



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN DE LA *Eisenia foetida***  
**(lombriz roja) APLICANDO DIFERENTES SUSTRATOS**  
**ORGÁNICOS, EN CONDICIONES DE INVERNADERO Y**  
**ELEVADA ALTITUD A 3810 m s.n.m.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. NATALY IRENE MESTAS GUTIERREZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## DEDICATORIA

“La sabiduría que viene de lo alto, es, ante todo, pura y, además, pacífica, benévola y conciliadora; está llena de misericordia y dispuesta a hacer el bien; es imparcial y sincera” Santiago 3:17

### **Dedicado a:**

A Dios por darme la gracia de existir y permitirme poder mejorar como ser humano, encaminándome siempre en mejora y evolución espiritual, cumpliendo con ello mi objetivo primordial y razón de vida.

A mis padres Juan Asle Mestas Quispe y Flora Juana Gutierrez Mamani que han intervenido considerablemente en mi desarrollo como persona y futura profesional, enseñándome desde pequeña los valores y la importancia de la aplicación de ellos y a mis hermanos, Eliana y Guido por los momentos compartidos y el apoyo recibido.



## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero reconocimiento y gratitud,

A mi asesor: D.Sc. Jhon Saul Rojas Mamani por las sugerencias y las correcciones realizadas en la redacción, así como el aporte brindado en el levantamiento de las observaciones de mi proyecto de tesis.

Al Dr. Ángel Canales Gutiérrez por la motivación, el impulso, el apoyo y las orientaciones brindadas en todas las etapas del desarrollo de mi proyecto.

A mi presidente D.Sc. Gilmar Gamaliel Goyzueta Camacho y miembros de jurado M.Sc. Marisol Rojas Barreto y Mg. Jesus Miranda Mamani, por las observaciones y sugerencias brindadas en mi proyecto de tesis.

A mis docentes de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA- Puno por las enseñanzas impartidas para mi formación profesional y por los consejos brindados para mi desarrollo personal.

A la coordinadora de investigación, a la Lic. Yrma Ruelas Ortega, por el apoyo en el tema administrativo y la verificación del formato de mi proyecto de tesis

A mis compañeros de salón con quienes compartí aprendizajes, viajes y se solidificó una amistad Heydi, Marisol, Camila, Kevin, Lucero y Ever.

Y a mis amigos Cesar, Uri, Cristian, Noaldo y Ericson que me apoyaron en los monitoreos de mi proyecto.

