandad de lombrices, ya que estos anélidos no toleran niveles altos de sales, lo cual reduce su desempeño (Solís-Pérez et al., 2010) o pone en peligro su sobrevivencia. En otros estudios el valor de CE para esta misma fuente ha registrado valores de 0.19 a 2.06 mScm<sup>-1</sup> (Che et al., 2020; Rincones et al., 2023) indicando que el uso de minerales en las dietas de ganado vacuno estabulado en la región de estudio incrementa considerablemente la CE (Atienza-Martínez et al., 2020; Trejo-Escareño et al., 2013), incluso se recomienda monitoreo anual a suelos que reciben enmiendas de estiércol bovino pues pueden alcanzar niveles de hasta 8 mScm<sup>-1</sup>, lo que repercute en el desarrollo de cultivos (Trejo-Escareño et al., 2013).

Entre estiércol y vermicomposta de bovino, la CE se redujo un 11%, estos resultados son muy probablemente al tratamiento de composteo tradicional realizado a esta fuente de estiércol antes de someterlo al vermicompostaje. Por el contrario, se observó un ligero incremento para el caso de ovino y caprino. Sin embargo, se han reportado aumentos en esta variable aunque con diferentes materiales para el proceso (Fereshteh & Somayeh, 2018; Lei et al., 2024). Estos resultados están asociados a que durante el proceso se liberan sales de fosfato, potasio, nitrato y amonio principalmente, lo que podría incrementar la CE (Lazcano et al., 2008; Soobhany et al., 2015). De lo anterior se puede deducir, que la dieta proporcionada a las lombrices puede modificar las características del material final obtenido (Yuvaraj et al., 2020).

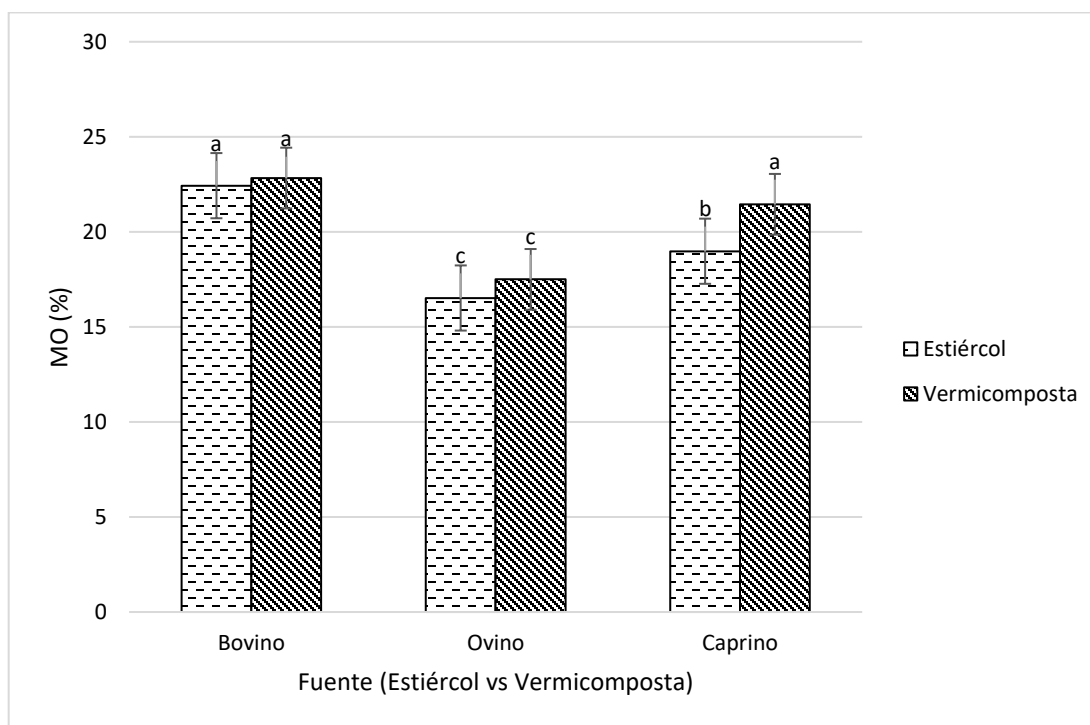


**Figura 3.** Cambios en conductividad eléctrica durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha=0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n=3 observaciones).

#### 2.4.4 Materia orgánica

El porcentaje de MO mostró un patrón similar en estiércol y vermicomposta (Figura 4). En estiércol se observaron porcentajes de 22.4, 16.5 y 18.9 para las fuentes de bovino, ovino y caprino respectivamente, mientras que en vermicomposta los valores fueron de 22.8, 17.5 y 21.4% para las fuentes mencionadas. Lo anterior presentó una tendencia hacia el incremento en MO para vermicomposta en comparación al estiércol, particularmente en la fuente caprina, con un aumento de 13.22%. La tendencia hacia mayor incremento en los estiércoles de ovino y caprino al transformarse, se debe posiblemente a la diferencia de alimentación para cada especie. Los hallazgos se vinculan con las lombrices, y al papel que juegan en la descomposición y nitrificación de la MO a través del efecto que ejercen sobre la biomasa microbiana, cambiando los parámetros fisicoquímicos del hábitat, mejorando la mineralización y potenciando la abundancia de microorganismos descomponedores que intervienen en la

degradación (Barthod et al., 2020; Danish-Toor et al., 2024; Lei et al., 2024). Es así, que la actividad biológica de lombrices y microorganismos degradan los residuos hasta que parcialmente empieza un proceso de humificación, obteniendo un producto con mayor estabilidad y con buenas características aprovechables para el suelo y cultivos (Dohaish, 2020; Khatua et al., 2018; Ndiipohamba-Katakula et al., 2021). De lo anterior se sabe que, las enmiendas orgánicas ofrecen un mayor contenido de MO (Bello et al., 2021).

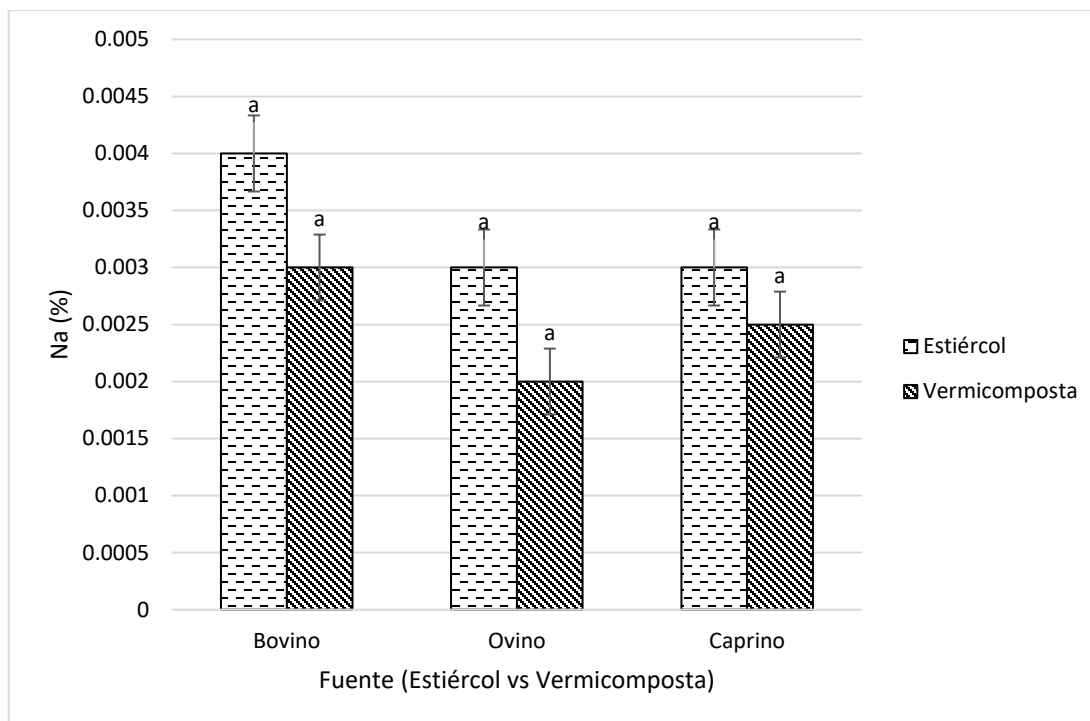


**Figura 4.** Cambios en la materia orgánica durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha=0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n=3$  observaciones).

#### 2.4.5 Sodio

El comportamiento en la concentración de Na en estiércol y vermicomposta fue similar en las tres fuentes (Figura 5), mostrando una disminución en la concentración del elemento durante el proceso de vermicompostaje. La mayor disminución se obtuvo en el tratamiento ovino, seguido del tratamiento bovino y caprino con un 33, 25 y 17% respectivamente. Aunque no se registraron

diferencias significativas, los rangos se encuentran dentro de los valores normales para un buen desarrollo en las plantas, teniendo como límite 0.005% Chen-Lopez (2023), ya que concentraciones más elevadas podrían afectar el desarrollo, síntesis de clorofila y la apertura y cierre de estomas como lo sugiere Patel y Mishra (2021). A pesar de que las sales pudieran lavarse en condiciones normales de vermicompostaje y obtener menores concentraciones de Na, en este estudio, las condiciones iniciales del estiércol no permitieron dicha práctica, imposibilitando la lixiviación. Otro aspecto importante se debe a la reducción del material inicial (Gómez-Brandón et al., 2021; Gusain y Suthar 2020), en este caso, se obtuvo un 33% de vermicomposta con relación al estiércol utilizado inicialmente, lo que mantuvo el contenido de Na. No obstante, el proceso de vermicompostaje disminuye la disponibilidad de Na, lo que muestra efectos positivos en la transformación de residuos ganaderos. Sin embargo, es recomendable que en suelos salinos y para aprovechar al máximo las propiedades químicas que brinda la vermicomposta, se puede aplicar en conjunto con fuentes de azufre para evitar estrés abiótico en las plantas (Bello et al., 2021), pues en presencia de materia orgánica mayor será el intercambio o retención de sodio (INTAGRI, 2015).



**Figura 5.** Cambios en sodio durante el proceso de vermicompostaje en tres tipos de materiales. Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n=3$  observaciones).

## 2.5. CONCLUSIONES

La sobrevivencia de *Eisenia fetida* depende estrechamente del tipo de material empleado como materia prima para el vermicomposteo, por su parte, la CE es uno de los factores que probablemente tengan la mayor influencia en la sobrevivencia de las lombrices. Los estiércoles de ovino y caprino ofrecieron mejores condiciones para el crecimiento y sobrevivencia de las lombrices. Ello permitió los cambios físicos, químicos y biológicos que llevaron a la obtención de composta de buena calidad con características diferenciadas del material original. El estiércol de caprinos fue la mejor materia prima para vermicompostaje con *Eisenia fetida*.

## 2.6. Literatura citada

Acosta-Durán, Carlos Manuel., Solís-Pérez, Ofelia., Villegas-Torres, Oscar Gabriel., Cardoso-Vigueros, Lina. (2013). Precomposteo de residuos

- orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 127-139. [https://www.researchgate.net/figure/Relacion-de-la-temperatura-y-pH-con-la-produccion-de-cocones-y-juveniles-en-el-proceso-de\\_fig2\\_262499002](https://www.researchgate.net/figure/Relacion-de-la-temperatura-y-pH-con-la-produccion-de-cocones-y-juveniles-en-el-proceso-de_fig2_262499002)
- AOAM. Association of Official Analytical Methods. (2007). 983.04 Sodium in fertilizers atomic absorption spectrophotometric method. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- Atienza-Martínez, María., Ábrego, Javier., Gea, Gloria., & Marías, Frédéric. (2020). Pyrolysis of dairy cattle manure: evolution of char characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 145, 104724. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104724>.
- Barthod, J., Dignac, M. F., Le Mer, G., Bottinelli, N., Watteau, F., Kögel-Knabner, I., & Rumpel, C. (2020). How do earthworms affect organic matter decomposition in the presence of clay-sized minerals? *Soil Biology and Biochemistry*. 143(107730). <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107730>.
- Bello, S.K., Alayafi, A.H., AL-Solaimani, S.G., Abo-Elyousr, K.A.M. (2021). Mitigating Soil Salinity Stress with Gypsum and Bio-Organic Amendments: A Review. *Agronomy*, 11(9)1735. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091735>
- Capistran, F., Aranda, E., & Romero, J. C. (2004). Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de Ecología, AC.
- Che, Jiangang., Lin, Weifen., Ye, Jie., Liao, Hanpeng., Yu, Zhen., Lin, Hao., & Zhou, Shungui. (2020). Insights into compositional changes of dissolved organic matter during a full-scale vermicomposting of cow dung by combined spectroscopic and electrochemical techniques. *Bioresource Technology*, 301, 122757. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122757>.
- Chekwube-Enebe, Matthew., & Erasmus, Mariana. (2023). Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345(118585). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>.
- Chen-Lopez, Jose. (2023). La función del sodio y del cloruro en el cultivo de plantas. Promix. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Colín-Navarro, Vianey., Domínguez-Vara, Ignacio A., Olivares-Pérez, J. Castelán-Ortega, Octavio Alonso, García-Martínez, Anastacio., & Avilés-Nova, Francisca. (2019). Propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje. *Agrociencia* 53, 161-173. <https://www.researchgate.net/publication/332153193>

- Congilosi, Jena L., & Aga- Diana S. (2021). Review on the fate of antimicrobials, antimicrobial resistance genes, and other micropollutants in manure during enhanced anaerobic digestion and composting. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 123634. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123634>.
- Danish-Toor, Muhammad., kizilkaya, Ridvan., Anwar, Aneela., Koleva, Lyubka., Eldesoky, Gaber E. (2024). Effects of vermicompost on soil microbiological properties in lettuce rhizosphere: An environmentally friendly approach for sustainable green future. *Environmental Research*, 243, 117737. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117737>.
- Dohaish, EJAB. (2020). Vermicomposting of Organic Waste with *Eisenia fetida* Increases the Content of Exchangeable Nutrients in Soil. *Pak J Biol Sci*, 23(4):501-509. doi: 10.3923/pjbs.2020.501.509.
- FAO & UNEP. (2021). Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4827en>
- Fereshteh, Najjari., & Somayeh, Ghasemi. (2018). Changes in chemical properties of sawdust and blood powder mixture during vermicomposting and the effects on the growth and chemical composition of cucumber. *Scientia Horticulturae*, 232, 250-255. DOI.org/10.1016/j.scienta.2018.01.018.
- Fragoso-González, C. E. (2000). Importancia de las lombrices de tierra (Oligochaeta) en el monitoreo de áreas prioritarias de conservación del centro, este y sureste de México. Instituto de Ecología. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto L301. México, D. F.
- Getachew-Gebrehana, Zerihun., T.-Gebremikael, Mesfin., Beyene, Sheleme., Sleutel, Steven., L.-Wesemael, Wim M., & De Neve, Stefaan. (2023). Organic residue valorization for Ethiopian agriculture through vermicomposting with native (*Eudrilus eugeniae*) and exotic (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*) earthworms. *European Journal of Soil Biology*, 116(103488). <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103488>.
- Gómez-Brandón, María., Martínez-Cordeiro, Hugo., & Domínguez, Jorge. (2021). Changes in the nutrient dynamics and microbiological properties of grape marc in a continuous-feeding vermicomposting system. *Waste Management*, 135, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.004>
- Gong, Xin., Wang, Shuai., Wang, Shawnie., Jiang, Yuji., Hu, Zhengkun., Zheng, Yong., Chen, Xiaoyun., Li, Huixin., Hu, Feng., Liu, Manqiang., & Scheu, Stefan. (2019). Earthworms modify soil bacterial and fungal communities through enhancing aggregation and buffering pH. *Geoderma*. 347, 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.043>.
- Gusain, Rita., & Suthar, Surindra. (2020). Vermicomposting of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) by employing *Eisenia fetida*: Changes in nutrient contents, microbial enzyme activities and earthworm biodynamics. *Bioresource Technology*, 311, 123585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123585>.



- Gutiérrez-Vázquez, E., Juárez-Caratachea, A., Mondragón, A. J., & Rojas-Sandoval, A. L. (2007). Dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia foetida* en estiércol compostado y fresco de bovino y ovino. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(7), 1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612662014.pdf>
- INEGI. (2020). Cartas Climatológicas. Climatología. Estados Unidos Mexicanos. Nacional. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- INTAGRI. (2015). La Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo. Series Suelos. Num. 09. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Khatua, Chandra., Sengupta, Somoshree., Krishna-Balla, Vamsi., Kundu, Biswanath., Chakraborti, Ashis., & Tripathi, Sudipta. (2018). Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *Waste Management*, 79, 287-295. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>.
- Lazcano, Cristina., Gómez-Brandón, María., & Domínguez, Jorge. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, 72(7), 1013-1019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.016>.
- Lei, Xuyang., Cui, Guangyu., Sun, Hongxin., Hou, Suxia., Deng, Hongying., Li, Bo., Yang, Zhengzheng., Xu, Qiushi., Huo, Xueyu., & Cai, Jiaxuan. (2024). How do earthworms affect the pathway of sludge bio-stabilization via vermicomposting? *Science of The Total Environment*, 916, 170411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170411>.
- Morales-Munguía, Julio César., Fernández-Ramírez, Ma. Virginia., Montiel-Cota, Agustín., & Peralta-Beltrán, Beatriz Catalina. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *Biotecnia*. 9(1), 19-26. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/download/49/45/102>
- Mu, Meirui., Yang, Fengxi., Han, Bingjun., Li, Qinfen., Ding, Yongzhen., & Zhang, Keqiang. (2023). Implications of vermicompost on antibiotic resistance in tropical agricultural soils – A study in Hainan Island, China. *Science of The Total Environment*, 891(164607). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164607>.
- Ndiipohamba-Katakula, Asteria Aili., Handura, Bethold., Gawanab, Werner., Itanna, Fisseha., & Mupambwa, Hupenyu Allan. (2021). Optimized vermicomposting of a goat manure-vegetable food waste mixture for enhanced nutrient release. *Scientific African*, 12, e00727. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00727>.

- Patel, Jaykumar., & Mishra, Avinash. (2021). 15 - Role of sodium proton antiporters in cellular homeostasis of plants under abiotic stress conditions. Editor(s): Aryadeep Roychoudhury, Durgesh Kumar Tripathi, Rupesh Deshmukh. *Transporters and Plant Osmotic Stress*. Academic Press, 273-290. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817958-1.00018-9>.
- Rincones, Paola A., Zapata, José E., Figueroa, Omar A., & Parra, Clarivel. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Información tecnológica*, 34(2), 11-20. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642023000200011>
- Rodríguez-García, Saraí., Méndez-Estudillo, Guillermo., Velázquez-Silvestre María Gisela., Castillo-Capitán, Guadalupe., & Retureta-Aponte, Alejandro. (2019). Dinámica poblacional de *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* (bouché 1972) en tres sustratos diferentes. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 7(2), 70-78. <https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/download/31/50>
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. (Segunda Edición). (NOM-021-RECNAT-2000). DOF. 2000. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Shen, Cong., He, Mengyuan., Zhang, Junhua., Liu, Jili., & Wang, Yuanduo. (2024). Response of soil antibiotic resistance genes and bacterial communities to fresh cattle manure and organic fertilizer application. *Journal of Environmental Management*, 349(119453). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119453>.
- Shi, Linlin., Zhang, Ping., Xu, Jun., Wu, Xiaohu., Pan, Xinglu., He, Lin., Dong, Fengshou., & Zheng, Yongquan. (2023). Systematic assessment of cyflumetofen toxicity in soil-earthworm (*Eisenia fetida*) microcosms. *Journal of Hazardous Materials*, 452(131300). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131300>.
- SIAP. (2023). Expectativas Agroalimentarias 2023. Fertilizantes. Análisis de Estructura. Consumo Nacional. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2023/Expectativas-2023](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2023/Expectativas-2023)
- Solís Pérez, Ofelia., Acosta-Durán, Carlos Manuel., Villegas-Torres, Oscar Gabriel., & Martínez-Fernández, Edgar. (2010). Consideraciones acerca de la lombricultura y la producción de lombricompost. *Investigación Agropecuaria*, 7(2), 147-156. <https://scebe98a22cbf984c.jimcontent.com/download/version/1366631578/module/5944797757/name/SOLIS%20PEREZ%20et%20al.pdf>
- Soobhany, Nuhaa., Mohee, Romeela., & Kumar-Garg, Vinod. (2015). Recovery of nutrient from Municipal Solid Waste by composting and vermicomposting

- using earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(4), 2931-2942. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.10.025>.
- Trejo-Escareño, Héctor Idilio., Salazar-Sosa, Enrique., López-Martínez, José Dimas., & Vázquez-Vázquez., Cirilo. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(5), 727-738. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000500006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000500006&lng=es&tlng=es).
- Walkley A, Black AI. (1934). An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the cromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38. DOI:10.1097/00010694-193401000-00003
- Yuvaraj, Ananthanarayanan., Karmegam, Natchimuthu., Tripathi, Sudipta., Kannan, Soundarapandian., & Thangaraj, Ramasundaram. (2020). Environment-friendly management of textile mill wastewater sludge using epigeic earthworms: Bioaccumulation of heavy metals and metallothionein production. *Journal of Environmental Management*, 254(109813). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109813>.
- Zhang, Qingming., Saleem, Muhammad., & Wang, Caixia. (2019). Effects of biochar on the earthworm (*Eisenia foetida*) in soil contaminated with and/or without pesticide mesotrione. *Science of The Total Environment*, 671, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.364>
- Zhang, Yu., Cheng, Dengmiao., Xie, Jun., Zhang, Yuting., Wan, Yu., Zhang, Yueqiang., & Shi, Xiaojun. (2022). Impacts of farmland application of antibiotic-contaminated manures on the occurrence of antibiotic residues and antibiotic resistance genes in soil: A meta-analysis study. *Chemosphere*, 300, 134529. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134529>.

## CAPÍTULO III

### Respuesta fisiológica de *Ficus carica* L. a las aplicaciones de vermicomposta en condiciones de malla sombra

#### 3.1 RESUMEN

*Ficus carica* L. es un frutal de fácil adaptabilidad, con bajos requerimientos en insumos para su producción y que muestra un crecimiento económico importante a nivel global. Para promover el desarrollo sustentable y la respuesta fisiológica de este frutal, se puede hacer uso de residuos orgánicos. Mediante el vermicompostaje se puede obtener un fertilizante orgánico, al mismo tiempo, se mitiga el daño ecológico provocado por los residuos orgánicos no gestionados. Esta investigación tuvo como objetivo estudiar los efectos de la aplicación de vermicomposta (bovino, ovino y caprino, relación vermicomposta–suelo 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0, 60, 120 y 180 t ha<sup>-1</sup>) con tres repeticiones sobre la fisiología (fotosíntesis, conductancia estomática, concentración de CO<sub>2</sub> intercelular, transpiración, clorofila y diámetro de tallo) y contenido foliar de nutrientes (nitrógeno, potasio, calcio, hierro, zinc, cobre, manganeso y sodio) en *Ficus carica* L. bajo condiciones de malla sombra. En clorofila, transpiración y concentración de CO<sub>2</sub> sobresalió el tratamiento de adición de vermicomposta de bovino en la relación 1:3.5 (120 t ha<sup>-1</sup>), mientras que la mayor conductancia estomática y fotosíntesis se observó en los tratamientos con vermicomposta de ovino 180 t ha<sup>-1</sup> y caprino 120 t ha<sup>-1</sup>. El diámetro de tallo no fue afectado por los tratamientos. En relación con el contenido foliar de nutrientes, destacó el tratamiento de vermicomposta de ovino 180 t ha<sup>-1</sup> en calcio y manganeso. En contenido de nitrógeno y cobre sobresalieron los tratamientos de vermicomposta de ovino 60 t ha<sup>-1</sup> y de caprino 180 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. Para el resto de los elementos (P, Fe, Zn y Na) la respuesta fue variable, sin destacar alguno de los tratamientos. La aplicación de vermicomposta afectó los procesos fisiológicos y el contenido foliar de nutrientes en *Ficus carica* L.

**Palabras clave:** *Ficus carica*, vermicomposta, fisiología vegetal, concentración de nutrientes, gestión de residuos.

#### 3.2 INTRODUCCIÓN

El colapso de los recursos naturales es preocupante y los modelos de producción industrial actual, en conjunto con la producción agrícola han

contribuido en gran manera (Ma et al., 2023). Estas actividades han causado una disminución en la producción de alimentos, se ha aumentado la extracción de los nutrientes del suelo y la aplicación de productos químicos que terminan contaminando los entornos ecológicos a causa de la producción intensa en la agricultura (Qiu et al., 2023).

Por su parte, la producción agrícola en el norte de México a pesar de ser una zona árida no se ha detenido. Esta área está definida por grandes zonas desérticas que ocupan más de la mitad del territorio nacional, algo característico de estos ecosistemas son las temperaturas extremas, la precipitación escasa y evaporación elevada, sin embargo, cada zona árida tiene características propias que van desde el tipo de vegetación hasta la biodiversidad que puede albergar (Celaya y Celaya, 2023). Tales características han propiciado una agricultura diferente a la que se tiene en el centro y sur del país, siendo una de las actividades principales de uso de suelo para esta zona, a pesar de ser un ambiente árido se pueden encontrar grandes extensiones de llanuras aluviales fértiles, sin embargo, las prácticas agrícolas intensivas han generado un impacto negativo para los recursos naturales y para los mismos cultivos (NASA, 2022).

De acuerdo con Mazcorro (2022), en la región de estudio, el cultivo que ocupa mayor superficie es la alfalfa; 57%; y que sin duda el requerimiento hídrico es elevado; otro de los cultivos con gran demanda hídrica es el nogal pecanero, en 2024 ocupó una superficie de 11,609.7 hectáreas (Representación Región Lagunera – Subdelegación de Planeación, 2024), de igual manera el melón y sandía son de los frutos de importancia económica para la región (SIAP, 2022). Si bien, no todos los cultivos aquí mencionados demandan grandes cantidades del recurso hídrico, sí emplean gran cantidad de insumos fertilizantes y químicos para combatir enfermedades y plagas, de igual manera, las labores culturales realizadas durante sus ciclos de desarrollo son intensas. Todas estas prácticas alteran el ciclo de nutrientes generando riesgos ecológicos a causa de la producción intensiva (Qiu et al., 2023).