**Nataly I. Mestas Gutierrez**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 12**

**ABSTRACT..... 13**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO GENERAL..... 17**

**1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 17**

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES..... 18**

**2.2. MARCO TEÓRICO ..... 21**

2.2.1. *Eisenia foetida* (Lombriz roja) ..... 21

2.2.1.1. Generalidades de *Eisenia foetida* ..... 21

2.2.1.2. Clasificación taxonómica de *Eisenia foetida* ..... 22

2.2.1.3. Características morfológicas de *Eisenia foetida* ..... 23

2.2.1.4. Ciclo biológico de *Eisenia foetida* ..... 25

2.2.1.5. Reproducción de la *Eisenia foetida*..... 26

2.2.1.6. Crianza de la *Eisenia foetida*..... 29

2.2.1.7. Aplicaciones y beneficios de la *Eisenia foetida*..... 31

2.2.2. Sustratos orgánicos..... 32

2.2.3. Influencia del sustrato en crecimiento y reproducción de la *Eisenia foetida*. 33



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2. AREA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>34</b>
3.2.1. Localización del proyecto .....	34
3.2.2. Parámetros físicos del lugar del proyecto.....	35
<b>3.3. INSTALACIÓN DE CELDAS DE EXPERIMENTACIÓN .....</b>	<b>36</b>
3.3.1. Proceso de precompostaje .....	36
3.3.2. Control de los parámetros fisicoquímicos de las celdas.....	36
<b>3.4. INOCULACIÓN DE LAS LOMBRICES ROJAS .....</b>	<b>37</b>
<b>3.5. ANALISIS DE LOS OBJETIVOS .....</b>	<b>38</b>
3.5.1. Contrastar el crecimiento (longitud) de la lombriz roja entre tres sustratos orgánicos y en relación al tiempo en condición de invernadero .....	38
3.5.1.1. Frecuencia y horario de muestreo .....	38
3.5.1.2. Descripción del uso de materiales, equipos e insumos .....	38
3.5.1.3. Variables analizadas.....	38
3.5.1.4. Aplicación de prueba estadística.....	38
3.5.2. Comparar la reproducción (número de individuos y cocones) de la lombriz roja entre tres sustratos orgánicos y en relación al tiempo en condición de invernadero.....	40
3.5.2.1. Descripción del uso de materiales, equipos e insumos .....	40
3.5.2.2. Frecuencia y horario de muestreo .....	40
3.5.2.3. Variables analizadas.....	41
3.5.2.4. Aplicación de prueba estadística.....	41

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LOS SUSTRATOS.....</b>	<b>42</b>
---	-----------



4.1.1. Parámetros físicos .....	42
4.1.2. Parámetros químicos.....	43
<b>4.2. CONTRASTAR EL CRECIMIENTO (LONGITUD) DE LA LOMBRIZ ROJA ENTRE TRES SUSTRATOS ORGÁNICOS (ALPACA, CUY Y LLAMA) Y EN RELACIÓN AL TIEMPO EN CONDICIÓN DE INVERNADERO .....</b>	<b>47</b>
4.2.1. Crecimiento de la lombriz roja.....	47
4.2.1.1. Contraste del crecimiento de las lombrices entre tratamientos .....	47
4.2.1.2. Relación del crecimiento de los tres tratamientos con el tiempo .....	50
<b>4.3. COMPARAR LA REPRODUCCIÓN (NÚMERO DE INDIVIDUOS Y COCONES) DE LA LOMBRIZ ROJA ENTRE TRES SUSTRATOS ORGÁNICOS (ALPACA, CUY Y LLAMA) Y EN RELACIÓN AL TIEMPO EN CONDICIÓN DE INVERNADERO .....</b>	<b>51</b>
4.3.1. Número de individuos de la lombriz roja.....	51
4.3.1.1. Grupo 1 (juveniles adultos).....	51
4.3.1.2. Grupo 2 (juveniles nuevos) .....	57
4.3.2. Número de cocones de la lombriz roja.....	61
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>

**Área:** Ciencias Biomédicas

**Línea:** Gestión Ambiental

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 11 de enero del 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología de la lombriz roja ( <i>Eisenia foetida</i> ).....	23
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida de la <i>Eisenia foetida</i> . .....	26
<b>Figura 3.</b> Reproduccion cruzada de la <i>Eisenia foetida</i> . .....	27
<b>Figura 4.</b> Cocones de la <i>Eisenia foetida</i> . Izquierda: Ilustración de la morfología de los cocones. Derecha: Fotografía de los cocones en sustrato.....	28
<b>Figura 5.</b> Individuo juvenil nuevo de la <i>Eisenia foetida</i> . Izquierda: Individuo recién eclosionado de un cocón. Derecha: El mismo individuo al lado del cocon que eclosionó.....	29
<b>Figura 6.</b> Ubicación del invernadero de la Sub Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano situada en la Ciudad de Puno a una elevada altitud de 3810 m s.n.m. ....	35
<b>Figura 7.</b> Proporciones de los macronutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio) presentes en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama antes de la inoculación de las lombrices rojas.....	45
<b>Figura 8.</b> Proporciones de los macronutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio) presentes en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama post experimentación de la investigación. ....	45
<b>Figura 9.</b> Medias de las longitudes de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo. Letras con una media común no son significativamente diferentes.....	48
<b>Figura 10.</b> Regresión polinomial de segundo grado de las longitudes (mm) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	50
<b>Figura 11.</b> Número de individuos de juveniles adultos (grupo 1) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo. ....	53