Esta investigación propone la diversificación de cultivos ante la vulnerabilidad ecológica que enfrentan las zonas áridas, combinando *Ficus carica* L. como cultivo alternativo por la baja demanda de insumos que necesita para su producción, y los desechos de la industria ganadera que representan una fuente de contaminación para el suelo, agua, atmósfera y la salud. Es así como, mediante el vermicompostaje se puede obtener un producto humificado de alta calidad, rico en nutrientes y masa microbiana (Getachew-Gebrehana et al., 2023), que aporte la nutrición necesaria para este frutal.

Actualmente se buscan sistemas de producción rentables, que no involucren mayores intervenciones de manejo tecnológico y que mitiguen el impacto al medio ambiente mediante el uso adecuado de los recursos. En esta línea, el higo es un frutal donde las prácticas culturales que necesita son menores. Esto se puede ver en las zonas comerciales de España, donde bajo condiciones adversas de recursos naturales logran cosechas de higo para el consumo nacional (Galán et al., 2023). Otra de las ventajas de este frutal es que puede ofrecer dos cosechas al año; durante primavera y verano. Por otro lado, la demanda de higo a nivel mundial ha ido en aumento y las estimaciones apuntan a que seguirá esta trayectoria (Ayuso et al., 2022). Es así como, el higo es considerado un fruto apto para establecerse en las zonas áridas gracias a la capacidad de adaptación, al valor nutricional y porque representa una oportunidad de negocio para los productores de la región.

Con el fin de mitigar el impacto ambiental generado por el uso irracional de fertilizantes, contribuir en el desarrollo sustentable y disminuir los costos de producción, se han usado productos orgánicos, como la vermicomposta. En este tipo de fertilizante orgánico, se emplean lombrices que se encargarán de descomponer la materia orgánica. En este estudio se utilizó *Eisenia fetida*, encargada de convertir desechos inestables en elementos nutritivos más fáciles de absorber para las plantas, dando al suelo la oportunidad de recuperar el poder físico, químico y biológico necesario para ser fértil (Wojciech-Przemieniecki et al., 2021) y soportar cultivos.

La tendencia actual es el uso eficiente de fertilizantes orgánicos, con el fin de promover la sustentabilidad de los recursos y evitar su colapso. Una alternativa, es la vermicomposta, ya que puede aportar los nutrimentos esenciales en el proceso de nutrición de *Ficus carica* L., además de que este frutal puede mostrar una respuesta de producción y adaptabilidad aún bajo condiciones de escasez y no necesita grandes cantidades de insumos de síntesis química para su producción. Es así como, el objetivo de esta investigación fue evaluar la fisiología y concentración de nutrientes foliares en *Ficus carica* L., generada por la adición de vermicompostas bajo condiciones de malla sombra.

### **3.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.3.1 Ubicación del área de estudio**

El establecimiento del estudio se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) en Bermejillo, Mapimí, Durango, México, en las coordenadas 25°53'42.79" N - 103°36'8.29" O, a una altura de 1113 msnm (Airbus-INEGI, 2021). La localidad se encuentra dentro de la reserva ecológica Bolsón de Mapimí, domina un clima BW (seco) con subtipo *hw* (muy seco semicálido), presentando temperatura media anual de 21°C, máximas de 41°C y mínimas de 9°C con vientos densos y calientes del NE al SO; la precipitación pluvial es de 263 mm media anual, con lluvias comprendidas entre los meses de julio a septiembre y con un 5% invernales (INEGI, 2020).

#### **3.3.2 Proceso de vermicompostaje**

Para la obtención de vermicomposta se utilizaron tres pilas de cemento de 1.20 m x 1 m, en cada una se colocó un núcleo de lombrices *Eisenia fetida* y se les alimentó con 22 kg de estiércol colectado de una posta zootécnica de la misma Universidad, este correspondió a desechos de ganado bovino, ovino y caprino respectivamente. Se les mantuvo con humedad suficiente sin llegar al exceso. Cada pila se protegió con malla y cartón para evitar la evaporación, así mismo,

el lugar se protegió con una malla sombra doble con cerramiento del 90% para la luz solar.

El inicio del proceso de vermicompostaje fue el 29 de marzo de 2022, fecha en que se sembraron los núcleos de lombrices y se les proporcionó el primer alimento, se les alimentó dos veces más con la misma cantidad de estiércol el día 17 de abril y 6 de mayo. Es preciso aclarar que, con el estiércol puro de bovino no se logró sobrevivencia de lombrices, por tal motivo se procedió a trabajar con estiércol de bovino composteado tradicionalmente para generar vermicomposta de esta fuente. Pasado el tiempo de alimentación, el 6 de junio se procedió a la cosecha de vermicomposta de cada uno de los núcleos.

El proceso de vermicompostaje llevó 70 días, al término del cual se obtuvo el 30% de la materia original en peso seco. Una vez terminada la cosecha de vermicomposta, se dejó dos semanas para que terminara de madurar y poder utilizar como fertilizante orgánico.

### **3.3.3 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 tratamientos y tres repeticiones (Tabla 1). Cada planta contenida en una bolsa de vivero de 7 kg de suelo previamente analizado representó una unidad experimental. El suelo presentó una textura franca con un pH de 7.88 y una conductividad eléctrica de 4.22 dS m<sup>-1</sup> según la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Las plantas de higo de la variedad Black Mission procedentes del mismo lugar, con similar porte y altura fueron trasplantadas en bolsas de vivero, donde a cada una se le aplicó el tratamiento correspondiente. Estas tuvieron un periodo de adaptación de nueve meses, para esperar el rebrote de primavera.

El cuidado que se les proporcionó consistió en riegos adecuados, malla sombra y en invierno se protegió con bolsas de papel craft a cada una de las plantas y cubierta de polipropileno (Agribon), esto debido a las bajas temperaturas registradas el 24 de diciembre de 2022, empezando con una temperatura de -0.7



°C a partir de las 12:00 a.m. y descendiendo durante el resto de la noche hasta alcanzar los -6.4 °C, repitiendo el mismo patrón el día 25 del mismo mes y continuando con temperaturas bajo 0 °C el 26, 27 y 28 de diciembre. Para enero del 2023 la temperatura nuevamente descendió los días 5, 13 y 14, esto de acuerdo con los datos registrados por la estación meteorológica Vantage Pro2 Plus Davis Instruments, instalada en el campo experimental Rancho el Carmen de la URUZA, en las coordenadas 25°53'52.11" N - 103°35'47.35"O.

**Cuadro 3.** Fuente de vermicomposta, dosis y relación vermicomposta - suelo.

| Tratamiento | Relación            | t ha <sup>-1</sup> |
|-------------|---------------------|--------------------|
|             | Vermicomposta-Suelo |                    |
| 1. Control  | 0:1                 | 0                  |
| 2. Bovino   | 1:6                 | 60                 |
| 3. Bovino   | 1:3.5               | 120                |
| 4. Bovino   | 1:2.6               | 180                |
| 5. Ovino    | 1:6                 | 60                 |
| 6. Ovino    | 1:3.5               | 120                |
| 7. Ovino    | 1:2.6               | 180                |
| 8. Caprino  | 1:6                 | 60                 |
| 9. Caprino  | 1:3.5               | 120                |
| 10. Caprino | 1:2.6               | 180                |

El 20 de junio de 2022 se realizó el trasplante a macetas conteniendo la mezcla de suelo y composta, de acuerdo con los tratamientos asignados previamente. La evaluación empezó el 27 de abril de 2023 para dar tiempo de recuperación y adaptación a las plantas. La medición se realizaba in-situ con un periodo intermedio de catorce días, concluyendo en la quinta medición. Posterior a las

mediciones en planta, se realizó la colecta de la parte foliar para llevar a laboratorio y ser analizados.

#### **3.3.4 Variables medidas**

En cada una de las plantas se llevó a cabo una medición in-situ cada 14 días, a la misma hora (10:00 – 11:30 a.m.) y en la misma hoja de cada una de las plantas. Las mediciones correspondieron a fotosíntesis, conductancia estomática, concentración de CO<sub>2</sub> intracelular y transpiración, estas se llevaban a cabo con un medidor portátil de fotosíntesis LI-6400XT de la marca LI-COR.

##### **3.3.4.1 Clorofila**

En cada planta se midió en índice de clorofila in-situ, con el equipo CM1000 FieldScout portátil Chlorophyll Meter de la marca Spectrum Technologies Inc.

##### **3.3.4.2 Diámetro de tallo**

El diámetro de tallo se efectuó con el uso de un Vernier digital marca Jiavarry modelo Stainless Steel-Large LCD . Las mediciones se llevaron a cabo a los 20 cm del tallo sobre la superficie del suelo.

##### **3.3.4.3 Macroelementos y microelementos foliares**

Para la determinación de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y sodio (Na), se colectó la parte foliar de cada una de las plantas el 1 de junio del 2023. Las hojas se colocaron en bolsas de papel craft debidamente etiquetadas, se llevaron a horno de secado Binder a 60 °C hasta alcanzar peso constante, posterior a ello se molieron las muestras en molino Willye. Posteriormente se realizó digestión por microondas en un sistema cerrado Ethos One. La determinación de elementos se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo de Perkin Elmer de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

### 3.3.5 Análisis estadístico

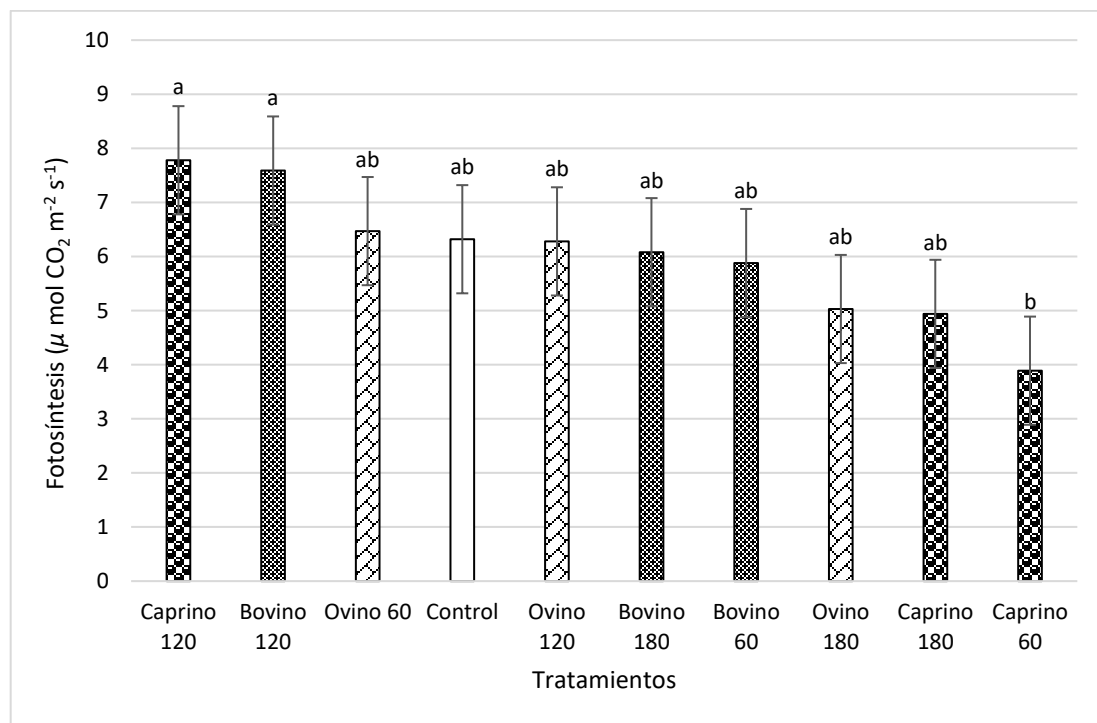
Los datos fueron analizados con el programa estadístico InfoStat versión 2020 libre, con el que se realizó un análisis de varianza, seguida de una prueba de ajuste de Kolmogorov para contrastar la normalidad de los datos, un análisis de residuos absolutos mediante prueba de Levene para homogeneidad de varianzas. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para poder identificar el efecto de los tratamientos. Para analizar las determinaciones foliares se realizó el mismo procedimiento, solamente cambiando la prueba de ajustes para normalidad de datos con la de Shapiro–Wilk.

## 3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.4.1 Fotosíntesis

Los tratamientos caprino y bovino de  $120 \text{ t ha}^{-1}$ , mostraron la tasa fotosintética más alta ( $p > 0.05$ ), mientras que el tratamiento de vermicomposta caprina de  $60 \text{ t ha}^{-1}$  registró el nivel más bajo para esta variable (Figura 6). La fotosíntesis está relacionada con los niveles de sodio en cultivares de vid, entre menor sea la acumulación de sales, se tendrán tasas fotosintéticas más altas como lo señala Larangeira-Amorim et al. (2023), en este estudio la mayor concentración de sodio en hojas (Fig. 19) y suelo (Fig. 24) correspondió al tratamiento de vermicomposta caprina de  $60 \text{ t ha}^{-1}$  y el de menor concentración al tratamiento de vermicomposta caprina  $120 \text{ t ha}^{-1}$ , indicando que, a mayor concentración de sodio se tendrá menor tasa fotosintética y viceversa. Es claro que en *Ficus carica* L., también existe relación entre fotosíntesis y sodio. En este sentido, Shin et al. (2022) señala que la concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular puede afectar la fisiología fotosintética de cultivos en invernaderos, sin embargo, en este estudio no se apreció relación alguna entre las variables mencionadas, esto probablemente a las diferencias en condiciones climáticas y a las respuestas morfológicas y fisiológicas de cada cultivo. La tasa fotosintética también ha mostrado tendencias opuestas a la transpiración, según lo reportado por Amutenya et al. (2023). En la

presente investigación se demostró que una tasa más alta de fotosíntesis resultó en un nivel más bajo para transpiración, correspondiendo al tratamiento de vermicomposta caprina 120 t ha<sup>-1</sup> (Figura 9). En este mismo sentido, Zhou et al. (2023), indica que la fotosíntesis está determinada especialmente por la concentración de nitrógeno de las hojas en cada etapa y genotipo de planta, en los análisis foliares se obtuvieron niveles de nitrógeno similares en cada uno de los tratamientos, no encontrando una relación directa entre nitrógeno y fotosíntesis, y como anteriormente se menciona, que las respuestas morfológicas y fisiológicas en cada cultivo puede ser diferente (Shin et al., 2022).

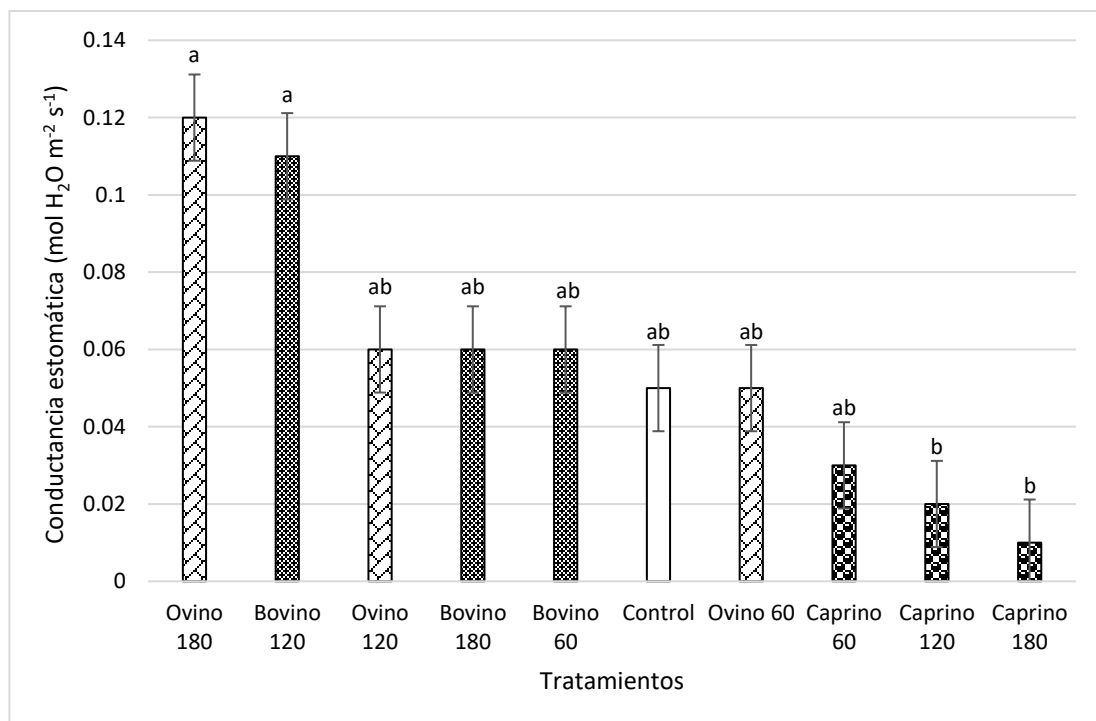


**Figura 6.** Dinámica fotosintética en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicomposta en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0, 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

### 3.4.2 Conductancia estomática

Los tratamientos que mostraron mayor conductancia estomática fueron las vermicompostas de ovino y bovino, 180 y 120 t ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 7),

por el contrario los tratamientos de vermicomposta caprina revelaron el nivel más bajo, esto indica una influencia de la fuente y dosis, en esta última, a mayor dosis de vermicomposta caprina, menor conductancia estomática. Este resultado coincide con las concentraciones de calcio más altas encontrada en el mismo tratamiento de vermicomposta de ovino, y las más baja para vermicomposta de caprino en las mismas dosis (Figura 14). De acuerdo con Oliveros-Díaz y Caicedo-Vera (2023), el calcio es un elemento que influye en la conductancia estomática, y de acuerdo con los resultados se puede concluir que, a mayor concentración de calcio mayor conductancia estomática. La transpiración es otra variable asociada a la conductancia estomática, cuando esta última disminuye también lo hará la transpiración, lo que llevará a un aumento en la temperatura del dosel (Struthers et al., 2015). Los resultados en esta investigación muestran una dependencia del 90% en estas dos variables fisiológicas, mostrando que, a menor conductancia estomática la transpiración también se redujo en nueve de los diez tratamientos.

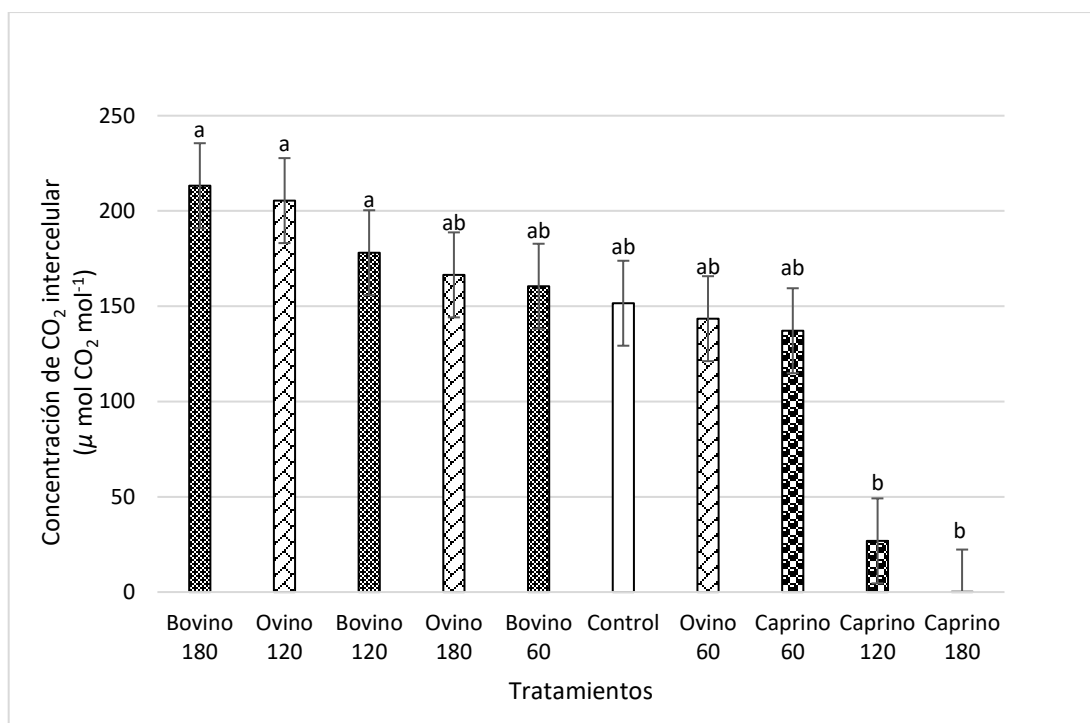


**Figura 7.** Conductancia estomática en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicomposta en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180

corresponden a  $t\ ha^{-1}$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

### 3.4.3 Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular

La mayor concentración de CO<sub>2</sub> intercelular se tuvo en los tratamientos de vermicompostas de bovino  $180\ t\ ha^{-1}$ , ovino y bovino  $120\ t\ ha^{-1}$  para ambos, en contraparte los tratamientos con menor concentración fueron los de vermicomposta caprina  $120$  y  $180\ t\ ha^{-1}$  respectivamente (Figura 8). De acuerdo con Li et al. (2023), la concentración de CO<sub>2</sub> intercelular elevada afecta la fotosíntesis. En esta investigación los resultados tienen similitud, pues a menor concentración de CO<sub>2</sub> se tuvo mayor fotosíntesis, este comportamiento quedó registrado en el tratamiento de vermicomposta caprina de  $120\ t\ ha^{-1}$  (Figura 6) y aunque no en todos los tratamientos el comportamiento fue el mismo, otros factores pudieron modificar los resultados. En contraposición, concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> han mostrado resultados positivos en aumento en el diámetro de tallo de *Theobroma cacao* L. (Baligar-Virupax et al., 2021; Ríos-Bolívar et al., 2022), mismo resultado observado en los tratamientos de las vermicompostas de ovino y bovino para el aumento en tallo de *Ficus carica* L., concordando que, a menor concentración de CO<sub>2</sub>, menor aumento en tallo. Otro factor que puede influir en la concentración de CO<sub>2</sub> intercelular es el nitrógeno, pues en rangos deficientes afecta la asimilación de CO<sub>2</sub>, de acuerdo con Lu y Zhang (2000), los resultados de este estudio concuerdan con este dato, pues a menor concentración de nitrógeno en el tratamiento de vermicomposta caprina  $120\ t\ ha^{-1}$  se registró menor concentración de CO<sub>2</sub>.

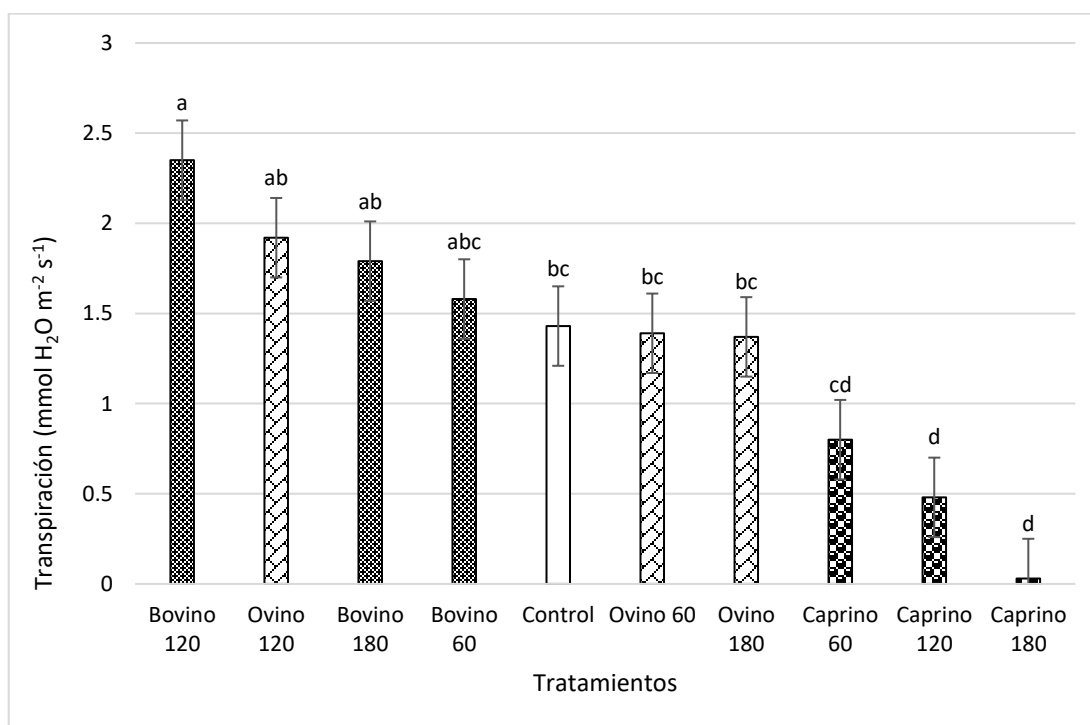


**Figura 8.** Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

#### 3.4.4 Transpiración

El tratamiento que mostró mayor transpiración fue el de vermicomposta bovina 120 t ha<sup>-1</sup>, en sentido inverso el tratamiento de vermicomposta caprina de 180 t ha<sup>-1</sup> registró los niveles más bajos (Figura 9). La transpiración ha registrado aumentos lineales con la biomasa en diferentes genotipos de arroz, así, si una variable aumenta la otra seguirá una tendencia similar (Yi y Yano, 2023). En este sentido y de acuerdo con los resultados, el comportamiento de *Ficus carica* L. muestra un comportamiento diferente que el arroz, en la variable de diámetro de tallo (biomasa) no se identificó relación con la transpiración, esto posiblemente se deba al crecimiento arbustivo o a las respuestas fisiológicas de cada una de las especie. La transpiración es afectada por la conductancia estomática, la razón es porque ésta controla la difusión de vapor de H<sub>2</sub>O desde los espacios intersticiales en el mesófilo hasta la superficie de los estomas (Zhu et al., 2022).