<b>Figura 12.</b> Regresión polinomial de segundo grado del número de individuos juveniles adultos (grupo 1) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiercoles de alpaca, cuy y llama en relación al tiempo en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	56
<b>Figura 13.</b> Número de individuos del grupo 2 de los individuos en los tratamientos con estiercoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo. ....	58
<b>Figura 14.</b> Regresión polinomial de segundo grado del número de individuos de juveniles nuevos (grupo 2) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiercoles de alpaca, cuy y llama en relación al tiempo en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	60
<b>Figura 15.</b> Número de cocones de las lombrices rojas en los tratamientos con estiercoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo.....	62
<b>Figura 16.</b> Regresión polinomial de segundo grado del número de cocones de las lombrices rojas en los tratamientos con estiercoles de alpaca, cuy y llama en relación al tiempo en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	65
<b>Figura 17.</b> Estiercoles de alpaca, cuy y llama aplicados como tratamientos en la investigación.....	78
<b>Figura 18.</b> Ilustración de las celdas e insumos utilizados en los tratamientos. a) rocas, b) tierra, c) aserrin, d) cascara de papa, e) cáscara de huevo y f) estiercol. Estos insumos fueron colocados en tres capas. ....	78
<b>Figura 19.</b> Ilustración de las mediciones realizadas de la longitud, número de individuos y cocones de la lombriz roja en la investigación.....	79
<b>Figura 20.</b> Individuos de las lombrices del grupo 1 (juveniles y adultos) y del grupo 2 (juveniles nuevos),.....	80



<b>Figura 21.</b> Fotografía midiendo la longitud (mm) de las lombrices rojas en el invernadero de la Sub Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano.....	80
<b>Figura 22.</b> Fotografías de individuos de la lombriz roja realizando la reproducción inversa.....	81
<b>Figura 23.</b> Fotografías de aparente partenogenesis realizadas por la lombriz roja .....	81
<b>Figura 24.</b> Certificado de análisis de los parámetros fisicoquímicos de los tratamientos pre experimentación. ....	88
<b>Figura 25.</b> Certificado de análisis de los parámetros fisicoquímicos de los tratamientos post de la experimentación. ....	89
<b>Figura 26.</b> Constancia de realización del proyecto en el invernadero de la Sub Unidad de Gestión Ambiental de la UNAP. ....	90



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Resumen estadístico de las longitudes (mm) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	48
<b>Tabla 2.</b>	Resumen estadístico del número de individuos juveniles adultos (grupo 1) de la lombriz roja en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.....	52
<b>Tabla 3.</b>	Resumen estadístico del número de individuos de juveniles nuevos (grupo 2) de la lombriz roja en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.....	57
<b>Tabla 4.</b>	Resumen estadístico del número de cocones de la lombriz roja en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	61
<b>Tabla 5.</b>	Base de datos de las longitudes (mm) de las lombrices rojas, en los tres tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	82
<b>Tabla 6.</b>	Base de datos del número de individuos y cocones de las lombrices rojas, en los tres tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. ....	87



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>mm</b>	: milímetros
<b>ind</b>	: individuos
<b>uds</b>	: unidades
<b>T°</b>	: temperatura
<b>HR</b>	: humedad relativa
<b>pH</b>	: Potencial de hidrogeniones
<b>CE</b>	: conductividad eléctrica
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	: fósforo total
<b>N</b>	: nitrógeno
<b>K<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	: potasio total
<b>MO</b>	: materia orgánica



## RESUMEN

Los residuos orgánicos y la desertificación de suelos suscitan problemas ambientales y productivos, una alternativa es transformar los residuos orgánicos en vermicompost con la aplicación de la *Eisenia foetida* (lombriz roja), siendo necesario el estudio de su crecimiento y reproducción. La investigación se realizó en el invernadero de la Sub unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano. Los objetivos fueron: a) contrastar el crecimiento (longitud) de la lombriz roja en tres sustratos orgánicos con relación al tiempo en condiciones de invernadero y b) comparar la reproducción (número de individuos y cocones) de la lombriz roja en tres sustratos orgánicos con relación al tiempo en condiciones de invernadero. Se consideró tres tratamientos con tres repeticiones, siendo T1=sustrato con estiércol de alpaca, T2=sustrato con estiércol de cuy y T3=sustrato con estiércol de llama. Se midió la longitud (mm) de las lombrices con un vernier digital y se hizo un conteo del número de individuos juveniles adultos (G1), juveniles nuevos (G2) y cocones a través de observación directa cada 15 días. Para las contrastaciones de longitudes se aplicó el Análisis de Varianza, en el número de individuos y cocones la prueba de Kruskal-Wallis y para las relaciones con el tiempo ( $R^2$ ) el análisis de regresión polinomial. Existió diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las longitudes de los T3 (47.78 mm) y T1 (46.61 mm) en relación al T2 (42.00 mm) con  $R^2$  de 0.02, 0.10 y 0.05 respectivamente, para el número de individuos del G1 existió diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los T1 (40.06 ind), T3 (34.11 ind) y T2 (25.56 ind), sus  $R^2$  fueron 0.43, 0.01 y 0.01. En el G2 no existió diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre T1 (48.33 ind), T3 (53.39 ind) y T2 (30.39 ind), sus  $R^2$  fueron 0.64, 0.58 y 0.71 y en el número de cocones no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre T3 (158.53 uds) y T1 (142.33 uds) y T2 (78.60 uds) siendo sus  $R^2$  0.75, 0.95 y 0.73. En conclusión, la lombriz roja presentó mayor crecimiento en el T3 y T1, pero sin  $R^2$  significativa; el número de individuos del G1 fue mayor en el T1, existiendo una  $R^2$  considerable solo en dicho tratamiento; el número de individuos del G2 fue mayor en el T3 y fue el T2 que tuvo un mayor  $R^2$  y el número de cocones fue mayor en el T3 y T1, este último tuvo mayor  $R^2$  que el resto; siendo por tanto, el tratamiento de alpaca el más recomendable para el crecimiento y reproducción de la lombriz roja.

**Palabras Clave:** crecimiento, *Eisenia foetida*, reproducción, sustratos, residuos orgánicos.



## ABSTRACT

Organic wastes and soil desertification cause environmental and productive problems, an alternative is to transform organic wastes into vermicompost with application of *Eisenia foetida* (red earthworm), being necessary to study its growth and reproduction. The research was carried out in the greenhouse of the Environmental Management Sub-unit of the Universidad Nacional del Altiplano. The objectives were: a) to contrast the growth (length) of the red earthworm among three organic substrates in relation to time under greenhouse conditions and b) to compare the reproduction (number of individuals and cocoons) of the red earthworm among three organic substrates in relation to time under greenhouse conditions. Three treatments with three replicates were considered, being T1=substrate with alpaca manure, T2=substrate with guinea pig manure and T3=substrate with llama manure. The length (mm) of the worms was measured with a digital vernier and the number of adult juveniles (G1), new juveniles (G2) and cocoons was counted through direct observation each 15 days. Analysis of variance was applied for length contrasts, Kruskal-Wallis test for the number of individuals and cocoons, and polynomial regression analysis for the relationships with time ( $R^2$ ). There were significant differences ( $p < 0.05$ ) among the lengths of T3 (47.78 mm) and T1 (46.61 mm) in relation to T2 (42.00 mm) with an  $R^2$  of 0.02, 0.10 and 0.05 respectively, for the number of red earthworm in G1 there were significant differences ( $p < 0.05$ ) among T1 (40.06), T3 (34.11) and T2 (25.56), their  $R^2$  were 0.43, 0.01 and 0.01. In G2 red earthworms number there were no significant differences ( $p > 0.05$ ) among T1 (48.33), T3 (53.39) and T2 (30.39), their  $R^2$  were 0.64, 0.58 and 0.71 and the number of cocoons there were no significant differences ( $p > 0.05$ ) among T3 (158.53) and T1 (142.33) and T2 (78.60) being their  $R^2$  0.75, 0.95 and 0.73. In conclusion, the red worm presented greater growth in T3 and T1, but without significant  $R^2$ ; the number of individuals of G1 was greater in T1, with a considerable  $R^2$  only in this treatment; the number of individuals of G2 was greater in T3 and it was T2 that had a greater  $R^2$  and the number of cocoons was greater in T3 and T1, the last one had a greater  $R^2$  than another; therefore, the alpaca treatment was the most recommendable for the growth and reproduction of the red earthworm.