Esto concuerda con los hallazgos de esta investigación, donde uno de los niveles más altos de conductancia estomática registrado en el tratamiento de vermicomposta de bovino de 120 t ha<sup>-1</sup>, tuvo una de las más altas tasas de transpiración, este comportamiento se apreció para los niveles más bajos en los tratamientos de vermicomposta caprina 60, 120 y 180 t ha<sup>-1</sup> (Figura 9), que mostraron los niveles más bajos en conductancia estomática. Esto muestra una influencia del material caprino y dosis sobre *Ficus carica* L.



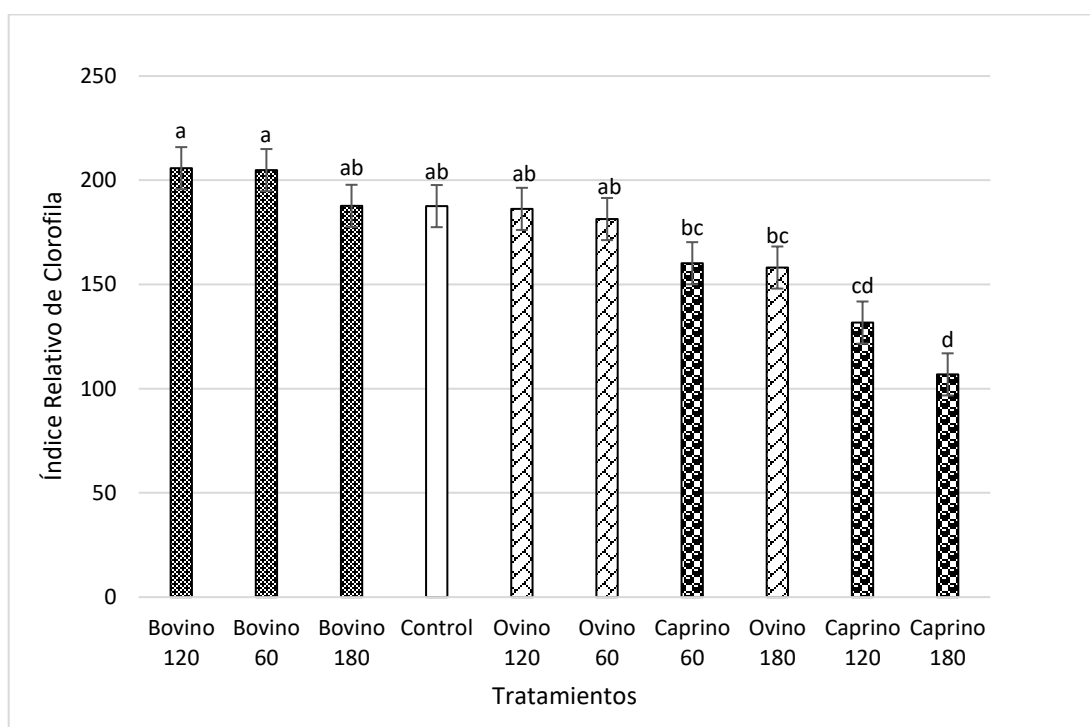
**Figura 9.** Transpiración en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta-suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

### 3.4.5 Clorofila

Los mayores índices relativos de clorofila se obtuvieron en los tratamientos de vermicomposta bovina 120 y 60 t ha<sup>-1</sup> (Figura 10), esto coincide con uno de los tratamientos más altos en tasa fotosintética (Figura 6) y concentración de CO<sub>2</sub>



intercelular (Figura 8), correspondiendo a bovino 120 t ha<sup>-1</sup>, pues se atribuye un mejor índice de clorofila a mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> intercelular (Li et al., 2023) y que a su vez impacta positivamente en la tasa fotosintética (Oliveros-Díaz y Caicedo-Vera et al., 2023; Shin et al., 2022). Estos hallazgos muestran la relación estrecha entre estos tres factores: clorofila, concentración de CO<sub>2</sub> intercelular y fotosíntesis, y cómo el material bovino influyó positivamente en mejorar estos factores fisiológicos en *Ficus carica* L.

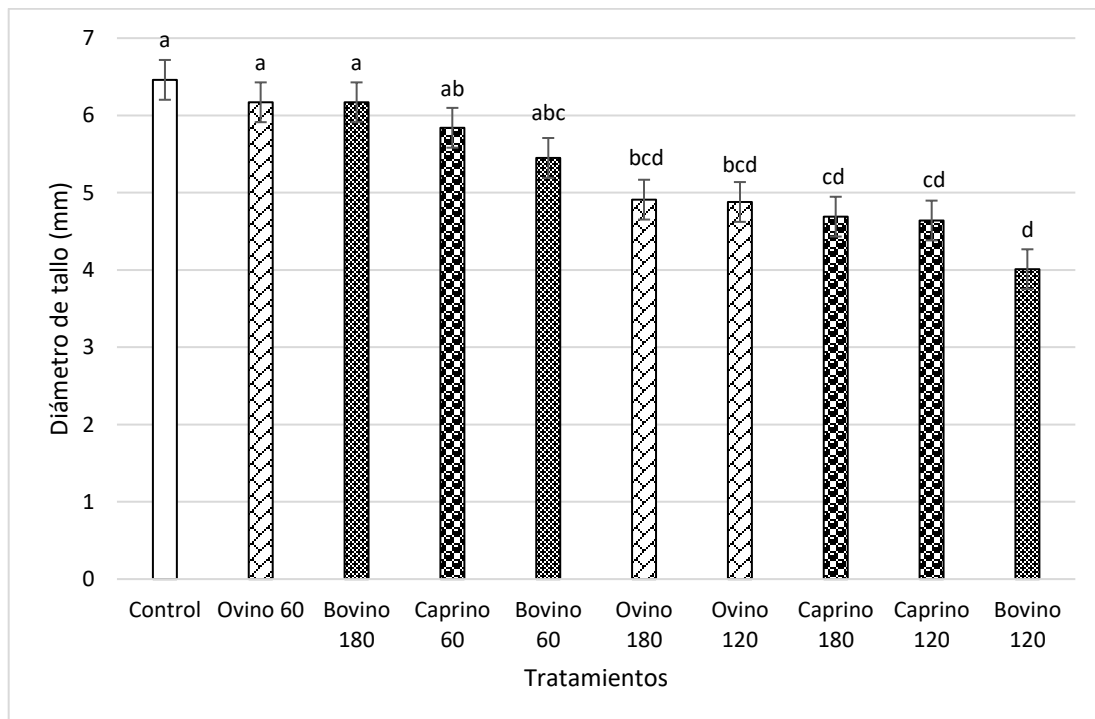


**Figura 10.** Índice relativo de clorofila en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

### 3.4.6 Diámetro de tallo

Los hallazgos en esta investigación mostraron en tres tratamientos un mayor crecimiento en el diámetro de tallo, destacando el control con 0 t ha<sup>-1</sup>, vermicomposta de ovino 60 t ha<sup>-1</sup> y vermicomposta de bovino 180 t ha<sup>-1</sup> (Figura 11). Aunque el crecimiento del tallo en los árboles está influenciado por la

disponibilidad de nutrientes en el suelo, no siempre es así, Luo et al. (2024) señala que la distribución de biomasa en árboles de cítricos depende en gran medida de la edad de estos y es independiente de la fertilización aplicada. Así mismo, Cao et al. (2023) coincide, que la adición y aumento de nitrógeno en especies forestales reduce la biomasa de las raíces finas limitando la recuperación de los árboles ante episodios de sequías. En este estudio los resultados reflejan una relación más estrecha entre contenido de nitrógeno foliar y crecimiento en el diámetro de tallo, en el tratamiento de vermicomposta ovina 60 t ha<sup>-1</sup> se registró uno de los valores más altos para nitrógeno y diámetro de tallo, así mismo, uno de los niveles más bajos para ambas variables se encontró en el tratamiento de vermicomposta caprina 120 t ha<sup>-1</sup>. Esta dependencia entre diámetro de tallo y nitrógeno muestra cómo la vermicomposta, independiente de la fuente, tiene efectos en el crecimiento y desarrollo de *Ficus carica* y puede ser utilizada para cubrir algunas necesidades de fertilización.



**Figura 11.** Diámetro de tallo en *Ficus carica* L. bajo diferentes fuentes y dosis de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey

$\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

### 3.4.7 Concentración foliar de nutrimentos

La concentración de nutrimentos en el área foliar de *Ficus carica* L. ha demostrado variaciones considerables con respecto a diferentes autores (Cuadro 4). Los resultados pueden atribuirse a los tipos y dosis de fertilizantes empleados, cultivares y condiciones edafoclimáticas (SEMARNAT, 2000).

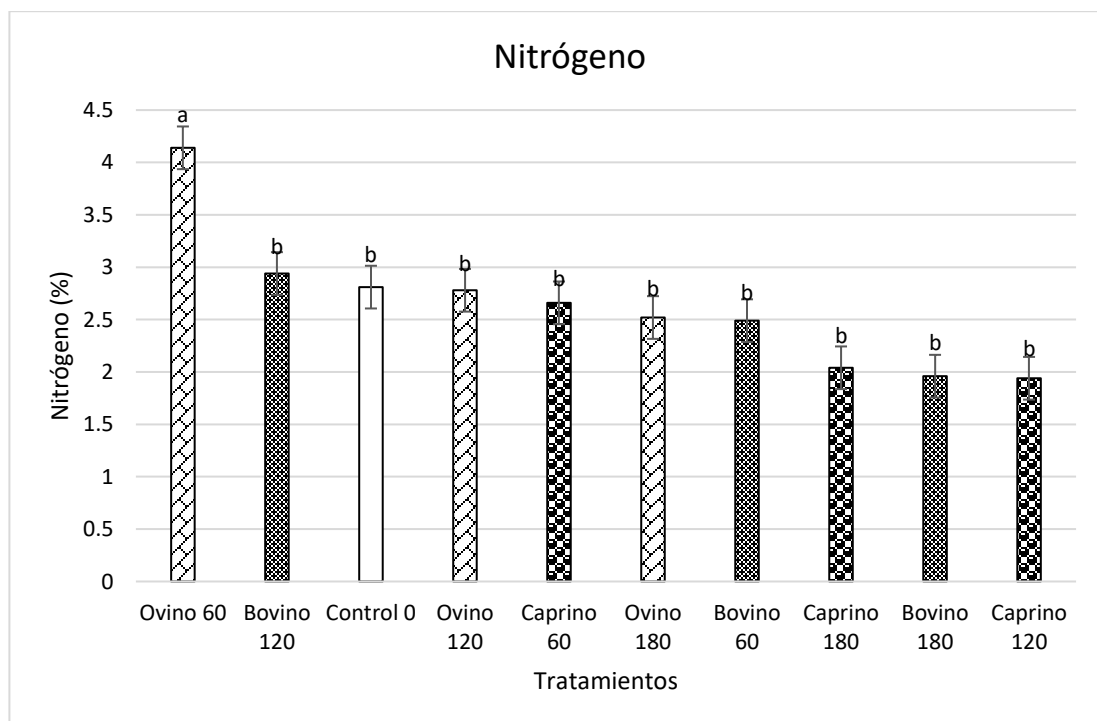
**Cuadro 4.** Concentración foliar mineral en *Ficus carica* L. en diferentes casos de estudio.

| Autor                          | N<br>(%) | P<br>(%) | K<br>(%) | Ca<br>(%) | Mg<br>(%) | Fe<br>(mg/kg) | Mn<br>(mg/kg) | Zn<br>(mg/kg) | Cu<br>(mg/kg) |
|--------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Garza et al. (2020)            | 2.5<br>4 | 0.1<br>6 | 1.7      | 2.9<br>0  | 0.4<br>8  | 914.27        | 148.96        | 45.15         | 6.16          |
| Fernández-Pavía et al. (2020)  | 2.5<br>7 | 0.2<br>0 | 0.7<br>4 | 2.7<br>0  | 0.4<br>7  | -             | -             | -             | -             |
| Márquez-Guerrero et al. (2020) | 1.3<br>2 | 0.2<br>9 | 0.1<br>7 | 1.9<br>3  | 0.3<br>4  | 0.29          | 0.49          | 0.29          | 0.35          |
| Azpeitia-Castillo, (2022)      | -        | -        | 0.2<br>3 | 3.0<br>0  | 0.3<br>3  | -             | -             | -             | -             |

### 3.4.8 Nitrógeno

La mayor concentración de nitrógeno se obtuvo en el tratamiento de vermicomposta de ovino 60 t ha<sup>-1</sup>, mientras que el de menor concentración correspondió al tratamiento de vermicomposta caprina 120 t ha<sup>-1</sup> con una disminución del 53% (Figura 12). A pesar de ello, cinco tratamientos, incluyendo el control, superan los valores dentro del intervalo óptimo para esta especie (Fernández-Pavía et al., 2020). El incremento en la concentración foliar de

nitrógeno mostró una respuesta similar al aumento de diámetro de tallo para el tratamiento de vermicomposta de ovino 60 t ha<sup>-1</sup>. Estos resultados coinciden con lo descrito por Liang et al (2024), quien señala que ante aplicaciones de nitrógeno se afectan propiedades fisicoquímicas del suelo, incluyendo características fisiológicas de las plantas que impactan en el rendimiento de cultivos. En el mismo sentido, Rodríguez-Yzquierdo et al. (2020), encontró que cuando el nitrógeno se encuentra con valores más altos en área foliar de maracuyá (*Passiflora edulis*), este influirá positivamente en fotosíntesis y clorofila, si bien, en este estudio el tratamiento con mayor concentración de nitrógeno no es el mismo para fotosíntesis, sí se encuentra en el segundo y tercer tratamiento donde se registró una mayor tasa fotosintética en vermicomposta de bovino y ovino, 120 y 60 t ha<sup>-1</sup> correspondientemente (Figura 6). Lo mismo sucedió con el índice de clorofila, donde el tratamiento con mayor concentración de nitrógeno, vermicomposta bovina 120 t ha<sup>-1</sup> (Figura 10), fue el que mayor clorofila indujo. De este modo, se demuestra que el nitrógeno en cultivo de *Ficus carica* L., influyó positivamente en aumento de diámetro de tallo, fotosíntesis y clorofila.



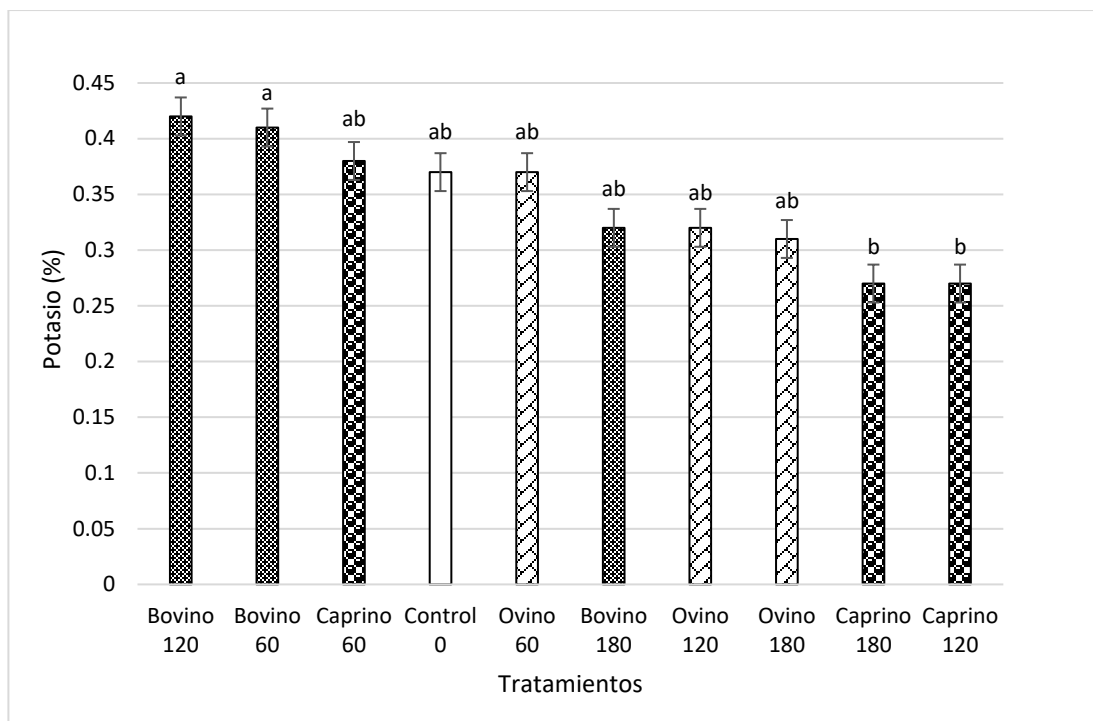
**Figura 12.** Concentración foliar de nitrógeno en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla

sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

#### 3.4.9 Potasio

Las concentraciones más altas de potasio foliar se encontraron en los tratamientos de vermicomposta bovina 120 y 60 t ha<sup>-1</sup> (Figura 13). Sin embargo, el contenido fue bajo para este elemento. En condiciones adecuadas de fertilización, el potasio foliar de higuera suele encontrarse en un rango de 2.54 a 2.57% (Fernández-Pavía et al., 2020; Garza et al., 2020), no obstante, los resultados de esta investigación pueden atribuirse al material de vermicomposta, dosis y/o a las condiciones climáticas (SEMARNAT, 2000).

A pesar de las bajas concentraciones de potasio exhibidas en área foliar de higuera, no se afectó el índice de clorofila. Este elemento ha sido relacionado con el aumento de clorofila en árboles de kaki (*Diospyros kaki*) (Lo'ay et al., 2021), en este estudio, el índice de clorofila mostró un aumento en los mismos tratamientos con mayor concentración de potasio (vermicomposta de bovino 120 y 60 t ha<sup>-1</sup>), de igual forma, al disminuir la concentración de potasio foliar, a la par disminuyó clorofila en el mismo material y dosis de vermicompostas (caprino 120 y 180 t ha<sup>-1</sup>) (Figura 10). Los resultados manifiestan que la higuera tiene una respuesta favorable ante condiciones de escasez. Igualmente, se puede inferir que, el aporte de vermicomposta puede satisfacer las necesidades fisiológicas sin necesidad de aumentar las dosis de potasio, lo que impactaría benéficamente en la economía del productor.

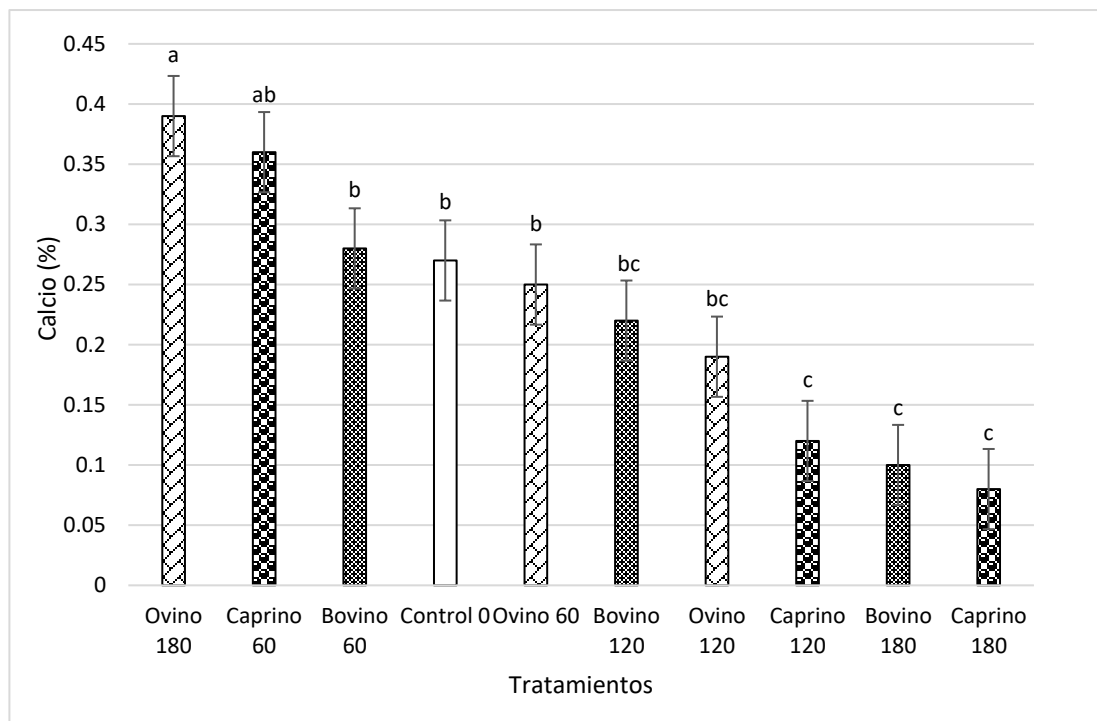


**Figura 13.** Concentración foliar de potasio en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

#### 3.4.10 Calcio

El tratamiento con vermicomposta de ovino 180 t ha<sup>-1</sup> indujo el mayor porcentaje de calcio en la hoja (Figura 14), el cual fue estadísticamente similar al caprino 60 ton ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, al incrementar la vermicomposta caprina a 180 ton ha<sup>-1</sup> causó una disminución significativa ( $p > 0.05$ ) de este nutriente. Los valores aquí encontrados, también expresan un nivel bajo para este cultivo al compararlo con las plantas fertilizadas por diferentes investigadores (Azpeitia-Castillo, 2022; Fernández-Pavía et al., 2020; Garza et al., 2020). La absorción y transporte del calcio a la zona aérea de la planta se ha relacionada con la transpiración, como lo señalan Carrasco-Cuello et al. (2024) y Wang et al. (2021) en cultivo de durazno. Los hallazgos en este estudio indican que en *Ficus carica* L. la relación de absorción calcio–transpiración, se mostró solamente en el tratamiento de vermicomposta caprina 180 t ha<sup>-1</sup>, en el cual ambas variables tuvieron los niveles

más bajos. Para el resto de los tratamientos la transpiración no siguió un patrón con las concentraciones de calcio medidas. Es claro que el comportamiento fisiológico de la higuera es diferente a otras plantas cultivadas, exhibe una alta capacidad de adaptación y de bajo requerimiento nutricional que necesita para su sobrevivencia (Galán et al., 2023; Márquez, 2019).



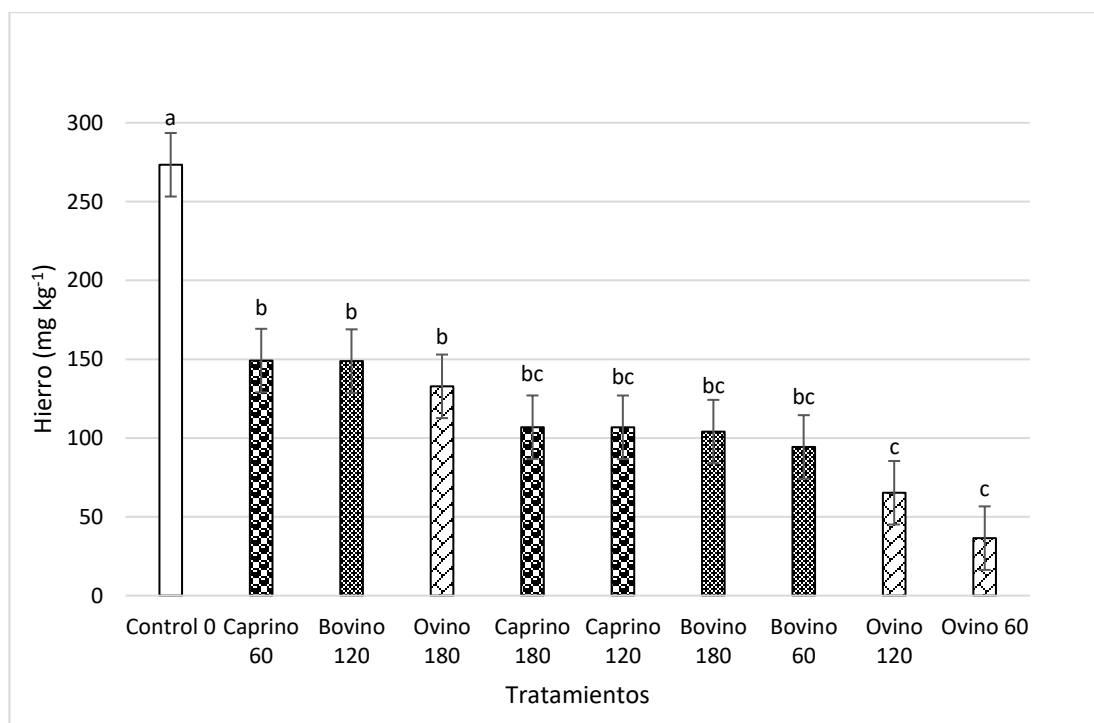
**Figura 14.** Concentración foliar de calcio en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

### 3.4.11 Hierro

La mayor concentración de hierro en la hoja se observó en el control (0 t ha<sup>-1</sup>) (Figura 15). Por otro lado, el tratamiento que indujo menor concentración fue el de vermicomposta de ovino con 60 t ha<sup>-1</sup>. Aun así, las concentraciones en todos los tratamientos se encontraron dentro del rango normal, el cual concuerda con lo observado por Fernández-Pavía et al. (2020) y Garza et al. (2020), incluyendo

los valores correspondientes a la dinámica nutrimental durante las estaciones observados por Márquez-Guerrero et al. (2020).

Puesto que el hierro tiene un papel importante en el transporte de electrones y formación de clorofila, la deficiencia de este puede alterar la fotosíntesis (Therby-Vale et al., 2022), sin embargo, a concentraciones altas origina toxicidad, ocasionando disminución en tasa fotosintética y biomasa vegetal (Faruk-Ahmed et al., 2023). En este estudio la concentración de hierro se encontró dentro de los rangos reportados para higuera, 0.29 a 914.27 mg/kg (Garza et al., 2020; Márquez-Guerrero et al., 2020) y no se registraron deficiencias visuales en la planta, al mismo tiempo, con las variables de clorofila y fotosíntesis no se mostró relación alguna.



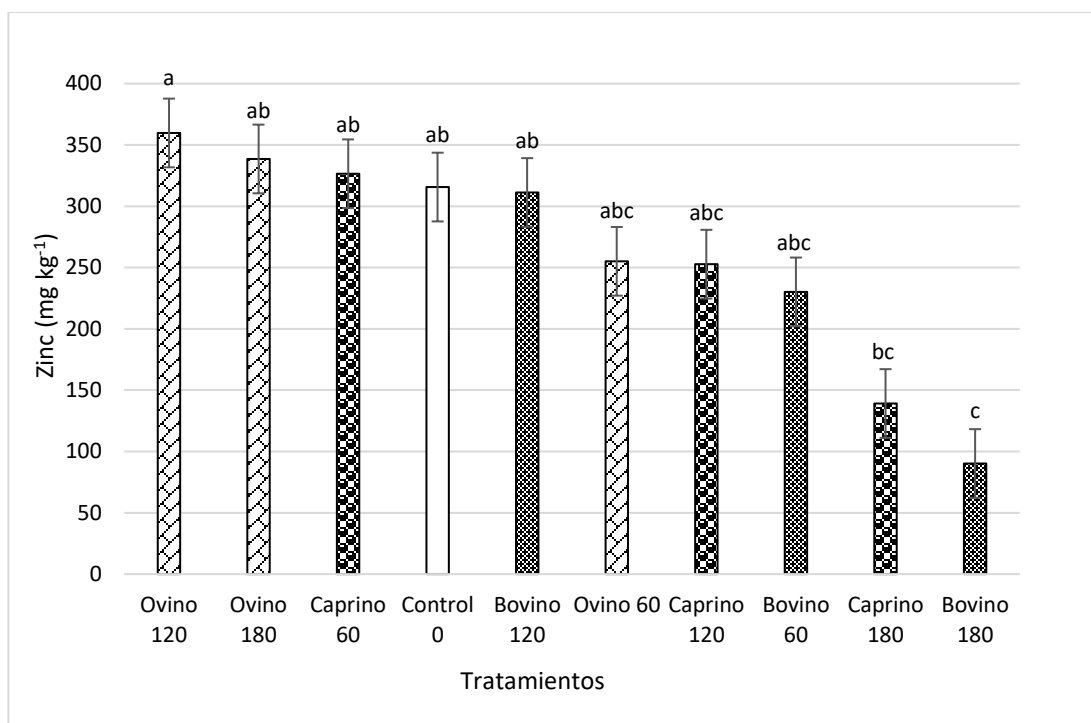
**Figura 15.** Concentración foliar de hierro en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son



estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

### **3.4.12 Zinc**

La mayor concentración de zinc foliar se observó en el tratamiento de vermicomposta ovina  $120 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que para la misma fuente en la dosis de  $180 \text{ t ha}^{-1}$  se observó la menor concentración de este nutriente (Figura 16). Sin embargo los valores obtenidos son altos, sobrepasando el rango normal establecido para esta especie según lo establecen Amezcua-Romero y Lara-Flores (2017), Garza et al. (2020) y Márquez-Guerrero et al. (2020) (Cuadro 4). Concentraciones mayores de  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  causan efectos negativos en la mayoría de las plantas, pero en guayaba se ha establecido como exceso cuando las concentraciones foliares son mayores de  $56 \text{ mg kg}^{-1}$  (Volke-Haller et al., 2017), por tanto, estos valores críticos varían entre especies. Amezcua-Romero y Lara-Flores (2017) mencionan que los síntomas de toxicidad se manifiestan con amarillamiento en la hoja, causado por degradación de la clorofila y de cloroplastos, llegando a generar la muerte de las células. De acuerdo con los valores encontrados en este estudio y a la sintomatología clorótica observada en las hojas, iniciando de los bordes hacia el centro, es posible asumir la presencia de un efecto de toxicidad.

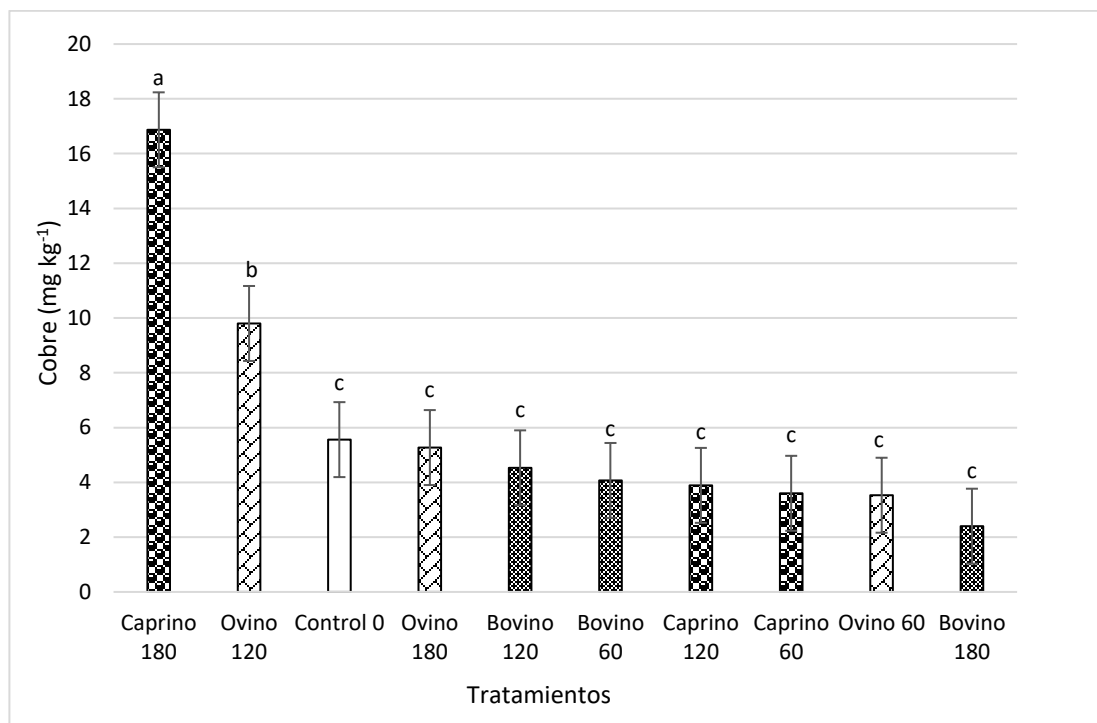


**Figura 16.** Concentración foliar de zinc en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

### 3.4.13 Cobre

La concentración de cobre fue incrementada significativamente por el tratamiento de vermicomposta caprina de 180 t ha<sup>-1</sup>, mientras que la menor concentración de este nutrimento en la hoja fue observada en el tratamiento de vermicomposta de bovino 180 t ha<sup>-1</sup> (Figura 17). Sin embargo, todos los tratamientos mostraron un intervalo de suficiencia nutrimental adecuado, tomando como referencia los valores encontrados por Garza et al. (2020) y Márquez-Guerrero et al. (2020) en esta especie. Al respecto Intagri (2023) postula que en plantas en general, los valores encontrados van de 1 a 25 mg kg<sup>-1</sup> y que los valores dentro de este intervalo son variables entre especies. Por ejemplo, plantas con demandas altas pueden alcanzar valores críticos a los 7 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que las de bajo requerimiento necesitan como mínimo 4 mg kg<sup>-1</sup>. En relación con esto, un estudio realizado en guayabo demostró que hay diferencias nutricionales para especies

arbóreas frutícolas, el valor crítico establecido como deficiencia es de 24, nivel bajo de 25 - 30, adecuado de 30 – 52, alto 52 – 57 y excesivo > 57 mg kg<sup>-1</sup> (Volke-Haller et al., 2017). Esta información proporciona una perspectiva de las necesidades de cobre que hay entre especies hortícolas y de frutales, en este sentido, los niveles encontrados en *Ficus carica* aunque para algunas especies pudieran ser las adecuadas, la respuesta del comportamiento de cobre puede verificarse en el tratamiento con mayor nivel (16.87 mg kg<sup>-1</sup>); y que no tuvo respuesta alguna en clorofila (Figura 10), pues el mismo tratamiento mostró el menor índice de esta, pudiendo manifestar deficiencia en este caso particular.

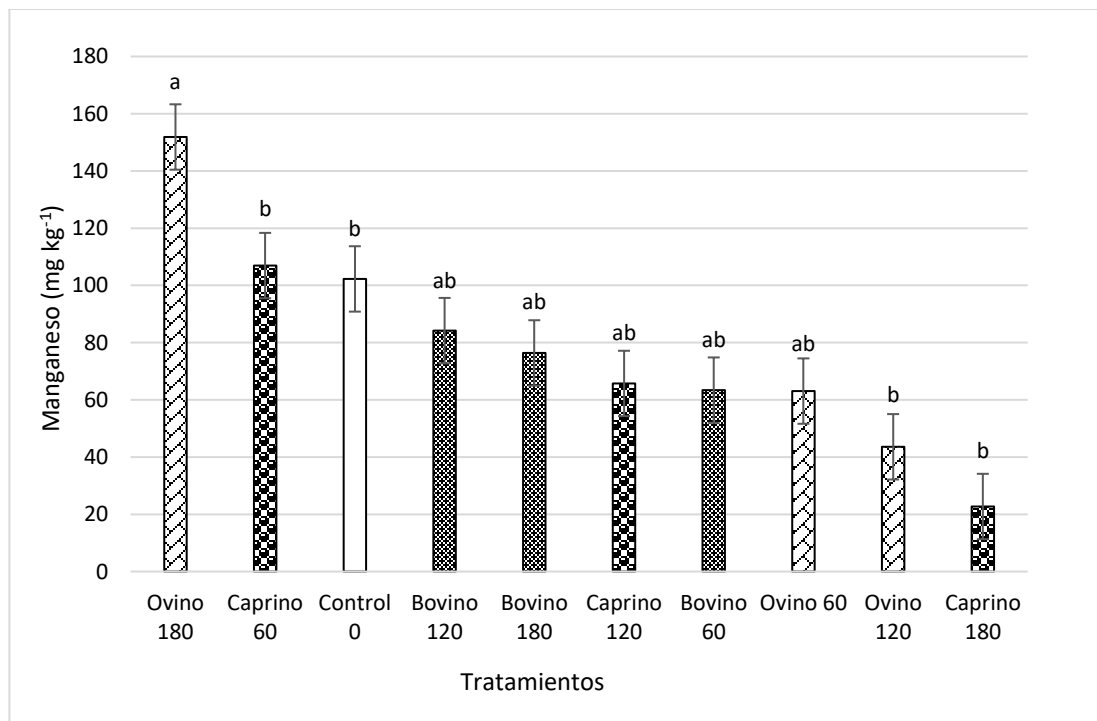


**Figura 17.** Concentración foliar de cobre en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

#### 3.4.14 Manganeso

Para manganeso el valor más alto y con una diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) se obtuvo en el tratamiento de vermicomposta ovina de 180 t ha<sup>-1</sup> (Figura 18), este

valor corresponde a la concentración ideal para *Ficus carica* L. cuando está bajo condiciones de fertilización acorde a sus requerimientos nutrimentales (Garza et al., 2020). Sin embargo, comparado con los requerimientos de manganeso en guayabo sólo el 50% de los tratamientos se encuentran en el intervalo de suficiencia adecuado, el resto cuentan con valores bajos a deficientes (Volke-Haller et al., 2017), no obstante, comparado con rambután, el contenido es mucho menor, el cual muestra un valor foliar de 780.32 mg kg<sup>-1</sup> (Sosa-Rodríguez y García-Vivas, 2023), los hallazgos demuestran que la necesidad de manganeso para higuera no es tan elevada si se compara con otros frutales, característica que la posiciona como una especie austera en requerimientos nutricionales.

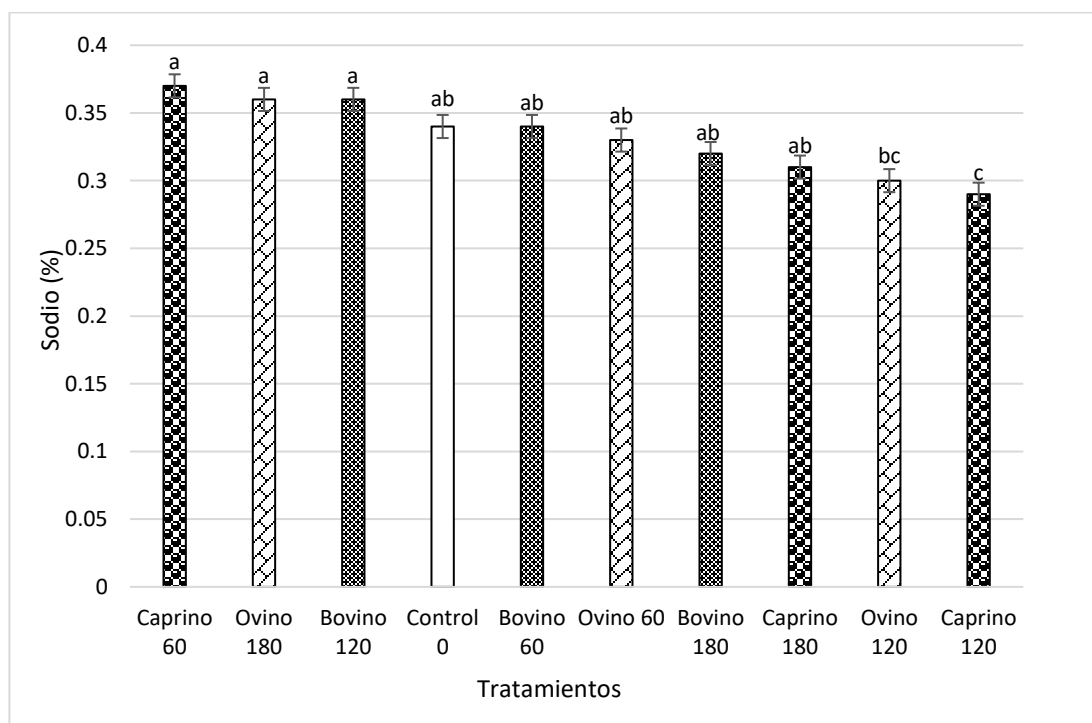


**Figura 18.** Concentración foliar de manganeso en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras

iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

### 3.4.15 Sodio

El contenido de sodio en este estudio reveló un descenso del elemento en seis tratamientos, en comparación al control. La mayor concentración foliar de sodio se observó en el tratamiento de vermicomposta caprina con  $60 \text{ t ha}^{-1}$ , sin embargo fue estadísticamente similar al testigo. Caso contrario sucedió en esta variable cuando la misma fuente de composta aumentó a  $120 \text{ ton ha}^{-1}$ , observándose un decremento significativo (Figura 19). De acuerdo con concentraciones de Na encontradas en guayabo (0.003 a 0.005%) (Volke-Haller et al., 2017), se puede apreciar que los rangos en *Ficus carica* L. fueron elevados y aunque es una especie tolerante a la salinidad se registró un decremento en fotosíntesis, pues a menor contenido de sodio en este estudio, se registró el valor más alto en fotosíntesis (tratamiento de vermicomposta caprina  $120 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Nouman et al., 2018), en contra parte, a mayor concentración de sodio se tuvo la menor tasa fotosintética (caprino  $60 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Figura 6).



**Figura 19.** Concentración foliar de sodio en *Ficus carica* L., con agregado de diferentes fuentes y niveles de vermicompostas en condiciones de malla sombra. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n = 3 observaciones).

### 3.5 CONCLUSIONES

La vermicomposta de bovino con 120 t ha<sup>-1</sup> mostró mayor consistencia en las variables fotosíntesis, conductancia estomática, concentración de CO<sub>2</sub> intercelular, transpiración y clorofila, con excepción de la variable diámetro de tallo, en el cual mostró un decremento incluso menor que el control (0 t ha<sup>-1</sup>). En otro orden, los menores valores para estas variables se presentaron en el tratamiento de vermicomposta caprina en las dosis de 180 y 120 t ha<sup>-1</sup>, exceptuando diámetro de tallo. En la concentración foliar de nutrientes, la fuente de vermicomposta de ovino mostró los mejores resultados en la concentración de Mn, Zn y Cu. Por su parte, la fuente de vermicomposta caprina aumentó los contenidos de Cu, Ca y disminuyó Na. En el mismo sentido, fuente de vermicomposta bovina aumentó las concentraciones de N y K. El uso de vermicomposta afectó la fisiología y la concentración foliar nutrimental, en las plantas de higo, sin embargo su efecto no fue claramente definido.

### 3.6 Literatura citada

- Airbus-INEGI. (2021). Universidad Autónoma Chapingo (URUZA). [Imagen satelital]. Google Earth. <https://earth.google.com/web/@25.89507026,-103.60277537,1112.01956681a,2085.25078856d,35y,0.00910072h,30.0093749t,359.99926728r/data=OgMKATA>
- Amezcuca Romero, Julio-César., & Lara-Flores, Miguel. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68 (3), 28-35. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68\\_3/PDF/zinc\\_plantas.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf)
- Amutenya, Aili., Kwembeya, Ezekeil., Shikangalah, Rosemary., & Tsvuura, Zivanai. (2023). Photosynthesis, chlorophyll content and water potential of a mistletoe-host pair in a semi-arid savanna. *South African Journal of Botany*, 163, 311-315. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.10.053>.

- Ayuso, Manuel., Carpena, Mari., Taofiq, Oludemi., Gonçalves-Albuquerque, Tânia., Simal-Gandara, Jesus., P.P.-Oliveira, M. Beatriz., Prieto, Miguel A., C.F.R.-Ferreira, Isabel., & Barros, Lillia. (2022). Fig "Ficus carica L." and its by-products: A decade evidence of their health-promoting benefits towards the development of novel food formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.010>
- Azpeitia-Castillo, Héctor Miguel. (2022). Evaluación de calcio, silicio y nanopartículas de hidroxapatita sobre la calidad de higo (*Ficus carica* L.) producido en dos densidades, en invernadero. [Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Baligar-Virupax, C., Elson-Marshall, K., Almeida-F. A. A., de Araujo-R, Quintino., Ahnert, D., & He-Z., L. (2021). Carbon Dioxide Concentrations and Light Levels on Growth and Mineral Nutrition of Juvenile Cacao Genotypes. *Revista Americana de Ciencias de las Plantas*, 12(5), 818-839. DOI: 10.4236/ajps.2021.125056
- Cao, Jing., Liu, Hongyan., Zhao, Bo., Li, Zongshan., Liang, Boyi., Shi, Liang., Song, Zhaopeng., Wu, Lu., Wang, Qiuming., Cressey, Elizabeth L., Zhu, Yanpeng., & Li, Shuang. (2023). Nitrogen addition enhances tree radial growth but weakens its recovery from drought impact in a temperate forest in northern China. *Science of The Total Environment*, 903, 166884. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166884>.
- Carrasco-Cuello, Francisca., Jené, Laia., Dolcet-Sanjuan, Ramon., Quiñones, Ana., Rufat, Josep., & Estanis Torres, Estanis. (2024). Differential response to calcium-labelled (44Ca) uptake and allocation in two peach rootstocks in relation to transpiration under in vitro conditions. *Scientia Horticulturae*, 326, 112718. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112718>.
- Celaya, Michel H. & Celaya, Rosas M. (2023). Desierto Sonorense: mucho que aportar a la humanidad. *Elementos*, 132, 101-106. [www.elementos.buap.mx](http://www.elementos.buap.mx)
- Faruk-Ahmed, Sheikh., Biswas, Arindam., Ullah, Hayat., Kumar-Himanshu, Sushil., Tisarum, Rujira., Cha-um, Suriyan & Datta, Avishek. (2023). Interactive effects of silicon and potassium on photosynthesis and physio-biochemical traits of rice (*Oryza sativa* L.) leaf mesophyll under ferrous iron toxicity. *Plant Stress*, 10, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100203>.
- Fernández-Pavía, Yolanda Leticia., García-Cue, José Luis., Fernández Pavía, Sylvia Patricia., & Muratalla-Lúa, Alfonso. (2020). Deficiencias nutrimentales inducidas en higuera cv. Neza en condiciones hidropónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 581-592. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n3/2007-0934-remexca-11-03-581.pdf>
- Galán, A.J., Martín, A., Torres-Vila, L.M., Ruiz-Moyano, S., Galván, A.I., Serradilla, M.J., & López-Corrales, M. (2023). Quantification and identification of

- damage caused by pests and fungi in dried figs from orchards with different levels of agronomic management in the main production areas of extremadura (SW Spain). *Crop Protection*, 172(106334). <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106334>.
- Garza, A. C. A., Olivares, S. E., Gutiérrez, D. A., Vázquez, A. R. E., & López, J. A. (2020). Deficiencia de Macronutrientes en Higuera (*Ficus carica* L.): *Síntomas visuales, crecimiento vegetativo y contenido mineral*. (Serie Frutales No. 64). Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 16 p. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/deficiencia-de-macronutrientes-en-higuera>
- Getachew-Gebrehana, Zerihun., T.-Gebremikael, Mesfin., Beyene, Sheleme., Sleutel, Steven., L.-Wesemael, Wim M., & De Neve, Stefaan. (2023). Organic residue valorization for Ethiopian agriculture through vermicomposting with native (*Eudrilus eugeniae*) and exotic (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*) earthworms. *European Journal of Soil Biology*, 116(103488). <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103488>.
- INEGI. (2020). Cartas Climatológicas. Climatología. Estados Unidos Mexicanos. Nacional. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.
- INTAGRI. (2020). El cobre en la nutrición vegetal. Serie Nutrición vegetal. Núm. 135. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 4 pág.
- Larangeira-Amorim, Thialla., Bentzen-Santos, Hugo Rafael., Barroso-Neto, Juracy., Hermínio, Pedro José., Inácio-Silva, José Raliuson., Albuquerque-Silva, Marcela Maria., Nascimento-Simões, Adriano., Souza, Eduardo., & Ferreira-Silva, Sérgio Luiz. (2023). Resistant rootstocks mitigate ionic toxicity with beneficial effects for growth and photosynthesis in grapevine grafted plants under salinity. *Scientia Horticulturae*, 317, 112053. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112053>.
- Li, Fei., Gao, Xiaodong., Li, Changjian., He, Honghua., Siddique, Kadambot H.M., & Zhao, Xining. (2023). Elevated CO<sub>2</sub> concentration regulate the stomatal traits of oilseed rape to alleviate the impact of water deficit on physiological properties. *Environmental and Experimental Botany*, 211, 105355. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105355>.
- Liang, Zimeng., Li, Jiayu., Cao, Xidan., Tang, Yangyang., Mo, Fei., Nangia, Vinay., & Liu, Yang. (2024). Responses of wheat nitrogen uptake and utilization, rhizosphere bacterial composition and nitrogen-cycling functional genes to nitrogen application rate, planting density and their interactions. *Applied Soil Ecology*, 193, 105143. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105143>.
- Lo'ay, A.A., F, Sally., EL-Ezz, Abo., & Awadeen, Ashraf A. (2021). Effect of different foliar potassium fertilization forms on vegetative growth, yield, and fruit quality of kaki trees grown in sandy soil. *Scientia Horticulturae*, 288, 110420. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110420>.