**Keywords:** growth, *Eisenia foetida*, reproduction, substrates, organic waste, organic waste.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La producción de residuos sólidos orgánicos urbanos e industriales está muy extendida generando problemas ambientales como la desertificación y la erosión de suelo (Diacondo & Montemurro, 2012), asimismo el incremento de gases de efecto invernadero y la aceleración del cambio climático (Herrera et al., 2018). A nivel mundial, del 100% de los residuos sólidos generados, cerca del 46% son residuos sólidos orgánicos, donde solo el 59% se encuentran dispuestos en rellenos sanitarios (Hoorweg & Bhada-Tata, 2012 citado en Chávez & Rodríguez (2016). El resto de los residuos orgánicos se encuentran dispuestos en botaderos, generando áreas degradadas (Monel, 2013), las cuales pasan a ser infértiles sin una producción sostenible (Braga et al., 2017). Por otro lado a causa del aumento significativo de generación de residuos sólidos existe una reducción de la vida útil de los rellenos sanitarios (Aristizábal et al., 2015). Siendo necesario desarrollar y aplicar estrategias de tratamiento para el reciclaje de los desechos orgánicos (Diacondo & Montemurro, 2012), contribuyendo con ello la sostenibilidad medioambiental (Braga et al., 2017).

Por otro parte, la acentuación de la producción ganadera aumenta la generación de residuos sólidos de origen animal como son los estiércoles (López et al., 2018), en el mejor de los casos son aprovechados para la agricultura como compostaje, pero su acumulación en grandes cantidades puede generar problemas ambientales como la proliferación de microorganismos patógenos, semillas de maleza y trazas de metales pesados (Lazcano et al., 2008), asimismo, ocasionar impactos negativos en el ambiente como olores desagradables, contaminación del suelo, de cuerpos de agua y emisiones de gases de efecto invernadero (Bernal et al., 2009).



Por otro lado, se considera que aproximadamente el 15% de la superficie terrestre sufre algún tipo de degradación edáfica (Zurita et al., 2015), reduciéndose la capacidad productiva del suelo inclinada a una desertificación (López, 1994). En el altiplano el incremento del ganado (ovino, vacuno y camélidos) contribuye al desgaste de las tierras agrícolas por sobrepastoreo y sobreexplotación (Orsag, 2009). El suelo también se ha visto contaminado por uso de fertilizantes químicos e hidrocarburos (Canales-Gutiérrez et al., 2021). Siendo fundamental tomar medidas de recuperación y buena gestión de nuestros suelos, donde no se frene la agricultura ni se aumenten más áreas de suelos afectados, haciendo que el uso de este recurso sea de forma sostenible.

Una alternativa hacia los problemas ambientales mencionados es la transformación de los residuos orgánicos y recuperación de suelos tras el proceso de vermicompostaje con la aplicación de la lombriz roja (*Eisenia foetida*). Siendo el vermicompostaje un proceso ecotecnológico económico, donde las lombrices realizan un proceso rápido de descomposición de los residuos orgánicos convirtiéndolos en productos de valor agregado (Villegas-Cornelio & Laines, 2017; Canales-Gutiérrez et al., 2020) siendo utilizado como fertilizante orgánico para el incremento de la capacidad productiva del suelo (Vildaña-Martinez et al., 2017; Flores-Pacheco et al., 2018) y para prácticas de programas de fertilidad del suelo y restauración ecológica (Villegas-Cornelio & Laines, 2017).

Por tales motivos, es necesario conocer el comportamiento reproductivo y de desarrollo de la lombriz roja en estiércoles de animales criados en la región de Puno, ya sea para su aplicación en el vermicompostaje, como también para su crianza y producción (lumbricultura), siendo una alternativa con una variedad aplicativa, dado que permite al productor disponer de abono orgánico permanente, reduciendo el uso de fertilizantes



químicos (Martínez et al., 2018) y al mismo tiempo le permite emplear las lombrices para otros fines (Toccalino et al., 2004) como para la producción de harina de lombriz (Hleap-Zapata et al., 2017), biorremediación de suelos (Sahariah et al., 2015; (Rodríguez et al., 2018), remoción de metales pesados (Ayanka et al., 2018; Sahariah et al., 2015) , remediación de aguas residuales domésticas (Zapata et al., 2017), entre otros, generando no solo beneficios autosostenibles y de comercio, sino también medioambientales.