- Lu, Congming., & Zhang, Jianhua. (2000). Photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Science*, 151(2), 135-143. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00207-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00207-1).
- Luo, Yayin., Xiong, Huaye., Zhao, Huanyu., Hu, Bin., Yan, Chengquan., Yao, Tingshan., Tang, Xiaodong., Zhao, Jingkun., Zhang, Yueqiang., Shi, Xiaojun., & Rennenberg, Heinz. (2024). Accumulated temperature rather than nitrogen fertilization is the main factor determining growth of young citrus trees in the field. *Scientia Horticulturae*, 323, 112511. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112511>.
- Ma, Lixia., Hou, Kang., Tang, Haojie., Liu, Jiawei., Wu, Siqi., Li, Xuxiang., & Sun, Pengcheng. (2023). A new perspective on the whole process of ecological vulnerability analysis based on the EFP framework. *Journal of Cleaner Production*, 426, 139160. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139160>.
- Márquez Guerrero, Selenne Yuridia., Figueroa-Viramontes, Uriel., Cueto-Wong, José Antonio., Arreola-Ávila, Jesús Guadalupe., Zegbe-Domínguez, Jorge Artemio., & Trejo-Calzada, Ricardo. (2020). Variación estacional de la concentración foliar de nutrimentos en huertas de higuera bajo sistemas de producción intensiva. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 10(3), 525-537. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1272>
- Mazcorro, Baldomero. (2022). Alfalfa, más que un forraje. CIMMYT. Noticias. <https://idp.cimmyt.org/alfalfa-mas-que-un-forraje/>
- NASA. (2022). Agricultura en el desierto mexicano de Chihuahua. <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/agricultura-en-el-desierto-mexicano-de-chihuahua/>
- Nouman, W., Qureshi, M.K., Shaheen, M., & Zubair, M. (2018). Variation in Plant Bioactive Compounds and Antioxidant Activities Under Salt Stress. In: Vats, S. (eds) Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_4)
- Oliveros-Díaz, Mauricio., & Caicedo-Vera, Jaime A. (2023). La conductancia estomática (gs) importancia, función y factores de influencia. Medición de la conductancia estomática (gs) a través del porómetro de difusión estable en diferentes cultivos. Cosmoagro S. A. 1. Concepto y definición de la conductancia estomática (gs). [https://www.researchgate.net/publication/368472454\\_LA\\_CONDUCTANCIA\\_ESTOMATICA\\_gs\\_IMPORTANCIA\\_FUNCION\\_Y\\_FACTORES\\_DE\\_INFLUENCIA\\_MEDICION\\_DE\\_LA\\_CONDUCTANCIA\\_ESTOMATICA\\_gs\\_A\\_TRAVES\\_DEL\\_POROMETRO\\_DE\\_DIFUSION\\_ESTABLE\\_EN\\_DIFERENTES\\_CULTIVOS\\_COSMOAGRO\\_S\\_A\\_1\\_C/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/368472454_LA_CONDUCTANCIA_ESTOMATICA_gs_IMPORTANCIA_FUNCION_Y_FACTORES_DE_INFLUENCIA_MEDICION_DE_LA_CONDUCTANCIA_ESTOMATICA_gs_A_TRAVES_DEL_POROMETRO_DE_DIFUSION_ESTABLE_EN_DIFERENTES_CULTIVOS_COSMOAGRO_S_A_1_C/citation/download)
- Qiu, Menglong., Fu, Mengyu., Zhang, Zhiwei., Fu, Shaowu., Yuan, Chengcheng. (2023). Assessing the ecological risk of croplands in loess drylands by combining environmental disturbance with ecosystem vulnerability. *Journal*

- Representación Lagunera – Subdelegación de Planeación. (2024). Producción Agropecuaria y el Clima. Región Lagunera. [Boletín Informativo]. Núm. 4. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892305/BOLET\\_N\\_INF\\_PROD\\_AGROP\\_Y\\_CLIMA\\_4.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892305/BOLET_N_INF_PROD_AGROP_Y_CLIMA_4.pdf)
- Ríos-Bolívar, Fabiola M., Garruña, René., Rivera-Hernández, Benigno., Herrera, Ana., & Tezara, Wilmer. (2022). Effect of high concentrations of CO<sub>2</sub> and high temperatures on the physiology of Mexican cocoa. *Plant Stress*, 6, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100114>.
- Rodríguez-Yzquierdo, Gustavo Adolfo., Pradenas-Aguila, Héctor Eduardo., Basso-de-Figuera, Carmen Amalia., Barrios-García, Marta., León-Pacheco, Rommel Igor., & Pérez-Macias, Mercedes. (2020). Effect of doses of nitrogen in the agronomy and physiology of yellow passion fruit. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 117-128. <https://www.redalyc.org/journal/437/43761812010/html/>
- SEMARNAT. (2000). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. (Segunda Edición). (NOM-021-REC NAT-2000). DOF. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Shin, Jiyong., Hwang, Inha., Kim, Dongpil., Kim, Jaewoo., Hyun-Kim, Jin., & Eek-Son, Jung. (2022). Waning advantages of CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthesis and productivity due to accelerated phase transition and source-sink imbalance in sweet pepper. *Scientia Horticulturae*, 301, 111130. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111130>.
- SIAP. (2022c). Anuario estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sosa-Rodríguez, B. A., & García-Vivas, Y. S. (2023). Trace elements: nutritional dynamics in different organs and phenological stages of rambutan cultivation in Honduras. *Siembra*, 10 (1), e3986. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.3986>
- Struthers, Raymond., Ivanova, Anna., Tits, Laurent., Swennen, Rony., & Coppin, Pol. (2015). Thermal infrared imaging of the temporal variability in stomatal conductance for fruit trees. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.006>.
- Therby-Vale, Rebecca., Lacombe, Benoit., Rhee, Seung Y., Nussaume, Laurent., & Rouached, Hatem. (2022). Mineral nutrient signaling controls photosynthesis: focus on iron deficiency-induced chlorosis. *Trends in Plant Science*, 27(5) 502-509. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.005>.
- Volke-Haller, Víctor., Sánchez-García, Prometeo., Cortés-Flores, José I., O rozco-Méndez, Mauricio., & Camacho-Blas, Ramón. (2017). Leaf nutrient

sufficiency range for guava (*psidium guajava* L.), in the eastern region of Michoacan, Mexico. *Rev. Fitotec. Mex.*, 40(3): 285 – 297. <https://www.redalyc.org/journal/610/61050549004/>

- Wang, Maling., Vasconcelos, Marta W., P.-Carvalho, Susana M. (2021). Chapter 19 - Role of calcium nutrition on product quality and disorder susceptibility of horticultural crops: processes and strategies for biofortification. Editor(s): Santosh Kumar Upadhyay, Calcium Transport Elements in Plants, Academic Press, 315-335. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821792-4.00011-4>.
- Wojciech-Przemieniecki, S., Skwiercz, A., Damszel, M., Telesiński, A., Zapałowska, A., Sierota, Z., & Gorczyca, A. (2021). Ecology, biology and enzymatic activity of the rhizosphere planted with *Larix decidua* seedlings after addition of vermicompost. *Applied Soil Ecology*, 168(104101). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104101>
- Yi, Yan., & Yano, Katsuya. (2023). Nocturnal versus diurnal transpiration in rice plants: Analysis of five genotypes grown under different atmospheric CO<sub>2</sub> and soil moisture conditions. *Agricultural Water Management*, 286, 108397. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108397>.
- Zhou, Zhenxiang., Struik, Paul C., Gu, Junfei., van der Putten, Peter E.L., Wang, Zhiqin., Yin, Xinyou., & Yang, Jianchang. (2023). Enhancing leaf photosynthesis from altered chlorophyll content requires optimal partitioning of nitrogen. *Crop and Environment*, 2(1)24-36. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2023.02.001>.
- Zhu, Yong., Cheng, Zefeng., Feng, Kun., Chen, Zhang., Cao, Chuanxiang., Huang, Jian., Ye, Hong., & Gao, Yanfeng. (2022). Influencing factors for transpiration rate: A numerical simulation of an individual leaf system. *Thermal Science and Engineering Progress*, 27, 101110. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101110>

## CAPITULO IV

### **Cambio en la composición química del suelo por aplicaciones de vermicomposta generada a partir de tres fuentes de estiércol sobre *Ficus carica* L.**

#### **4.1 RESUMEN**

El uso de fertilizantes orgánicos se hace cada vez más necesario para conservar la salud del suelo, al mismo tiempo, se busca fortalecer la calidad de alimentos que se producen, aprovechando recursos de otras industrias para fomentar la economía circular. En este sentido, las vermicompostas han mostrado la capacidad para aumentar el potencial nutrimental del suelo bajo ciertos requerimientos de materia orgánica, aun así, en la mayoría de los casos se han enfocado en restos de cosechas o lodos aplicados a especies hortícolas. En el caso de vermicompostas creadas a partir de estiércol puro aplicadas a frutales las investigaciones son nulas o no han sido documentadas. Para ello, se realizó un estudio durante dos años, 2022 y 2023 donde se aplicó un diseño experimental completamente al azar con 10 tratamientos que incluyen tres fuentes de vermicomposta, bovina, caprina y ovina, aplicadas en diferentes dosis correspondientes a la relación vermicomposta – suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0, 60, 120 y 180 t ha<sup>-1</sup>) con tres repeticiones. La aplicación de vermicomposta, en sus tres fuentes y dosis indujo un efecto variable sobre la concentración de macronutrientes y micronutrientes determinados en el suelo. No obstante, se observó una tendencia hacia el incremento de N, P, Mn y Zn así como un decremento en Mg con respecto al control. Este estudio muestra, que la incorporación de vermicomposta como enmienda fortalece la salud del suelo, puede disminuir los costos de producción por adquisición de fertilizantes, fomentar la economía circular y brindar un desarrollo favorable para las plantas.

**Palabras clave:** Vermicomposta, fertilizante orgánico, estiércol, suelo.

#### **4.2 INTRODUCCIÓN**

La necesidad de alimentos a nivel mundial ejerce gran presión sobre el sector agrícola; para satisfacer la demanda, se utilizan fertilizantes de síntesis química que aumentan el potencial productivo de las plantas (Labbilta et al., 2023). Sin

embargo, el uso constante de fertilizantes inorgánicos ha contribuido en la disminución de fertilidad del suelo y que las tierras con baja fertilidad sigan en expansión (Cotler et al., 2020).

Tan sólo en México, en el año 2023 se cultivaron 20.6 millones de hectáreas (SIAP, 2023a) que utilizaron 6.6 millones de toneladas de fertilizantes de síntesis química aproximadamente (SIAP, 2023b) y aunque la finalidad del uso de fertilizantes es incrementar la producción agrícola, estos también tienen un impacto negativo en las reservas nutrimentales naturales del suelo (Cotler et al., 2020; FAO, 2021) y su uso desmesurado disminuyen su eficacia e impactan negativamente en los ecosistemas naturales (Adhikari et al., 2021).

Con el fin de disminuir costes por la adquisición de fertilizantes e incorporar fuentes de materia orgánica al suelo, se han utilizado diversos productos del sector agropecuario, como residuos de cosechas y estiércoles, que ayudan a mantener la fertilidad del suelo (Zabaloy, 2021). No obstante, estas acciones han causado en algunos casos aumento de factores adversos para las plantas, como la salinidad o contaminación por patógenos a los cultivos y que pueden transferirse a humanos (Congilosi y Aga, 2021; FAO & UNEP, 2021; Ocaña de Jesús et al., 2018; Zhang et al., 2022). El riesgo mínimo es que, al cabo de unos años, estos residuos orgánicos crudos no aporten materia orgánica y la estabilidad en los agregados sea de baja a mala en su calidad (Flores-Sánchez et al., 2015).

Estos sólidos orgánicos, como fuente de contaminación, han propiciado la generación de tecnologías alternas para su proceso, una de ellas es el vermicompostaje. Esta técnica incorpora lombrices y microorganismos que descomponen eficazmente la materia orgánica, aumentando con ello la mineralización de elementos, la aireación, la actividad enzimática, mejora la textura del suelo (Bellitürk et al., 2023; Poornima et al., 2024), y aunque en este estudio no se realizó, también reduce la abundancia de genes resistentes a antibióticos (Mu et al., 2023). Del vermicompostaje se obtiene un material estable

y rico en nutrientes que pueden contribuir en el cuidado del medio y salud del suelo (Shi et al., 2023; Wojciech-Przemieniecki et al., 2021; Yu et al., 2022).

Algunos estudios han mostrado que el material obtenido a través de vermicompostaje tiene mayor concentración de potasio, fósforo, magnesio, boro y cobre que el compostaje tradicional obtenido de la mezcla de residuos de lodos depurados, restos de cosechas y estiércoles (Adil-Ansari et al., 2024; Dume et al., 2023; Ferraz-Ramos et al., 2022; Han et al., 2024; Ruangjanda et al., 2022; Yuan et al., 2024), a la par, regula pH y conductividad eléctrica (Danish-Toor et al., 2024). De este modo, la vermicomposta es catalogada como una de las enmiendas orgánicas de más alta calidad (Devi y Khwairakpam, 2023) por sus elevados efectos fertilizantes y reparadora del suelo (Ducasse et al., 2023).

Los problemas actuales que enfrentan las tierras de cultivo pueden ser mitigadas, con el fin de regresar al suelo su multifuncionalidad, garantizando con ello la seguridad alimentaria, se puede recurrir a la aplicación de vermicomposta (Zhu et al., 2024). En este estudio, se promueve el uso de materiales de la región con el fin de fomentar la economía circular (Li et al., 2024a) y que el costo de la adquisición de fertilizantes sea más accesible. El material utilizado para la generación de vermicomposta fue estiércol de bovino, ovino y caprino. Posterior a la obtención de la enmienda se aplicó a diferentes dosis en macetas que contenían una planta de *Ficus carica* L., esto con el fin de promover la sinergia entre suelo-nutrientes y planta. Es así como, el objetivo de la investigación fue medir y comparar el cambio en la composición química del suelo al aplicar vermicomposta a *Ficus carica* L. en condiciones de malla sombra.

## **4.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.3.1 Ubicación del área de estudio**

El establecimiento del estudio se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) en Bermejillo, Mapimí, Durango, México, en las coordenadas 25°53'42.79" N - 103°36'8.29" O,

a una altura de 1113 msnm (Airbus-INEGI, 2021). La localidad se encuentra dentro de la reserva ecológica Bolsón de Mapimí, domina un clima BW (seco) con subtipo *hw* (muy seco semicálido), presentando temperatura media anual de 21°C, máximas de 41°C y mínimas de 9°C con vientos densos y calientes del NE al SO; la precipitación pluvial es de 263 mm media anual, con lluvias comprendidas entre los meses de julio a septiembre y 5% invernales (INEGI, 2020).

#### **4.3.2 Proceso de vermicompostaje**

Para la obtención de vermicomposta se utilizaron tres pilas de cemento de 1.20 m x 1 m, en cada una se colocó un núcleo de lombrices *Eisenia fetida* y se les alimentó con 22 kg de estiércol de bovino, ovino y caprino colectados de una posta zootécnica de la misma Universidad. El estiércol se mantuvo con humedad suficiente sin llegar al exceso. Cada pila se protegió con malla y cartón para evitar la evaporación. El área se protegió con una malla sombra doble con cerramiento del 90% para la luz solar.

El inicio del proceso de vermicompostaje fue el 29 de marzo de 2022, fecha en que se sembraron los núcleos de lombrices y se les proporcionó el primer alimento, se les alimentó dos veces más con la misma cantidad de estiércol el día 17 de abril y 6 de mayo. Es preciso aclarar que, con el estiércol puro de bovino no se logró sobrevivencia de lombrices, por tal motivo se procedió a trabajar con estiércol de bovino composteado tradicionalmente para alimentar a *Eisenia fetida*. Pasado el tiempo de alimentación, el 6 de junio se procedió a la cosecha de vermicomposta de cada uno de los núcleos.

El proceso de vermicompostaje llevó 70 días, al término del cual se obtuvo el 30% de la materia original en peso seco. Una vez terminada la cosecha de vermicomposta, se dejó dos semanas para que terminara de madurar y poder utilizar como fertilizante orgánico.

### 4.3.3 Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con 10 tratamientos que incluyen tres fuentes de vermicomposta, bovina, caprina y ovina, aplicadas en diferentes dosis correspondientes a la siguiente relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0, 60, 120 y 180 t ha<sup>-1</sup>) con tres repeticiones. Cada planta en su maceta representó una unidad experimental, la maceta estaba contenida en una bolsa de vivero con 7 kilogramos de suelo previamente analizado, obteniendo una textura franca, de acuerdo con el pH se clasificó como medianamente alcalino y por su conductividad eléctrica clasificado como salino. Los resultados obtenidos fueron conforme a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Las plantas de higo de la variedad Black Mission procedentes del mismo lugar, con similar porte y altura fueron trasplantadas en bolsas de vivero, donde a cada una se le aplicó el tratamiento correspondiente. El cuidado que se les proporcionó consistió en riegos adecuados, malla sombra y en invierno se protegió con bolsas de papel craft a cada una de las plantas y cubierta de polipropileno (Agribon), esto debido a las bajas temperaturas registradas el 24 de diciembre de 2022, empezando con una temperatura de -0.7 °C a partir de las 12:00 a.m. y descendiendo durante el resto de la noche hasta alcanzar los -6.4 °C, repitiendo el mismo patrón el día 25 del mismo mes y continuando con temperaturas bajo 0 °C el 26, 27 y 28 de diciembre, para enero del 2023 la temperatura nuevamente descendió los días 5, 13 y 14, esto de acuerdo a los datos registrados por la estación meteorológica Vantage Pro2 Plus Davis Instruments, instalada en el campo experimental Rancho el Carmen de la URUZA, en las coordenadas 25°53'52.11" N - 103°35'47.35" O.

El tiempo en que el suelo estuvo en la maceta con la planta y el tratamiento correspondiente fue de 12 meses. Posterior a ello se colectaron las muestras correspondientes de suelo para llevar a laboratorio y ser analizadas.



#### 4.3.4 Variables medidas

##### 4.3.4.1 Bicarbonatos

Mediante el método AS-20 de la NOM-021-RECNAT-2000 se determinaron bicarbonatos en el extracto de saturación (método AS-16) por titulación volumétrica. Se utilizaron las siguientes soluciones y reactivos; solución estándar de sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), anaranjado de metilo, y ácido sulfúrico 0.05 N, la titulación se realizó hasta el viraje de naranja a canela, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{mmol L}_{(-)}^{-1} \text{ de H}_3^- = \frac{(Z - 2Y) \times N \text{ de H}_2 \text{ SO}_4 \times 1000}{\text{mL Alícuota}} \quad (1)$$

Donde:

Z= volumen de titulación en ml de  $H_2 SO_4$

Y= volumen de titulación para carbonatos (si se hubieran detectado).

N= normalidad de  $H_2 SO_4$

##### 4.3.4.2 Cloruros

Mediante el método AS-20 de la NOM-021-RECNAT-2000 se determinó bicarbonatos en el extracto de saturación (método AS-16) por titulación volumétrica. Se utilizaron las siguientes soluciones y reactivos; agua destilada, cromato de potasio y nitrato de plata ( $AgNO_3$ ) a 0.025 N. La titulación se realizó hasta el viraje de amarillo a rojo ladrillo, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{mmol L}^{-1} \text{ de Cl} = \frac{\text{mL de Ag NO}_3 \times N \text{ de Ag NO}_3 \times 1000}{\text{mL Alícuota}} \quad (2)$$

#### 4.3.4.3 pH

Para determinar pH se utilizó un potenciómetro (analizador Pocket Pro Multi 2 Tester) en el extracto de saturación del suelo, realizado con el método AS-02 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

#### 4.3.4.4 Conductividad eléctrica

Para determinar conductividad eléctrica (CE) se utilizó el analizador Pocket Pro Multi 2 Tester en el extracto de saturación del suelo, realizado con el método AS-18 de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

#### 4.3.4.5 Sodio

La determinación de sodio (Na) se realizó con el método AS-19 de la NOM-021-RECNAT-2000, donde se utilizó el extracto de saturación (método AS-16) y el equipo de espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer Precisely a una longitud de onda de 589 nanómetros, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{Na soluble mmol L}^{-1} = \frac{(a - b) \times d}{\text{PE}} \quad (3)$$

Donde:

a= mg L<sup>-1</sup> de Na en el extracto diluido

b= mg L<sup>-1</sup> de Na en el blanco

d= factor de dilución

PE= peso equivalente de Na, 23.0

#### 4.3.4.6 Nitrógeno

Para determinación de nitrógeno total (N) se utilizó el método AS-25 de la NOM-021-RECNAT-2000, en este método se realiza una digestión de la muestra para convertir el nitrógeno en amonio (NH<sup>+</sup>4) en el equipo digestor de grafito, posterior a ello se destila en el equipo de prueba automática Novatech para ambos, el

siguiente paso fue titular con ácido sulfúrico 0.01 N hasta que vire de verde a un color rosa fuerte, para determinar el porcentaje de nitrógeno total se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\% \text{ N total} = \frac{(V_m - V_b) \times N \times 14}{p \times 10} \quad (4)$$

Donde:

$V_m$ = volumen de ácido sulfúrico empleado en titular la muestra (ml).

$V_b$ = volumen de ácido sulfúrico empleado en titular el blanco (ml).

$N$ = normalidad del ácido sulfúrico

14= peso equivalente del nitrógeno

10= factor de conversión a porcentaje

$P$ = peso de la muestra de suelo (g)

#### 4.3.4.7 Fósforo

La determinación de fósforo (P) se llevó a cabo con el método AS-10 por procedimiento Olsen y colaboradores de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, al término del procedimiento se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$P \text{ (mg kg}^{-1}\text{de suelo)} = \frac{V_i}{p} \times \frac{V_f}{a} \quad (5)$$

Donde:

$CC$ = mg L<sup>-1</sup> de fósforo (P) en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración.

$V_i$ = volumen de la solución extractora adicionada (ml).

$p$ = peso de suelo seco (secado al aire)(mg).

Vf= volumen final de la solución colorimétrica a leer (ml).

a= alícuota de la muestra empleada para la cuantificación.

#### 4.3.4.8 Potasio

En la determinación de potasio (K) se aplicó el método AS-19 de la NOM-021-RECNAT-2000, donde se utilizó el extracto de saturación (método AS-16) y el equipo de espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer Precisely a una longitud de onda de 766.5 nanómetros, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$K \text{ soluble mmol L}^{-1} = \frac{(a - b) \times d}{PE} \quad (6)$$

Donde:

a= mg L<sup>-1</sup> de K en el extracto diluido

b= mg L<sup>-1</sup> de Na en el blanco

d= factor de dilución

PE= peso equivalente de K, 39.1

#### 4.3.4.9 Calcio

En la determinación de calcio (Ca) se aplicó el método AS-19 de la NOM-021-RECNAT-2000, donde se utilizó el extracto de saturación (método AS-16), series estándares y el equipo de absorción atómica Perkin Elmer Precisely a una longitud de onda de 422.7 nanómetros, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$Ca \text{ soluble mmol L}^{-1} = \frac{(a - b) \times d}{PE} \quad (7)$$

Donde:

a= mg L<sup>-1</sup> de Ca en el extracto diluido

b= mg L<sup>-1</sup> de Na en el blanco

d= factor de dilución

PE= peso equivalente de Ca, 20

#### 4.3.4.10 Magnesio

Para determinación de magnesio (Mg) se aplicó el método AS-19 de la NOM-021-RECNAT-2000, donde se utilizó el extracto de saturación (método AS-16), series estándares y el equipo de absorción atómica Perkin Elmer Precisely a una longitud de onda de 285.2 nanómetros, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{mg soluble mmol L}^{-1} = \frac{(a - b) \times d}{PE} \quad (8)$$

Donde:

a= mg L<sup>-1</sup> de Ca en el extracto diluido

b= mg L<sup>-1</sup> de Na en el blanco

d= factor de dilución

PE= peso equivalente de Mg, 12.15

#### 4.3.4.11 Zinc

De acuerdo con el método AS-14 de la NOM-021-RECNAT-2000 se determinó zinc (Zn) empleando ácido del dietilen-triamino-pentaacético (DTPA) y ácido-del etilen-diamino-tetraacético (EDTA), completado el procedimiento se llevó a absorbancia atómica en el equipo Perkin Elmer Precisely, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{mg kg}^{-1} \text{ Zn} = [(2)(M-b)]_0 \quad (9)$$

Donde:

M= concentración de Zn en el extracto de suelo (mg L<sup>-1</sup>)

b= concentración de Zn en el blanco (mg L<sup>-1</sup>)

#### **4.3.4.12 Cobre**

De acuerdo con el método AS-14 de la NOM-021-RECNAT-2000 se determinó cobre (Cu) empleando ácido del dietilen-triamino-pentaacético (DTPA) y ácido del etilen-diamino-tetraacético (EDTA), completado el procedimiento se llevó a absorbancia atómica en el equipo Perkin Elmer Precisely, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{mg kg}^{-1} \text{ Cu} = [(2)(M-b)]_0 \quad (10)$$

Donde:

M= concentración de Cu en el extracto de suelo (mg L<sup>-1</sup>)

b= concentración de Cu en el blanco (mg L<sup>-1</sup>)

#### **4.3.4.13 Hierro**

De acuerdo con el método AS-14 de la NOM-021-RECNAT-2000 se determinó hierro (Fe) empleando ácido del dietilen-triamino-pentaacético (DTPA) y ácido del etilen-diamino-tetraacético (EDTA), completado el procedimiento se llevó a absorbancia atómica en el equipo Perkin Elmer Precisely, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{mg kg}^{-1} \text{ Fe} = [(2)(M-b)]_0 \quad (11)$$

Donde:

M= concentración de Fe en el extracto de suelo (mg L<sup>-1</sup>)

b= concentración de Fe en el blanco (mg L<sup>-1</sup>)

#### 4.3.4.14 Manganeso

De acuerdo con el método AS-14 de la NOM-021-RECNAT-2000 se determinó manganeso (Mn) empleando ácido del dietilen-triamino-pentaacético (DTPA) y ácido-del etilen-diamino-tetraacético (EDTA), completado el procedimiento se llevó a absorbancia atómica en el equipo Perkin Elmer Precisely, posterior a ello se aplicó la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2000).

$$\text{mg kg}^{-1} \text{ Mn} = [(2)(M-b)]_0 \quad (12)$$

Donde:

M= concentración de Mn en el extracto de suelo ( $\text{mg L}^{-1}$ )

b= concentración de Mn en el blanco ( $\text{mg L}^{-1}$ )

#### 4.3.5 Análisis estadístico

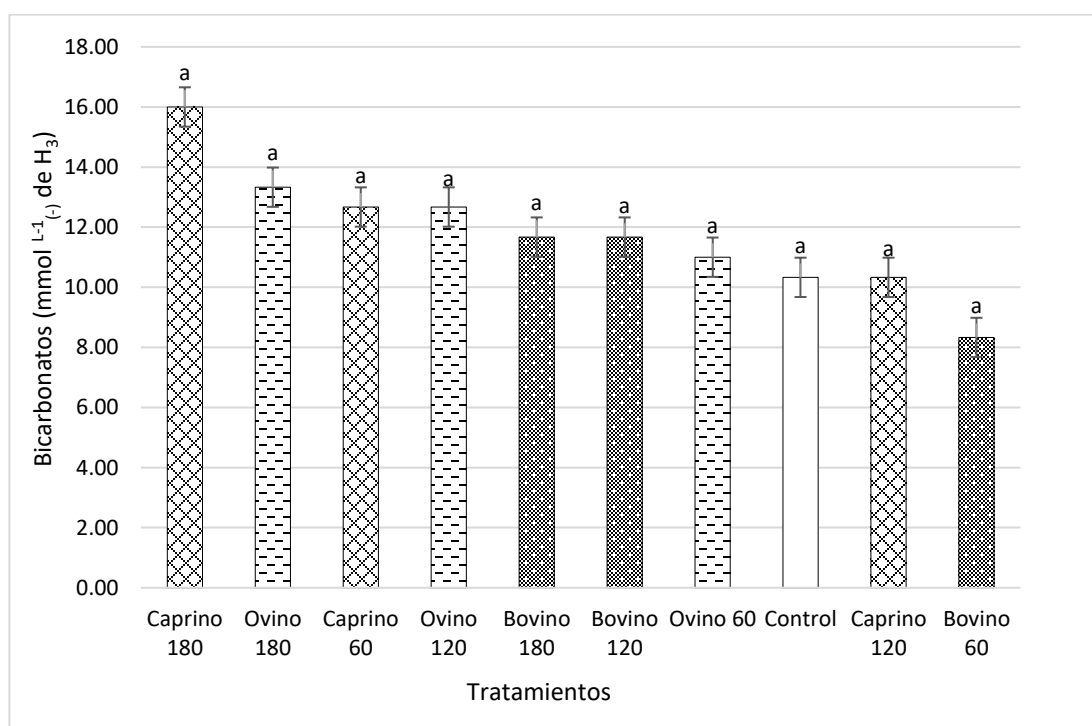
Los datos fueron analizados con el programa estadístico InfoStat versión 2020 libre, con el que se realizó un análisis de varianza, seguida de una prueba de ajuste de Shapiro–Wilk para contrastar la normalidad de los datos, un análisis de residuos absolutos mediante prueba de Levene para homogeneidad de varianzas. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para poder identificar el efecto de los tratamientos.

### 4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.4.1 Bicarbonatos

Los resultados muestran un incremento del 7 al 55% de bicarbonatos en el suelo con los tratamientos de vermicomposta de caprino  $180 \text{ t ha}^{-1}$ , ovino  $180 \text{ t ha}^{-1}$ , caprino  $60 \text{ t ha}^{-1}$ , ovino  $120 \text{ t ha}^{-1}$ , bovino  $180 \text{ t ha}^{-1}$ , bovino  $120 \text{ t ha}^{-1}$  y ovino  $60$ , con respecto al testigo ( $10.33 \text{ mmol L}^{-1}_{(-)} \text{ de H}_3$ ) (Figura 20). En dos tratamientos, caprino  $120 \text{ t ha}^{-1}$  con un ligero descenso y bovino  $60 \text{ t ha}^{-1}$  con una disminución del 19% ( $10.33$  y  $8.33 \text{ mmol L}^{-1}_{(-)} \text{ de H}_3$  respectivamente), aun así estos no representaron impedimento para la presencia de hierro en las mezclas, el cual

obtuvo rangos adecuados ( $> 4.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) del micronutriente en cada uno de los tratamientos como lo indica la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). Estos resultados se relacionan con las investigaciones realizadas por Mohamadi et al. (2024), quien además agrega que los bicarbonatos determinan la cantidad de hierro que los árboles de almendro puedan absorber vía raíz y también puede ocasionar deficiencias de este metal en brotes vegetativos de uvas (Shahsavanti et al., 2020) y kiwi (Wang et al., 2020). En este estudio, se pudo determinar que los bicarbonatos no tuvieron influencia negativa en la absorción del metal, mostrando rangos elevados de este en los análisis foliares. Sin embargo, la acumulación más alta de bicarbonato en esta investigación, que correspondió al tratamiento de vermicomposta caprina 180  $\text{t ha}^{-1}$ , afectó negativamente el desempeño fotosintético, pues en este mismo tratamiento se registró el nivel más bajo en tasa fotosintética (Mohamadi et al., 2024).



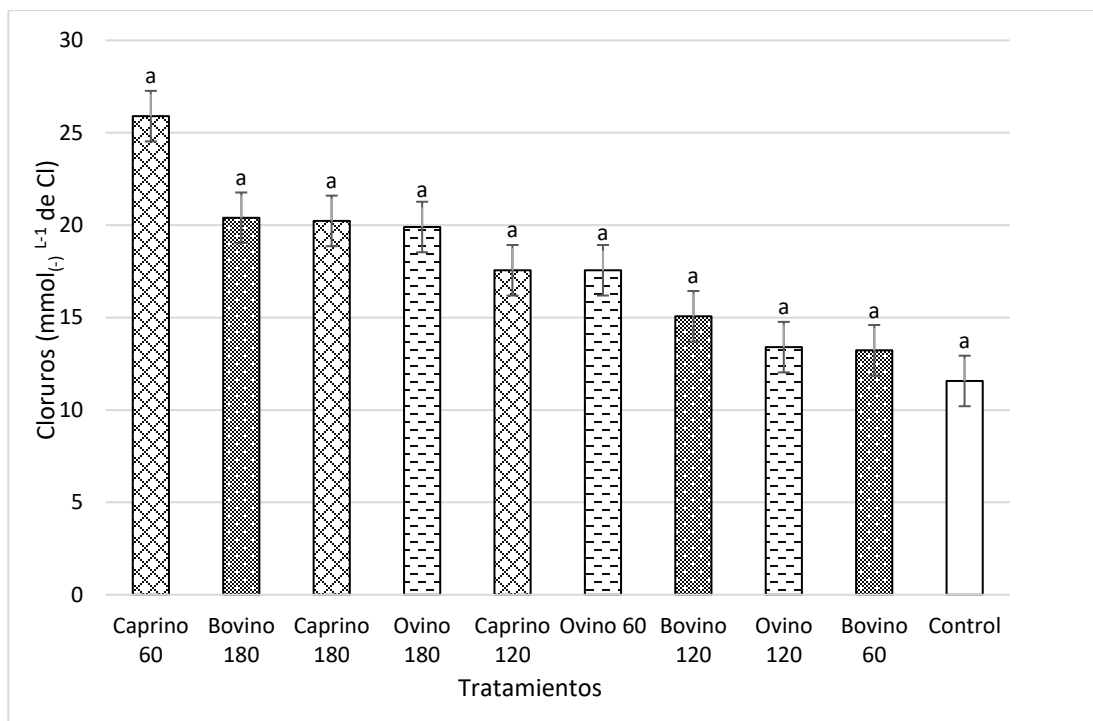
**Figura 20.** Bicarbonatos en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $\text{t ha}^{-1}$ ). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales



son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### **4.4.2 Cloruros**

Los cloruros en el suelo pueden estar determinados por características edafológicas y climáticas, por ejemplo, los suelos arcillosos pueden retener cantidades mayores de cloruros y en zonas áridas el contenido de estos puede elevarse por la carencia de precipitación y una mayor tasa de evapotranspiración (Niu y Sun, 2019). En este estudio el contenido inicial de cloruro ya era alto, y aunque se mantuvo mostró una tendencia a la alza (Figura 21). Los resultados muestran que la aplicación de vermicomposta al suelo puede elevar la cantidad de sales incluido el anión cloruro y aunque el aumento no es significativo, pudiera afectar la absorción de nutrientes esenciales para la planta (Jiménez-Piedra, 2023; Juleel et al., 2023), compitiendo con nitratos. Sin embargo, en dosis adecuadas, puede mejorar la eficiencia de nitrógeno (Rosales et al., 2020), en este caso, no se encontró una relación entre estas variables. También se indica que concentraciones adecuadas de cloruro ayudan a regular el pH (Colmenero-Flores, 2019), en esto último se observó un ligero descenso de la condición inicial de 7.88 a la final de 7.45 en pH (Figura 22).

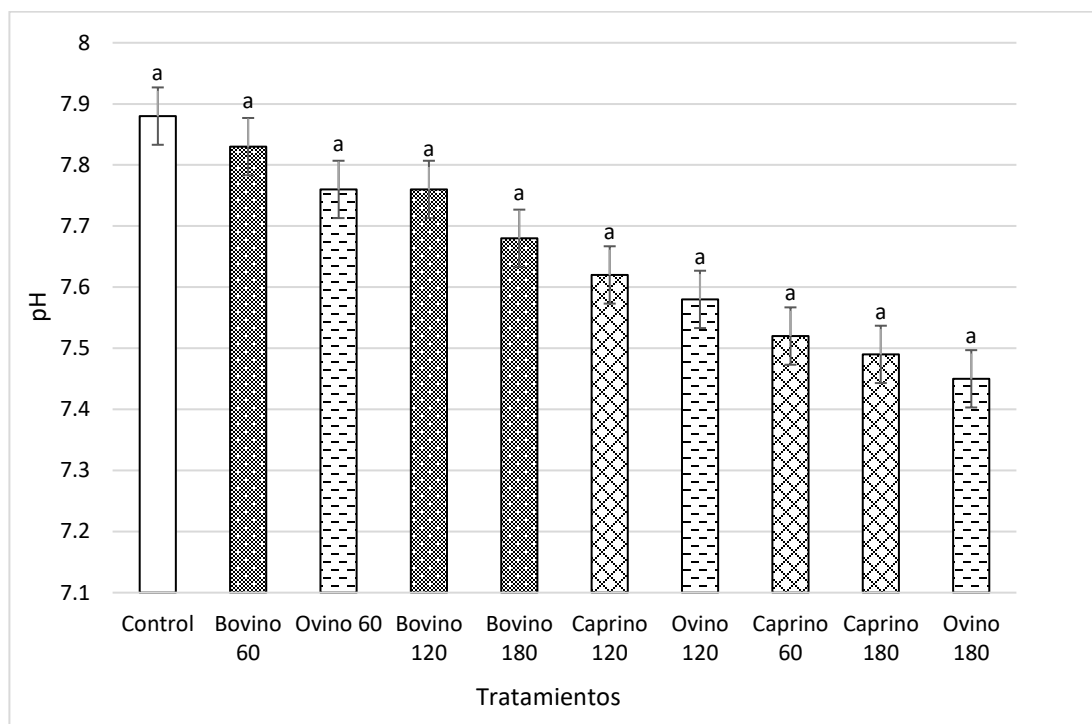


**Figura 21.** Cloruros en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.3 pH

En pH no se registró diferencia significativa del valor inicial (7.88), sin embargo se registró un ligero descenso en los diferentes tratamientos, cuyo valor más bajo fue de 7.45. Los resultados muestran una tendencia descendente en el pH ante aplicaciones de vermicomposta (Figura 22). Aunque los resultados en este estudio muestren un ligero descenso, el rango se mantuvo dentro de suelos medianamente alcalino (SEMARNAT, 2000). Colmenero-Flores (2019) y Kumar-Patra et al. (2022), obtuvieron resultados similares con vermicomposta, demostrando una mejora en comparación con compostaje normal. Danish-Toor et al. (2024), también registró similitudes en el uso de vermicomposta corrigiendo el pH de suelos agrícolas. Esta disminución en pH puede asociarse a las lombrices y aunque en esta investigación no se estudiaron los ácidos orgánicos

producidos por los anélidos, (Balachandar et al. (2021), Chekwube-Enebe & Erasmus (2023) y Yadav & Garg (2011) señalan que, contribuyen en el mejoramiento y control del pH en el suelo.



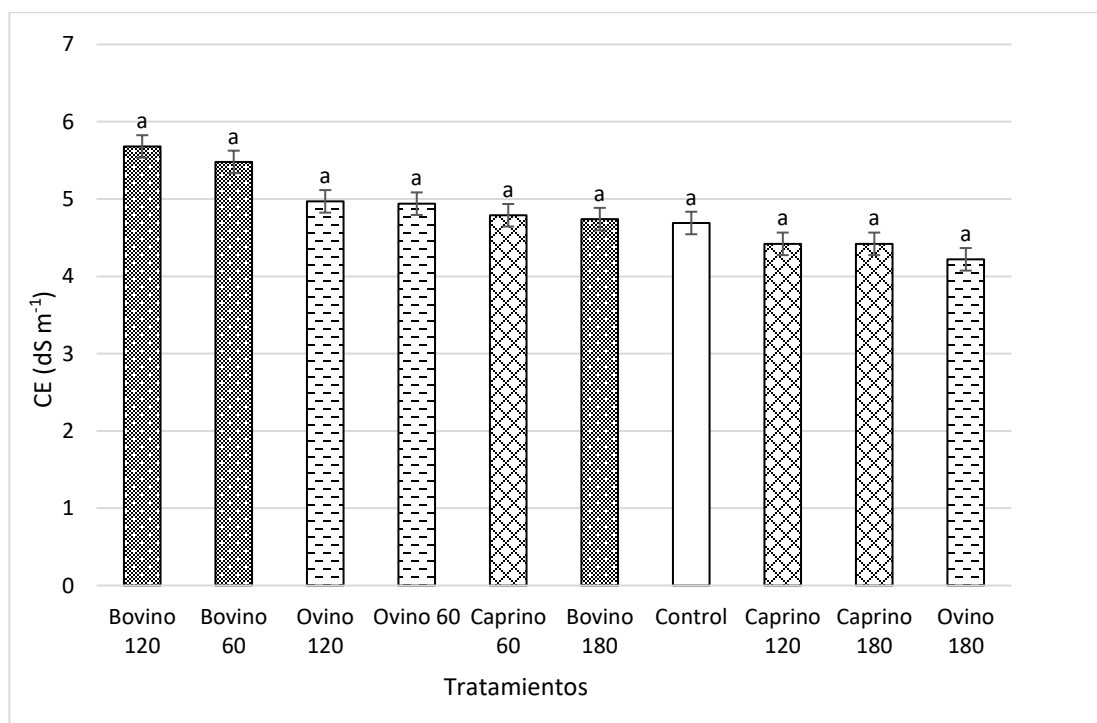
**Figura 22.** pH en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.4 Conductividad eléctrica

En conductividad eléctrica no se registró diferencia significativa, el valor inicial de 4.69 dS m<sup>-1</sup> mostró variación entre los tratamientos, respecto al control. El valor más alto fue de 5.68 dS m<sup>-1</sup> en el suelo con el tratamiento de vermicomposta bovina 120 t ha<sup>-1</sup> y el más bajo de 4.22 dS m<sup>-1</sup> en vermicomposta de ovino 180 t ha<sup>-1</sup>, sin embargo se mantuvo dentro del rango de suelos salinos (SEMARNAT, 2000) (Figura 23). La variación en los resultados indica que, en un 60% de los tratamientos se registró un ligero incremento de CE. Hallazgos similares reportan Preethee et al. (2022) donde la CE no presentó variaciones significativas en el

proceso de vermicompostaje. Por su parte, Lei et al. (2024), registraron aumentos significativos en la CE en vermicomposta de lodos residuales activados; esto indica, que el material original empleado para el proceso de vermicompostaje influye en los parámetros medidos, causando un incremento en el suelo cuando recibe aplicaciones de vermicomposta. Es así como, valores medidos en suelo fertilizado con vermicomposta pueden variar de acuerdo con cada una de las fuentes.

A pesar del aumento de CE en algunos tratamientos, también hubo descenso de esta variable, que los colocó dentro de un intervalo de tolerancia adecuado para que la higuera pudiera desarrollarse satisfactoriamente. Esta aseveración se basa en los resultados encontrados por Garza-Alonso et al. (2022).



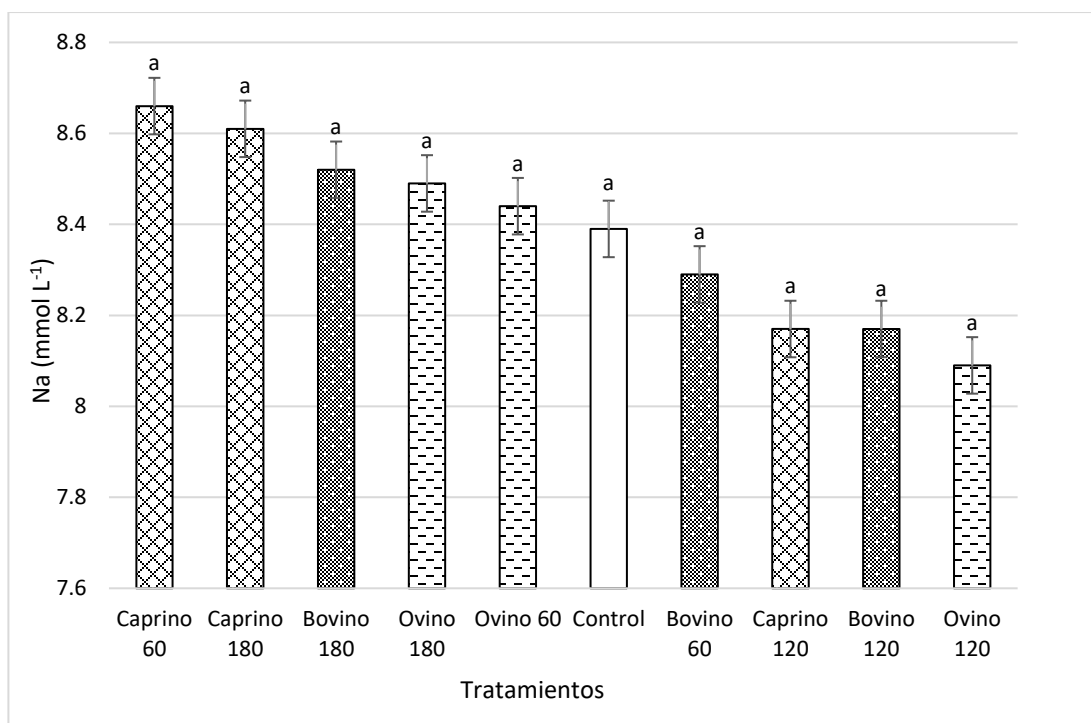
**Figura 23.** Conductividad eléctrica en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras

iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.5 Sodio

El contenido de sodio no mostró diferencias significativas entre tratamientos con respecto al control, mostrando este un valor inicial de  $8.39 \text{ mmol L}^{-1}$ , sin embargo cinco tratamientos tuvieron un ligero incremento, el más alto de ellos con un 3.22%, en contraparte, en cuatro tratamientos se tuvo una disminución en el contenido de sodio de un -3.58%, es decir, los rangos de sodio se mantuvieron entre  $8.09\text{-}8.66 \text{ mmol L}^{-1}$  (Figura 24). Aunque en este estudio los valores de sodio no tuvieron un cambio significativo, sí presentaron modificaciones leves, indicando una definición poco clara sobre el efecto positivo producto de su incorporación. Los resultados encontrados en este estudio no concuerdan con los obtenidos por H-Alamer et al. (2022), quienes encontraron que, al agregar vermicomposta a un suelo salino, disminuía la acumulación de sodio en él, permitiendo una mejora en fotosíntesis. Otro factor que disminuye Na en el sustrato es el riego por lixiviación, según lo documentan (Li et al., 2023b), pero también el mismo, puede aumentar este elemento cuando el agua contiene cantidades importantes de sales como lo indican M.A.-Ahmed y A.-Khalid (2023).

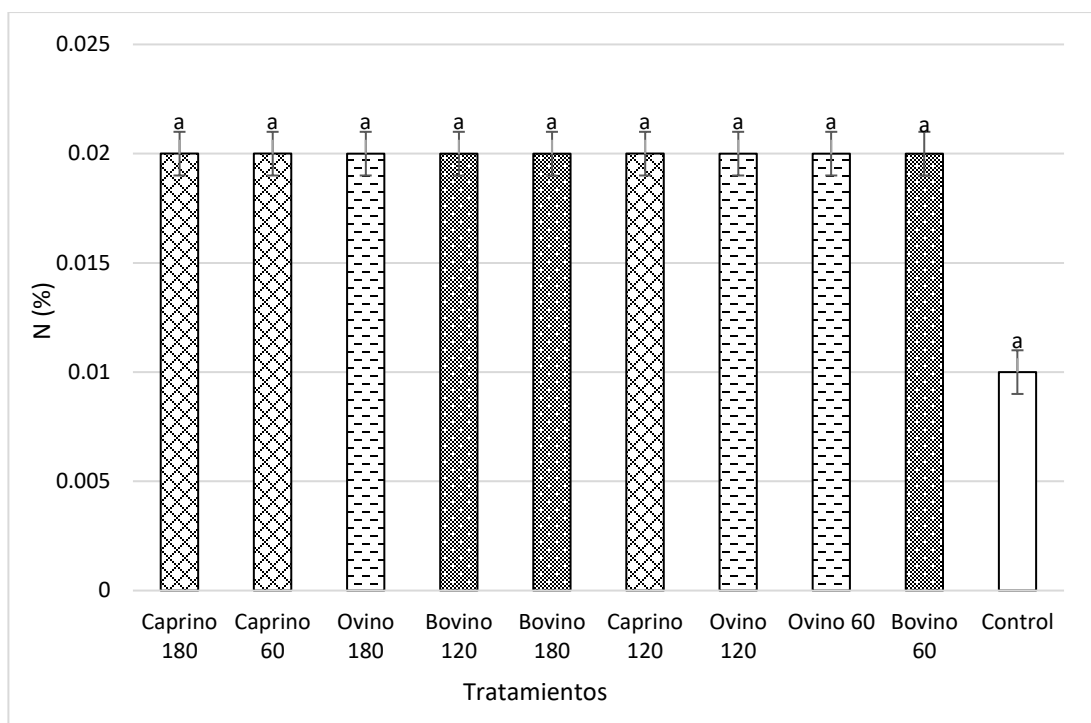
El sodio es un elemento que disminuye la disposición de agua para las plantas, afectando la absorción de nutrientes y provocando un desequilibrio en la planta, reflejándose en una baja tasa fotosintética (Farhangi-Abriz et al., 2020; Ghassemi-Golezani y Abdoli, 2022). En este caso, los dos tratamientos con mayor cantidad de Na, vermicomposta de caprino 1:6 y 1:2.6 ( $60$  y  $180 \text{ t ha}^{-1}$ ) mostraron en planta el nivel más bajo de fotosíntesis (Figura 6), coincidiendo con lo indicado por los autores antes mencionados, particularmente en fotosíntesis.



**Figura 24.** Sodio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.6 Nitrógeno

El nivel de nitrógeno inicial indicó un valor muy bajo de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 ( $<0.05\%$ ) (SEMARNAT, 2000). No obstante, se observó un ligero aumento en los mismos respecto al control (Figura 25). Aunque en otros estudios los resultados han mostrado aumentos significativos (Kumar-Patra et al., 2022; Kumar-Srivastava et al., 2024; Preethi et al., 2022), el material inicial utilizado para el vermicompostaje es factor central en el resultado final. El leve aumento de nitrógeno posiblemente fue debido a la pérdida de este en forma de óxido nitroso ( $N_2O$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ) durante el vermicompostaje, es por ello por lo que en otros estudios y donde se tienen fuentes importantes de biocarbón en el medio, se ha buscado la manera de reducir la pérdida de este elemento nutritivo (Gong et al., 2023).

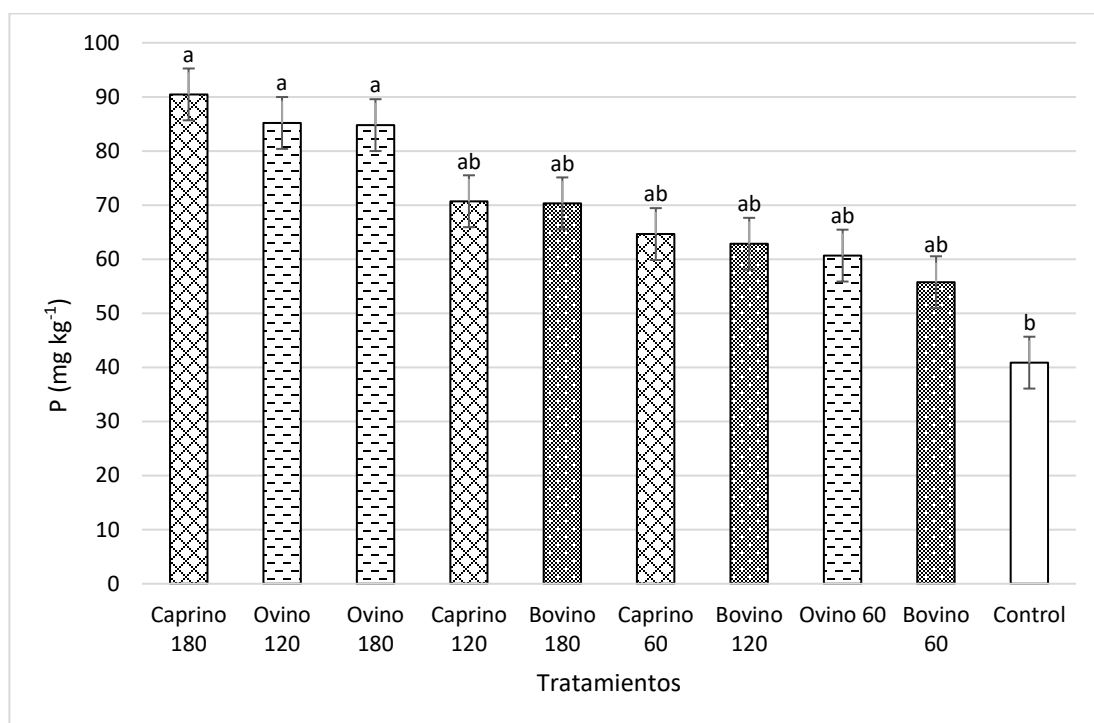


**Figura 25.** Nitrógeno en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.7 Fósforo

Aunque para regiones áridas generalmente el fósforo se encuentra en bajos niveles (Ding et al., 2020) en este estudio el suelo mostró niveles óptimos (40.87 mg kg<sup>-1</sup>) según la NOM-021-RECNAT-2000 (>11 mg kg<sup>-1</sup>) (SEMARNAT, 2000). Sin embargo, al adicionar vermicomposta, el contenido de fósforo se elevó considerablemente respecto al control (Figura 26). El suelo con los tratamientos de aplicación de vermicomposta de caprino 180 t ha<sup>-1</sup>, ovino 120 y 180 t ha<sup>-1</sup> tuvieron el más alto contenido de fósforo, indicando un aumento de 121.34%, 108.42% y 107.44%, respectivamente. Incluso en esta investigación el tratamiento con menor aumento, vermicomposta de bovino 60 t ha<sup>-1</sup>, mostró una ganancia de 36.38% con respecto al control. Resultados similares han sido obtenidos en otros estudios (Ferraz-Ramos et al., 2022; Kumar-Patra et al., 2022;

Preethe et al., 2022; Wei-Tiong et al., 2024; Yuan et al., 2024), donde se destaca el papel funcional y nutrimental de la vermicomposta en el suelo.



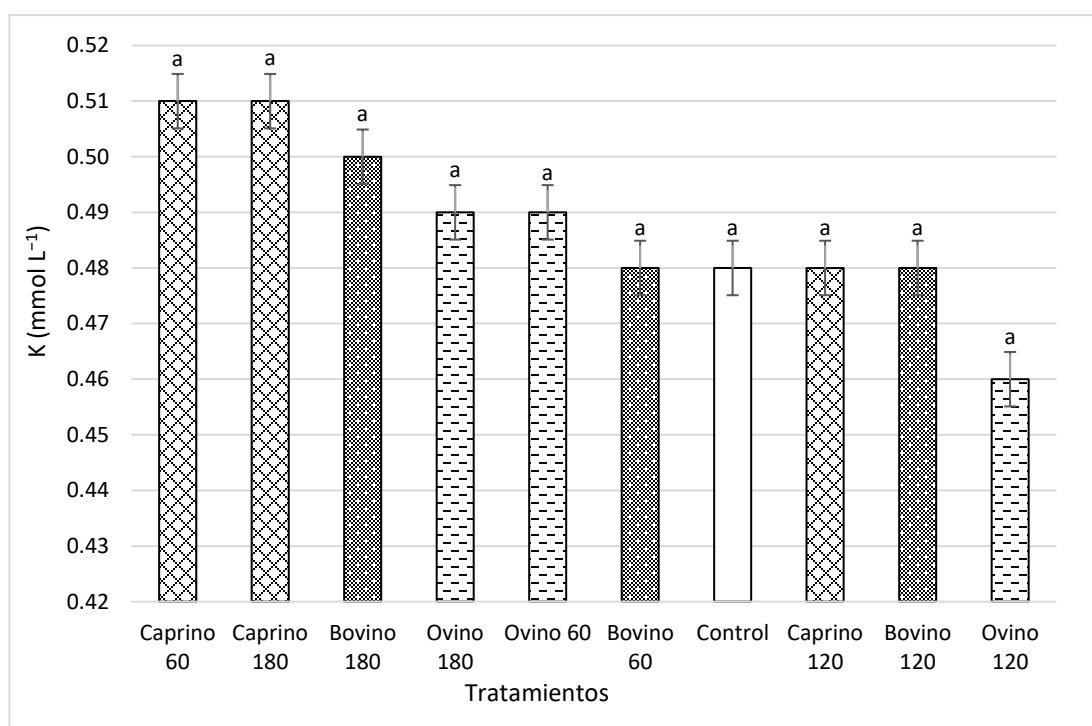
**Figura 26.** Fósforo en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.8 Potasio

Desde un inicio, el nivel de potasio en el suelo registró niveles medios de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). Sin embargo, estos niveles mostraron un aumento en seis de los tratamientos, respecto al control (Figura 27), siendo el más alto el tratamiento con vermicomposta caprina en un 6.25% y en tres de los tratamientos se registró un descenso, siendo el más bajo el tratamiento de vermicomposta ovino con un -4.20%, sin embargo no se registró diferencias significativas. No obstante, los niveles del elemento se mantuvieron dentro del intervalo de suficiencia adecuado. Estos resultados muestran que la aplicación de vermicomposta al suelo puede mejorar en la mayoría de los casos



el nivel de potasio; incluso, con diferencias significativas en las concentraciones del elemento (Adil-Ansari et al., 2024; Han et al., 2024; Kumar-Patra et al., 2022; Turab-Raza, et al., 2022). A pesar de esto, también podrían registrarse descensos como los obtenidos en este estudio, posiblemente debido al material inicial y al tipo de suelo, como lo señalan Han et al. (2024).

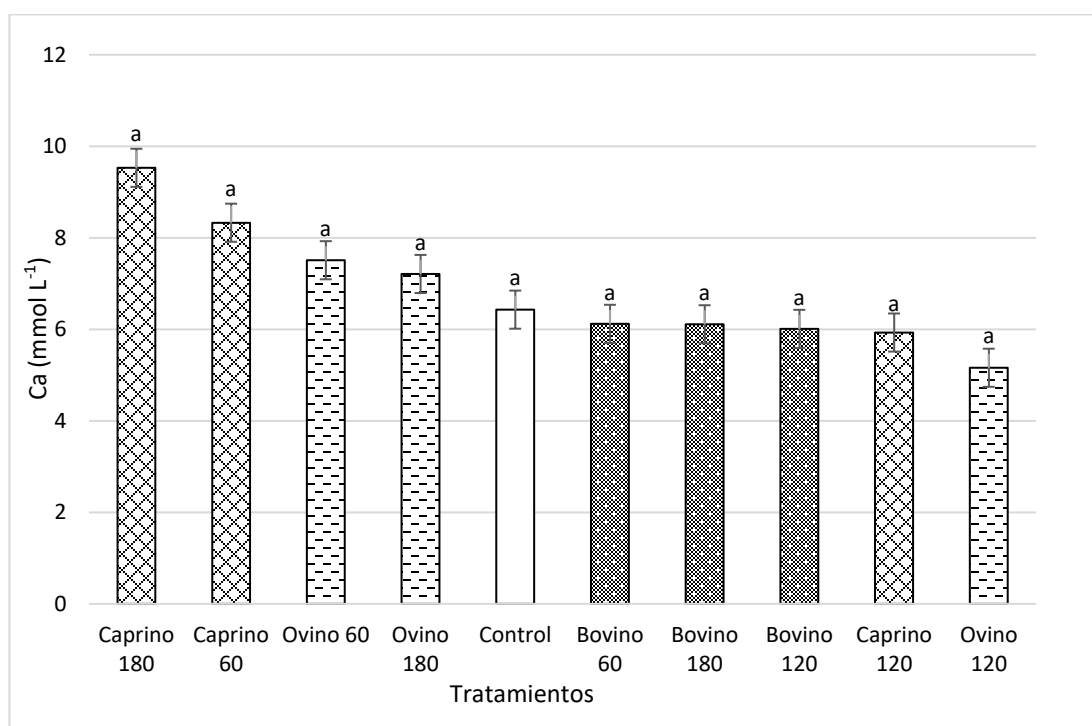


**Figura 27.** Potasio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.9 Calcio

En la figura 28 se muestra que el nivel de calcio fue similar entre los tratamientos y el control. Sin embargo, se encontró un comportamiento variable, es decir, mientras que en cuatro tratamientos se observó un incremento en donde el mayor de ellos registró un 48% de aumento con respecto al control, en el tratamiento de vermicomposta caprina 180 t ha<sup>-1</sup>, en cinco de los tratamientos se observó un decremento, siendo el menor el tratamiento de vermicomposta de ovino 120 t ha<sup>-1</sup>.

<sup>1</sup> con un -19.75%. Por un lado el incremento de Ca por la vermicomposta pudo deberse al proceso de la mineralización por enzimas hidrolíticas en el cual se aumenta el intercambio catiónico de Ca, como lo sugieren Balachandar et al. (2021), Ruandjanda et al. (2022) y Usmandi et al. (2019), aunque en el presente estudio no se realizó esta investigación. Por otro lado, el decremento de este nutriente pudo deberse al tipo de material utilizado para realizar el vermicompostaje, como lo indican Andil-Ansari et al. (2024), en el sentido de que los nutrientes aportados por la vermicomposta fueron lixiviados a través del riego y que insidió en el resultado final. En este sentido, la fuente de bovino para la generación de vermicomposta tenía condiciones diferentes (era composta tradicional y no estiércol puro) al material de ovino y caprino, esto pudo influir en un descenso en la concentración de calcio.

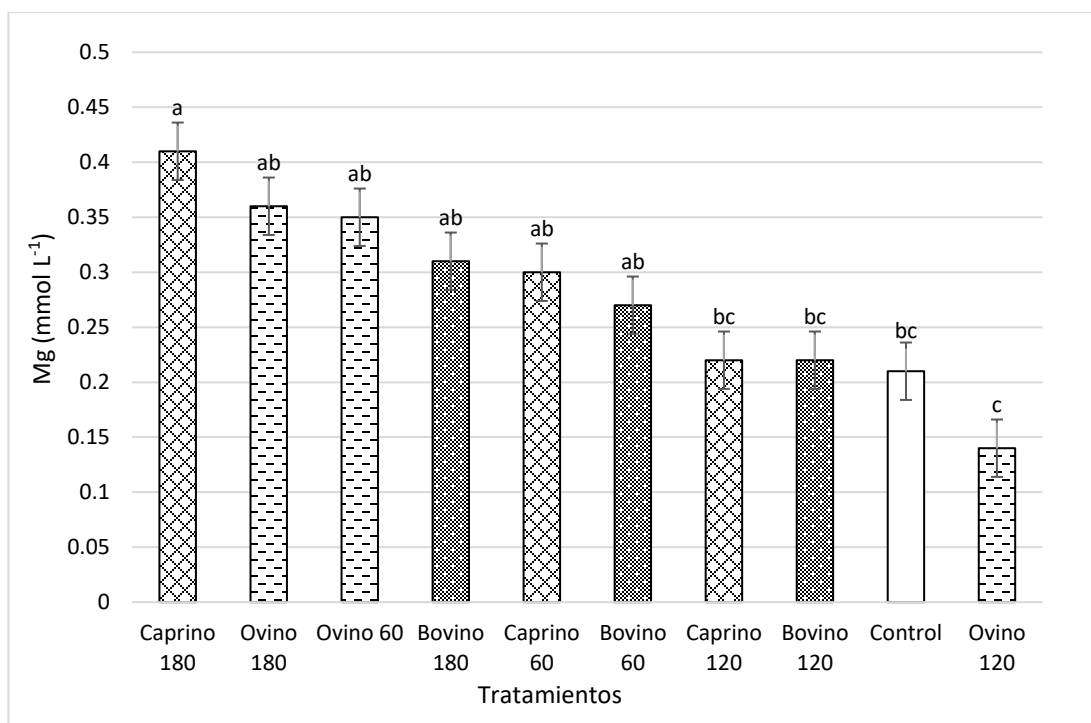


**Figura 28.** Calcio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales

son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### **4.4.10 Magnesio**

El contenido de magnesio inicial en el suelo incrementó en los tratamientos de vermicomposta respecto al control, excepto cuando se aplicó el equivalente a 120 t ha<sup>-1</sup> de vermicomposta bovina (Figura 29). El tratamiento de vermicomposta de caprino 180 t ha<sup>-1</sup> mostró un incremento significativo de 95.23% en el contenido de Mg en el suelo respecto al control. Así mismo, cuatro tratamientos correspondientes a vermicompostas de ovino 180 y 60 t ha<sup>-1</sup>, bovino 180 t ha<sup>-1</sup> y caprino 60 t ha<sup>-1</sup>, registraron 71.43, 66.66, 47.61 y 42.85% de aumento aunque no significativo. Al igual que estos, los tratamientos de vermicompostas de bovino 60 t ha<sup>-1</sup>, caprino y bovino 120 t ha<sup>-1</sup> para ambos, tuvieron un efecto en el aumento de este nutriente. No así la vermicomposta de ovino 120 ton ha<sup>-1</sup> el cual causó un decremento. La tendencia hacia el incremento de este nutrimento concuerda con diversos estudios en los cuales se ha observado que el aumento en el contenido de fósforo está relacionado directamente con aplicaciones de vermicomposta al suelo (Cai et al., 2022; Hernández-López et al., 2020; Ruangjanda et al., 2022; Velecela et al., 2019). En contraparte, sólo uno de los tratamientos mostró un descenso en el contenido de magnesio, esto puede atribuirse a la pérdida del elemento a causa de la lixiviación de nitratos por consecuencia del riego, esto no solamente sucede con magnesio, también puede ocurrir con calcio como lo reportó Zhou et al. (2024).

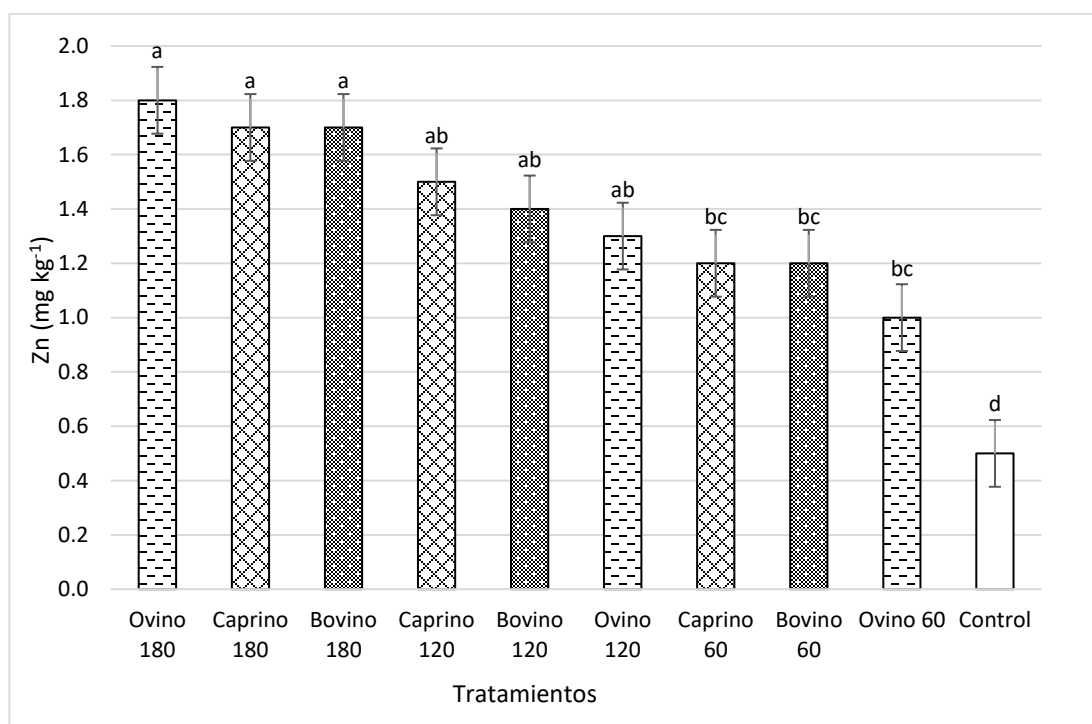


**Figura 29.** Magnesio en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.11 Zinc

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000), el valor inicial de zinc en el suelo fue deficiente. Al término del experimento y con la aplicación de vermicomposta, se obtuvo un incremento significativo ( $p > 0.05$ ) en todos los tratamientos en comparación con el control (Figura 30). El mayor de ellos con un 260% de aumento, correspondió al tratamiento de vermicomposta de ovino 180 t ha<sup>-1</sup>, seguido de las vermicompostas de caprino y bovino 180 t ha<sup>-1</sup> con un 240% de incremento para ambos. El contenido de zinc aumentó a medida que incrementó la dosis aplicada, mostrando los mejores resultados para dosis de 180 t ha<sup>-1</sup>, seguida de las dosis 120 t ha<sup>-1</sup> y 60 t ha<sup>-1</sup>, con un incremento de 100% observado en el tratamiento ovino 60 t ha<sup>-1</sup> con el menor efecto. Los resultados en este estudio coinciden con lo demostrado por Hernández-López et al. (2020)

quienes aumentaron la concentración de zinc al agregar vermicomposta de cabra. Gómez-Brandón et al. (2021) señalan que, el aumento de elementos nutritivos se debe a la reducción del material inicial durante el vermicompostaje. En este estudio, la reducción final de la materia orgánica utilizada fue del 66.66% coincidiendo con dicho señalamiento. Del mismo modo, Gusain y Suthar (2020) obtuvieron un incremento en zinc, atribuido a tasas de mineralización más alta debido al papel de las lombrices, cuya especie *Eisenia fétida*, coincide con la utilizada en este estudio.



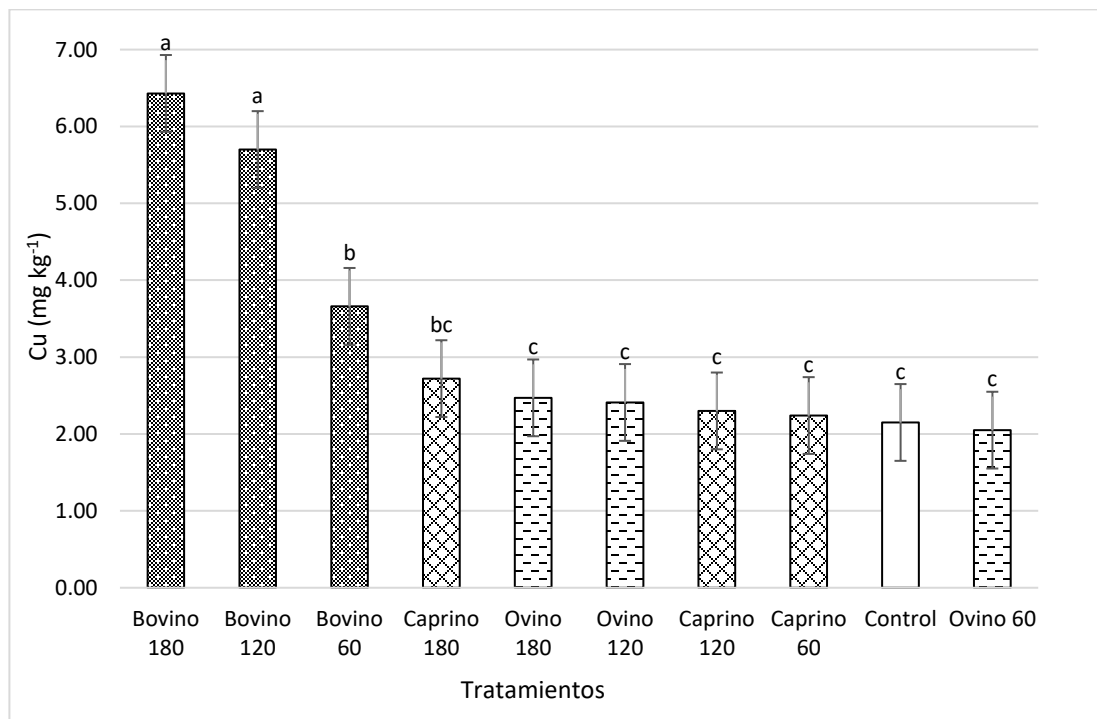
**Figura 30.** Zinc en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### 4.4.12 Cobre

En suelos áridos la disponibilidad de cobre es reducida (Corrochano-Monsalve et al., 2024), sin embargo, en este estudio se encontró que la condición inicial del suelo o control mostró un valor adecuado de este elemento (Figura 31) de

acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). Sin embargo, estos valores pueden variar de acuerdo con el ambiente en rangos de 1.5 a 63.1 mg kg<sup>-1</sup> según lo indican Corrochano-Monsalve et al. (2024). Los tratamientos de vermicompostas de bovino 180 y 120 t ha<sup>-1</sup> mostraron el mayor efecto significativo, con un aumento de 199% y 165% respectivamente, seguido del tratamiento de vermicomposta bovina 60 t ha<sup>-1</sup> con un 70.23% de aumento en el contenido de cobre. La tendencia hacia el incremento de cobre por la vermicomposta en comparación con el control, con excepción del tratamiento de vermicomposta de ovino 120 t ha<sup>-1</sup>, se alinean con lo indicado por Ferraz-Ramos et al. (2022), Gómez-Brandón et al. (2021) y Gusain y Suthar (2020), en el sentido de que el incremento del nutriente puede relacionarse con la degradación del material orgánico, la mineralización y finalmente a la reducción de la materia orgánica, lo que causa una concentración en algunos elementos que hacen posible una disposición más alta.

En este estudio, se encontró un efecto directo de la fuente y dosis sobre el contenido de Cu, observándose un mayor efecto a medida que se incrementó la dosis

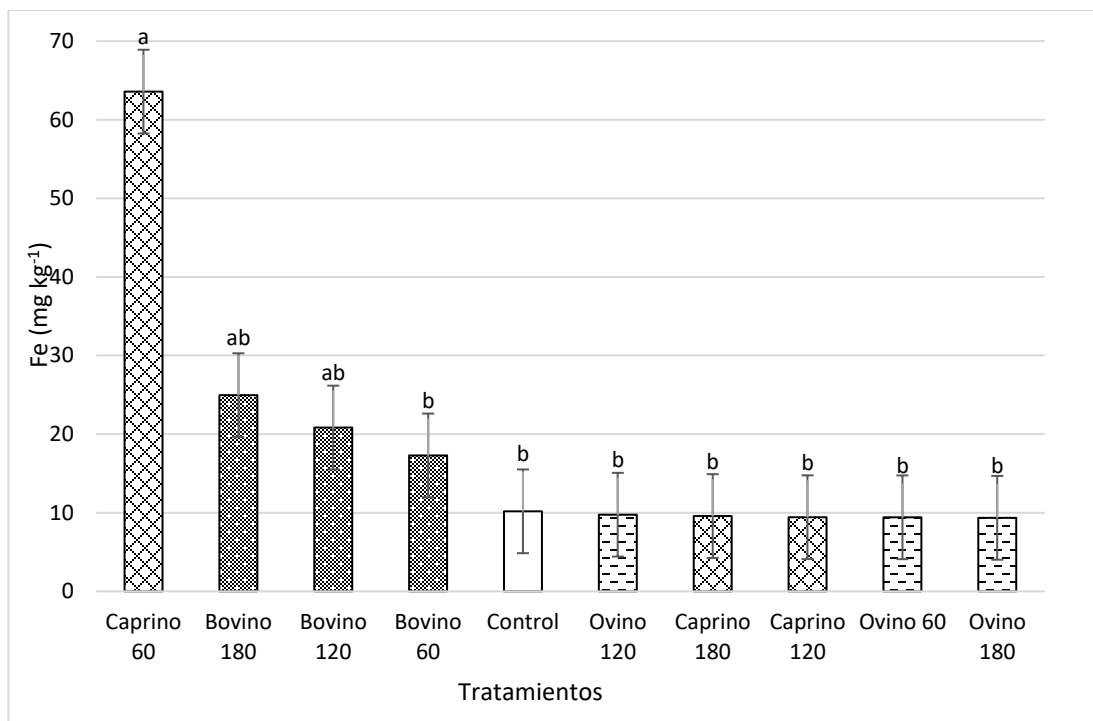


**Figura 31.** Cobre en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

#### **4.4.13 Hierro**

La figura 32 muestra que el contenido de hierro inicial en el control se encuentra en el nivel de suficiencia nutrimental adecuado, según la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). En cinco tratamientos el contenido del elemento fue estadísticamente similar al control. El mayor contenido de Fe, con un incremento significativo de 518.48%, se observó en el tratamiento de vermicomposta de caprino 60 t ha<sup>-1</sup>, seguido de la vermicomposta de bovino, cuya dosis mostró un efecto directo sobre el contenido de este elemento.

En este nutriente, se observó el mismo patrón de comportamiento que en las concentraciones de cobre y zinc, pues estos elementos incrementan su valor durante el proceso de vermicompostaje, debido a la reducción del material original del que fueron alimentándose las lombrices, al mismo tiempo estos anélidos se encargan de mineralizar los materiales, resultando en concentraciones más altas o manteniendo los rangos iniciales (Ferraz-Ramos et al, 2022; Gómez-Brandón et al., 2021; Gusain y Suthar 2020).



**Figura 32.** Hierro en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a t ha<sup>-1</sup>). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

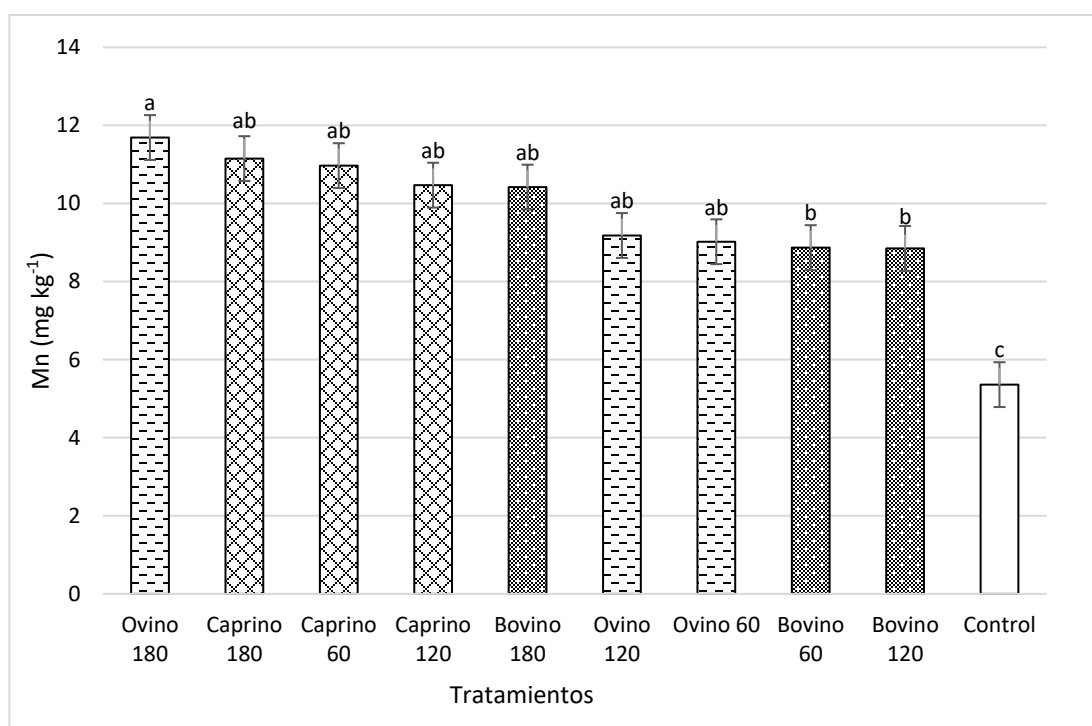
#### 4.4.14 Manganeso

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000) los niveles de manganeso en el control fueron adecuados, aun así, los resultados al término del experimento mostraron un aumento significativo ( $p > 0.05$ ) en cada uno de los tratamientos (Figura 33). El mayor contenido de Mn se observó en el tratamiento de vermicomposta de ovino 180 t ha<sup>-1</sup> con un incremento de 118.10% con respecto al control, le siguieron los tratamientos de vermicompostas de caprino 180, 60 y 120 t ha<sup>-1</sup>, bovino 180 t ha<sup>-1</sup>, ovino 120 y 60 t ha<sup>-1</sup>, bovino 60 y 120 t ha<sup>-1</sup>, con un aumento de 108, 105, 95, 94, 71, 68, 66 y 65% respectivamente.

Estos resultados muestran la capacidad que tiene la vermicomposta para aumentar el contenido de manganeso, el cual es un elemento clave en los ciclos biogeoquímicos de degradación en la materia orgánica (Li et al., 2021c;



Possinger et al., 2022). El valor inicial de  $5.36 \text{ mg kg}^{-1}$  de manganeso considerado adecuado en el rango de suficiencia, pudo tener un rol importante en la degradación del material orgánico y coadyuvado en el incremento de micronutrientes, sin omitir la importancia del rol desempeñado por las lombrices (Chekwube-Enebe y Erasmus, 2023; Shi et al., 2023; Yuvaraj et al., 2020;).



**Figura 33.** Manganeso en suelo fertilizado con diferentes fuentes y niveles de vermicompostas. Relación vermicomposta–suelo de 0:1, 1:6, 1:3.5 y 1:2.6 (0 (control), 60, 120 y 180 corresponden a  $\text{t ha}^{-1}$ ). Medias con letra iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Medias entre columnas con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Líneas verticales indican el error estándar de la media ( $n = 3$  observaciones).

## 4.5 CONCLUSIONES

Las tres fuentes de vermicomposta tuvieron un efecto acidificante del suelo con tendencia hacia la reducción del pH. Incrementaron a la vez, el contenido de nitrógeno, fósforo, magnesio, zinc, cobre, hierro, manganeso y cloruros. Tuvieron un efecto variable en el contenido de potasio, calcio, conductividad eléctrica, bicarbonatos y sodio.

Se concluye que, al aplicar vermicomposta conduce hacia un beneficio al actuar como un biofertilizante y coadyuvar en estabilidad y vitalidad del suelo, creando condiciones propicias para el desarrollo de las plantas.

## 4.6 Literatura citada

- Adhikari, Tapan., Gowda, R. C., Wanjari, R. H., & Singh, Muneshwar. (2021). Impact of Continuous Fertilization on Heavy Metals Content in Soil and Food Grains under 25 Years of Long-Term Fertilizer Experiment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4), 389-405, DOI: 10.1080/00103624.2020.1854290
- Adil-Ansari, Abdullah., Naraine, Darshani., & Jaikishun, Sirpaul. (2024). Chapter 6 - Biochemical alterations of vermicompost produced from *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and cattle dung. (Eds), Huang, Kui., Ahmad-Bhat, Sartaj., Li, Fusheng., & Kumar, Vineet. In *Waste And The Environment: Underlying Burdens and Management Strategies*, Earthworm Technology in Organic Waste Management. Elsevier, (pp.115-134). <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16050-9.00019-0>.
- Airbus-INEGI. (2021). Universidad Autónoma Chapingo (URUZA). [Imagen satelital]. Google Earth. <https://earth.google.com/web/@25.89507026,-103.60277537,1112.01956681a,2085.25078856d,35y,0.00910072h,30.0093749t,359.99926728r/data=OgMKATA>
- Balachandar, Ramalingam., Biruntha, Muniyandi., Yuvaraj, Ananthanarayanan., Thangaraj, Ramasundaram., Subbaiya, Ramasamy., Govarthan, Muthusamy., Kumar, Ponnuchamy., & Karmegam, Natchimuthu. (2021). Earthworm intervened nutrient recovery and greener production of vermicompost from *Ipomoea staphylyna* – An invasive weed with emerging environmental challenges. *Chemosphere*, 263, 128080. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128080>.
- Bellitürk, Korkmaz., Fang, Lynn., & Görres, Josef H. (2023). Effect of post-production vermicompost and thermophilic compost blending on nutrient

availability. *Waste Management*, 155, 146-152.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.09.032>.

- Cai, Linlin., Gong, Xiaoqiang., Ding, Hao., Li, Suyan., Hao, Dan., Yu, Kefei., Ma, Qixue., Sun, Xiangyang., Atif-Muneer, Muhammad. (2022). Vermicomposting with food processing waste mixtures of soybean meal and sugarcane bagasse. *Environmental Technology & Innovation*, 28,102699. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102699>.
- Chekwube-Enebe, Matthew., & Erasmus, Mariana. (2023). Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*, 345(118585). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>.
- Colmenero-Flores, JM., Franco-Navarro, JD., Cubero-Font, P., Peinado-Torrubia, P., & Rosales, MA. (2019). Chloride as a Beneficial Macronutrient in Higher Plants: New Roles and Regulation. *Int J Mol Sci.*, 20(19):4686. DOI: 10.3390/ijms20194686
- Congilosi, Jena L., & Aga- Diana S. (2021). Review on the fate of antimicrobials, antimicrobial resistance genes, and other micropollutants in manure during enhanced anaerobic digestion and composting. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 123634. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123634>.
- Corrochano-Monsalve, Mario., Saiz, Hugo., & T.-Maestre, Fernando. (2024). Influence of soil copper and zinc levels on the abundance of methanotrophic, nitrifying, and N2O-reducing microorganisms in drylands worldwide. *Applied Soil Ecology*, 196, 105284. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105284>.
- Cotler, Helena., Corona, José Alfonso., & Galeana-Pizaña, J. Mauricio. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, 101 (e59976). <https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- Danish-Toor, Muhammad., Kizilkaya, Ridvan., Anwar, Aneela., Koleva, Lyubka., Eldesoky, Gaber E. (2024). Effects of vermicompost on soil microbiological properties in lettuce rhizosphere: An environmentally friendly approach for sustainable green future. *Environmental Research*, 243, 117737. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117737>.
- Devi, Chaichi., & Khwairakpam, Meena. (2023). Weed biomass: Bioconversion through composting followed by vermicomposting to optimize time required. *Bioresource Technology Reports*, 21, 101326. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101326>.
- Ding, Zheli., Ahmed, Kheir., Marwa, Mohamed., Osama, Ali., Aly, Abdelaal., Xin'e, Lin., Zhaoxi, Zhou., Bizun, Wang., Beibei, Liu., & Zhenli, He. (2020). The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. *Scientific Reports*, 10(1). DOI: 10.1038/s41598-020-59650-8.

- Ducasse, Vincent., Watteau, Françoise., Kowalewski, Isabelle., Ravelojaona, Herman., Capowiez, Yvan., & Peigné, Joséphine. (2023). The amending potential of vermicompost, compost and digestate from urban biowaste: Evaluation using biochemical, Rock-Eval® thermal analyses and transmission electronic microscopy. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101405. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101405>.
- Dume, Bayu., Hanc, Ales., Svehla, Pavel., Michal, Pavel., Demelash-Chane, Abraham., & Nigussie, Abebe. (2023). Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: Technological feasibility and end-product quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 263, 115255. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115255>.
- FAO & UNEP. (2021). Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4827en>
- FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- Farhangi-Abriz, S., Tavasolee, A., Ghassemi-Golezani, K., Torabian, S., Monirifar, H., & Rahmani, H. A. (2020). Growth-promoting bacteria and natural regulators mitigate salt toxicity and improve rapeseed plant performance. *Protoplasma*, 257(4), 1035–1047. <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01493-1>
- Ferraz-Ramos, Rodrigo., Almeida-Santana, Natielo., de Andrade, Nariane., SchefferRomagna, Izabelle., Tirloni, Bárbara., de Oliveira-Silveira, Andressa., Domínguez, Jorge., Seminoti-Jacques, & Rodrigo Josemar. (2022). Vermicomposting of cow manure: Effect of time on earthworm biomass and chemical, physical, and biological properties of vermicompost. *Bioresource Technology*, 345, 126572. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126572>.
- Flores-Sánchez, Brenda., Segura-Castruita, Miguel Ángel., Fortis-Hernández, Manuel., Martínez-Corral, Luime., Aldaco-Nuncio, Rogelio Armando., & Orozco-Vidal, Jorge Arnaldo. (2015). Solarized manure amendments in aggregate stability of cultivated Aridisols from Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(7), 1543-1555. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n7/v6n7a10.pdf>
- Garza-Alonso, CA., Carballo-Méndez, FJ., Rodríguez-Salinas, PA., Olivares-Sáenz, E. & Rodríguez-Ortiz, JC. (2022). Salinidad y silicio en el crecimiento vegetativo y la concentración de pigmentos en cuatro cultivares de higuera (*Ficus carica* L.). *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 118(1), 19-35. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.018>
- Ghassemi-Golezani, Kazem & Abdoli, Soheila. (2022). Physiological and Biochemical Responses of Medicinal Plants to Salt Stress. T. Aftab (Ed.), *Environmental Challenges and Medicinal Plants*. In book: Environmental

Challenges and Solutions (pp. 153-181). DOI: 10.1007/978-3-030-92050-0\_6

- Gómez-Brandón, María., Martínez-Cordeiro, Hugo., & Domínguez, Jorge. (2021). Changes in the nutrient dynamics and microbiological properties of grape marc in a continuous-feeding vermicomposting system. *Waste Management*, 135, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.004>
- Gong, Xiaoqiang., Zou, Lan., Wang, Li., Zhang, Bo., & Jiang, Junxian. (2023). Biochar improves compost humification, maturity and mitigates nitrogen loss during the vermicomposting of cattle manure-maize straw. *Journal of Environmental Management*, 325(B), 116432. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116432>.
- Gusain, Rita., & Suthar, Surindra. (2020). Vermicomposting of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) by employing *Eisenia fetida*: Changes in nutrient contents, microbial enzyme activities and earthworm biodynamics. *Bioresource Technology*, 311, 123585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123585>.
- H-Alamer, Khalid., Perveen, Shaista., Khaliq, Abdul., Zia-UI-Haq, Muhammad., Usman-Ibrahim, Muhammad., & Ijaz, Bader. (2022). Mitigation of Salinity Stress in Maize Seedlings by the Application of Vermicompost and Sorghum Water Extracts. *Plants*, 11(19), 2548. <https://doi.org/10.3390/plants11192548>
- Han, Tianfu., Liu, Kailou., Huang, Jing., Numan-Khan, Muhammad., Shen, Zhe., Li, Jiwen., & Zhang, Huimin. (2024). Temporal and spatial characteristics of paddy soil potassium in China and its response to organic amendments: A systematic analysis. *Soil and Tillage Research*, 235, 105894. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105894>.
- Hernández-López, M., Vidaña-Martínez, SA., Velásquez-Chávez, TE. (2020). Características químicas y microbiológicas de vermicomposta producida en el ITSL. *Revista Ciencia Ingeniería y Desarrollo Tec. Lerdo*, 1(6), 35-39. <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2020/CID008.pdf>
- INEGI. (2020). Cartas Climatológicas. Climatología. Estados Unidos Mexicanos. Nacional. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.
- Jiménez-Piedra, Manuela. (2023). Estrés salino. Alteraciones en el metabolismo de las plantas debido a estrés salino. De Riego Print & Social Media. mayo 4, 2023. <https://www.editorialderiego.com/2023/05/estres-salino/>
- Juleel, Rehmana., Ashraf, Kamran., Sultan, Khawar., Deng, Gang., Rehman, Muzammal., H. Siddiqui, Manzer., & Zaman, Qamar uz. (2023). Soil applied vermicompost improves morpho-physio-biochemical and quality attributes of lettuce under saline conditions. *South African Journal of Botany*, 161, 499-511. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.08.059>.

- Kumar-Patra, Ranjan., Behera, Denish., Kumar-Mohapatra, Kiran., Sethi, Debadatta., Mandal, Mitali., Kumar-Patra, Alok., & Ravindran, Balasubramani. (2022). Juxtaposing the quality of compost and vermicompost produced from organic wastes amended with cow dung. *Environmental Research*, 214(4), 114119. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114119>.
- Labbilta, Tariq., Ait-El-Mokhtar, Mohamed., Anli, Mohamed., Boutasknit, Abderrahim., Abouliatim, Younes., Khoulood, Mehdi., Meddich, Abdelilah., & Mesnaoui, Mohamed. (2023). Controlled-release fertilizers from phosphate glass-matrix: A new ecological approach to match nutrients release with plants demand. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 62(6), 571-587. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2022.12.004>.
- Lei, Xuyang., Cui, Guangyu., Sun, Hongxin., Hou, Suxia., Deng, Hongying., Li, Bo., Yang, Zhengzheng., Xu, Qiushi., Huo, Xueyu., & Cai, Jiaxuan. (2024). How do earthworms affect the pathway of sludge bio-stabilization via vermicomposting? *Science of The Total Environment*, 916, 170411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170411>.
- Li, H., Santos, F., Butler, K., & Herndon, E. (2021c). A Critical Review on the Multiple Roles of Manganese in Stabilizing and Destabilizing Soil Organic Matter. *Environmental science & technology*, 55(18), 12136–12152. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00299>
- Li, Na., Xi, Hui., Zhou, Yang., Yu, Man., Hu, Zhenhua., Chen, Xijing. (2023b). Drip fertigation with food waste biogas effluent in a humid area is possible but challenging due to increased soil soluble sodium. *Agricultural Water Management*, 290, 108600. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108600>.
- Li, Yanhui., Duan, Yuanwang., Wang, Shuzhong., Zhang, Fan., Li, Jianna., Dai, Zheng., Li, Zicheng., Zhang, Yishu., & Wang, Yulong. (2024a). Supercritical water oxidation for the treatment and utilization of organic wastes: Factor effects, reaction enhancement, and novel process. *Environmental Research*, 251(Part 1)118571. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118571>.
- M.A.-Ahmed., & A.-Khalid, Khalid. (2023). Glutathione to ameliorate growth criterions and chemical constituents of geranium irrigated with salt water. *Heliyon*, 9(7), e18262. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18262>.
- Mohamadi, Soosan., Karimi, Soheil., & Tavallali, Vahid. (2024). Differential responses of green-synthesized iron nano-complexes in mitigating bicarbonate stress in almond trees. *Heliyon*, 10(2024), e25322. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25322>
- Mu, Meirui., Yang, Fengxi., Han, Bingjun., Li, Qinfen., Ding, Yongzhen., & Zhang, Keqiang. (2023). Implications of vermicompost on antibiotic resistance in tropical agricultural soils – A study in Hainan Island, China. *Science of The Total Environment*, 891(164607). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164607>.

- Niu, G., Sun, Y., Masabni, JG. (2019). Impact of Low and Moderate Salinity Water on Plant Performance of Leafy Vegetables in a Recirculating NFT System. *Horticulturae*, 4(1), 6. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4010006>
- Ocaña-de Jesús, Rosa L., Gutiérrez-Ibáñez, Ana T., Sánchez-Pale, Jesús R., Mariezcurrena-Berasain, María D., Eslava-Campos, Carlos A., & Laguna-Cerda, Antonio. (2018). Persistencia, internalización y translocación de *Escherichia coli* O157:H7, O157:H16 y O105ab en plantas y frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Argentina de Microbiología*, 50(4), 408-416. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.12.001>.
- Poornima, S., Dadi, M., Subash, S., Manikandan, S., Karthik, V., Deena, S.R., Balachandar, R., Kumaran, S.K.N., & Subbaiya, R. (2024). Review on advances in toxic pollutants remediation by solid waste composting and vermicomposting. *Scientific African*, 23, e02100. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02100>.
- Possinger, A.R., Heckman, K.A., Bowman, M.M., Gallo, A.C., Hatten, J.A., Matosziuk, L., Nave, L.E., San Clements, M.D., Swanston, C.W., Weiglein, T.L., & Strahm, B.D. (2022). Lignin and fungal abundance modify manganese effects on soil organic carbon persistence at the continental scale. *Geoderma*, 425, 116070. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116070>.
- Preethee, Saravanan., Saminathan, Kulandaivel., Chandran, Masi., Kathireswari, & Palanisamy. (2022). Valorization of phyto-biomass with tertiary combination of animal dung for enriched vermicompost production. *Environmental Research*, 215(3), 114365. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114365>.
- Rosales, Miguel A., Franco-Navarro, D., Moreno-Racero, Francisco J., & Flores, José M. (2020). Beneficios de una fertilización rica en cloruro para la agricultura y sus efectos en la salud humana. Comercial Química Masso, S. A. (Ed.). *Horticultura*, (pp. 42-47). Interpresa Media. [https://www.researchgate.net/publication/344364648\\_Beneficios\\_de\\_una\\_fertilizacion\\_rica\\_en\\_cloruro\\_para\\_la\\_agricultura\\_y\\_sus\\_efectos\\_en\\_la\\_salud\\_humana\\_Benefits\\_of\\_a\\_fertilization\\_rich\\_in\\_chloride\\_for\\_agriculture\\_and\\_its\\_effects\\_on\\_human\\_health](https://www.researchgate.net/publication/344364648_Beneficios_de_una_fertilizacion_rica_en_cloruro_para_la_agricultura_y_sus_efectos_en_la_salud_humana_Benefits_of_a_fertilization_rich_in_chloride_for_agriculture_and_its_effects_on_human_health)
- Ruangjanda, Supawadee., Boonthai-Iwai, Chuleemas., Greff, Babett., Woong-Chang, Soon., & Ravindran, Balasubramani. (2022). Valorization of spent mushroom substrate in combination with agro-residues to improve the nutrient and phytohormone contents of vermicompost. *Environmental Research*, 214(Part 1)113771. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113771>.
- SEMARNAT. (2000). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. (Segunda Edición). (NOM-021-REC NAT-2000). DOF. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>

- Shahsavandi, Fatemeh., Eshghi, Saeid., Gharaghani, Ali., Ghasemi-Fasaei, Reza., & Jafarinia, Mojtaba. (2020). Effects of bicarbonate induced iron chlorosis on photosynthesis apparatus in grapevine. *Scientia Horticulturae*, 270 (109427). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109427>.
- Shi, Linlin., Zhang, Ping., Xu, Jun., Wu, Xiaohu., Pan, Xinglu., He, Lin., Dong, Fengshou., & Zheng, Yongquan. (2023). Systematic assessment of cyflumetofen toxicity in soil-earthworm (*Eisenia fetida*) microcosms. *Journal of Hazardous Materials*, 452(131300). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131300>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023a). Panorama Agroalimentario 2023. pp 220. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>
- SIAP. (2023b). Expectativas Agroalimentarias 2023. Fertilizantes. Análisis de Estructura. Consumo Nacional. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2023/Expectativas-2023](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2023/Expectativas-2023)
- Turab-Raza,V., Zhu, Yingmo., Wu, Jianping., R.-Rene, Eldon., Ali, Zulfiqar., Feyissa, Adugna., Khan, Shamshad., Anjum, Raheel., Ahmed-Bazai, Nazir., & Chen, Zhe. (2022). Different ratios of Canna indica and maize–vermicompost as biofertilizers to improve soil fertility and plant growth: A case study from southwest China. *Environmental Research*, 215(2)114374. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114374>.
- Usmani, Z., Kumar, V., Rani, R., Gupta, P., & Chandra, A. (2019). Changes in physico-chemical, microbiological and biochemical parameters during composting and vermicomposting of coal fly ash: a comparative study. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 16 (8), 4647-4664. DOI: 10.1007/s13762-018-1893-6
- Velecela, Silvia., Meza, Victor., García, Sady., Alegre, Julio., & Salas, Carlos. (2019). Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Raphanus sativus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 229-239. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.08>
- Wang, Nannan., Dong, Xiaoke., Chen, Yuanlei., Ma, Baiquan, Yao, Chunchao., Ma, Fengwang., & Liu, Zhande. (2020). Direct and Bicarbonate-Induced Iron Deficiency Differently Affect Iron Translocation in Kiwifruit Roots. *Plants*, 9(11), 1578. <https://doi.org/10.3390/plants9111578>
- Wei-Tiong, Yong., Sharma, Pooja., Xu, Shuai., Bu, Jie., An, Soobin., Luo-Foo, Jordan Bao., Kangjie-Wee, Bryan., Wang, Yueyang., Tian En-Lee, Jonathan., Zhang, Jingxin., He, Yiliang., & Wah-Tong, Yen. (2024). Enhancing sustainable crop cultivation: The impact of renewable soil amendments and digestate fertilizer on crop growth and nutrient composition. *Environmental Pollution*, 342,123132. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123132>.



- Wojciech-Przemieniecki, S., Skwiercz, A., Damszel, M., Telesiński, A., Zapałowska, A., Sierota, Z., & Gorczyca, A. (2021). Ecology, biology and enzymatic activity of the rhizosphere planted with *Larix decidua* seedlings after addition of vermicompost. *Applied Soil Ecology*, 168(104101). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104101>
- Yadav, Anoop., & Garg, V.K. (2011). Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology*, 102(3), 2874-2880. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.083>.
- Yu, Xiaolan., Li, Xiaoliang., Ren, Changqi., Wang, Jinchuang., Wang, Chaobi., Zou, Yukun., Wang, Xiongfei., Li, Guangyi., & Li, Qinfen. (2022). Co-composting with cow dung and subsequent vermicomposting improve compost quality of spent mushroom. *Bioresource Technology*, 358(127386). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127386>.
- Yuan, Hao., Zhang, Yu., Chen, Zexu., Cai, Siying., Zhang, Ziwei., Yang, Peng., Peng, Siwei., Yu, Junxia., Wang, Dongsheng., Zhang, Weijun. (2024). Molecular transformation pathway and bioavailability of organic phosphorus in sewage sludge under vermicomposting. *Science of The Total Environment*, 906, 167796. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167796>.
- Yuvaraj, Ananthanarayanan., Karmegam, Natchimuthu., Tripathi, Sudipta., Kannan, Soundarapandian., & Thangaraj, Ramasundaram. (2020). Environment-friendly management of textile mill wastewater sludge using epigeic earthworms: Bioaccumulation of heavy metals and metallothionein production. *Journal of Environmental Management*, 254(109813). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109813>.
- Zabaloy, María Celina. (2021). Una sola salud: la salud del suelo y su vínculo con la salud humana. *Revista Argentina de Microbiología*, 53(4), 275-276. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.11.001>
- Zhang, Yu., Cheng, Dengmiao., Xie, Jun., Zhang, Yuting., Wan, Yu., Zhang, Yueqiang., & Shi, Xiaojun. (2022). Impacts of farmland application of antibiotic-contaminated manures on the occurrence of antibiotic residues and antibiotic resistance genes in soil: A meta-analysis study. *Chemosphere*, 300, 134529. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134529>.
- Zhou, Weiwei., Wang, Qunyan., Chen, Shuo., Chen, Fei., Lv, Haofeng., Li, Junliang., Chen, Qing., Zhou, Jianbin., & Liang, Bin. (2024). Nitrate leaching is the main driving factor of soil calcium and magnesium leaching loss in intensive plastic-shed vegetable production systems. *Agricultural Water Management*, 293, 108708. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108708>.
- Zhu, Baijing., Whalen, Joann K., Wu, Jiting., Yang, Jiani., Mao, Xinrui., Wan, Bingbing., Tian, Shanyi., Hu, Feng., Chen, Xiaoyun., & Liu, Manqiang. (2024). Soil food web structure coordinated by soil omnivores sustains soil

multifunctionality in moderate vermicompost amended fields. *Soil Biology and Biochemistry*, 192, 109391.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109391>.

## ANEXO

**Cuadro 5.** Concentraciones de nutrientes en tres tipos de estiércol.

| Nutrientes | Unidades            | Caprino | Bovino | Ovino |
|------------|---------------------|---------|--------|-------|
| pH         | -                   | 7.21    | 8.15   | 7.83  |
| CE         | mS cm <sup>-1</sup> | 2.94    | 13.52  | 2.80  |
| Nitrógeno  | %                   | 0.00    | 0.00   | 0.00  |
| Fósforo    | %                   | 0.14    | 0.10   | 0.13  |
| Potasio    | %                   | 0.012   | 0.013  | 0.009 |
| Calcio     | %                   | 0.012   | 0.013  | 0.009 |
| Magnesio   | %                   | 0.002   | 0.004  | 0.002 |
| Sodio      | %                   | 0.001   | 0.002  | 0.001 |
| Fierro     | mg kg <sup>-1</sup> | 4.17    | 8.58   | 2.82  |
| Cobre      | mg kg <sup>-1</sup> | 0.44    | 0.42   | 0.37  |
| Zinc       | mg kg <sup>-1</sup> | 0.27    | 0.11   | 0.09  |
| Manganeso  | mg kg <sup>-1</sup> | 0.55    | 0.73   | 0.49  |

**Cuadro 6.** Concentraciones de nutrientes en vermicomposta de tres fuentes.

| Nutrientes | Unidades            | V. Caprino | V. Bovino | V. Ovino |
|------------|---------------------|------------|-----------|----------|
| pH         | -                   | 8.09       | 6.26      | 8.36     |
| CE         | mS cm <sup>-1</sup> | 3.91       | 12.34     | 3.39     |
| Nitrógeno  | %                   | 2.27       | 2.94      | 2.09     |
| Fósforo    | %                   | 0.36       | 0.22      | 0.30     |
| Potasio    | %                   | 0.005      | 0.004     | 0.004    |
| Calcio     | %                   | 0.060      | 0.028     | 0.020    |
| Magnesio   | %                   | 0.0040     | 0.0029    | 0.0030   |
| Sodio      | %                   | 0.0051     | 0.0029    | 0.0013   |
| Fierro     | mg kg <sup>-1</sup> | 16.89      | 8.54      | 11.94    |
| Cobre      | mg kg <sup>-1</sup> | 0.28       | 0.87      | 0.25     |
| Zinc       | mg kg <sup>-1</sup> | 0.29       | 0.42      | 0.37     |
| Manganeso  | mg kg <sup>-1</sup> | 1.05       | 0.66      | 0.79     |