Para todas las aplicaciones mencionadas que se le puede dar a la lombriz roja, es importante incrementar su reproducción y crecimiento a una mayor escala, por tal motivo se realizan estudios del crecimiento y reproducción de la lombriz roja con diferentes sustratos aplicados. En esta investigación se inquirió generar información sobre el comportamiento de crecimiento y reproducción de la lombriz roja aplicando estiércoles presentes en la zona altiplánica de Puno, como son el estiércol de alpaca, cuy y llama; incitando al uso de estos residuos orgánicos de origen animal para su transformación en vermicompostaje y la producción de lombrices rojas.

De tal forma para determinar que estiércol tiene un mayor efecto en el crecimiento y reproducción de la lombriz roja se hizo una comparación de las longitudes (mm), número de individuos y número de cocones de las lombrices rojas en los tres estiércoles aplicados como tratamientos. Por otro lado, debido a las condiciones ambientales que requiere la lombriz roja para su desarrollo y reproducción, y al mismo tiempo teniendo en cuenta que muchas comunidades de la región de Puno vienen siendo implementadas con invernaderos; la investigación se realizó en condiciones de invernadero a una elevada altitud de 3810 m s.n.m., en la ciudad de Puno.



## 1.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar el crecimiento y reproducción de la *Eisenia foetida* (lombriz roja) en tres sustratos orgánicos y en relación al tiempo en condiciones de invernadero.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contrastar el crecimiento (longitud) de la lombriz roja en tres sustratos orgánicos con relación al tiempo en condiciones de invernadero.
- Comparar la reproducción (número de individuos y cocones) de la lombriz roja en tres sustratos orgánicos con relación al tiempo en condiciones de invernadero.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Calderón et al. (2021) en su valuación sobre el desempeño productivo y reproductivo de la lombriz roja en tres sustratos, el tratamiento de la bovinaza presentó mayor número de individuos (adultas y juveniles) respecto a la ovinaza y desechos de comida.

Canales-Gutiérrez et al. (2021) determinaron el crecimiento y el número de cocones en cuatro sustratos (choclo, zapallo, camote y papa), en donde tuvo el agregado para cada tratamiento el estiércol de alpaca en 150 g hubo una mayor presentación de tamaño en los tratamientos de choclo, papa y zapallo en relación al del camote.

Cruz et al. (2021) evaluaron el efecto de la fuente alimenticia y densidad de inoculación en la crianza de la lombriz roja, determinando que el compost de alpaca y de ovino demostraron mayor número de cocones e individuos adultos y juveniles.

Jaramillo (2020) en su trabajo de investigación evaluó la reproducción de la lombriz roja en cuatro tipos de sustrato, donde los sustratos con menos nutrientes presentaron mayores números de lombrices, indicando que se puede criar la lombriz roja en medios no tan enriquecidos. El sustrato de café fue el que presentó mayor rendimiento respecto a los desperdicios de cocina, la tierra y cascara de cacao.

Castañeda et al. (2019) en una evaluación con diferentes sustratos: estiércoles de vacuno, cuy y gallina, pluma y sangre bovina para mejorar la producción de la lombriz



roja, indican que los sustratos en mención a la alimentación pueden lograr mejoras en el peso corporal, densidad poblacional y contenido proteico de la harina de la lombriz roja.

Cruz (2019) en su proyecto de investigación realizó ensayos para la producción de humus de la lombriz roja, utilizando fuentes de rastrojos de quinua, estiércoles de alpaca, ovino, vacuno y cuy demostró como resultados que el compost proveniente de alpaca y ovino obtuvo mayores cantidades de cocones e individuos de la lombriz roja, así como su capacidad productiva.

López-Méndez et al. (2013) en su investigación sobre la influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja, el tratamiento con aserrín, estiércol de bovino e inóculo de aserrín-melaza-lactobacilos de suero de leche registraron las características mejores en la reproducción de la lombriz roja, así como la calidad de humus también fue mejor.

Cajas (2009) evaluó el efecto de la utilización de aserrín en combinación con el estiércol bovino para la producción de humus de la lombriz roja refiere que la combinación de 50% aserrín + 50% de estiércol bobino, mejoró en el crecimiento, biomasa y en la calidad de humus de la lombriz roja.

Durán & Henríquez (2009) con la aplicación de 600 individuos evaluaron el peso, reproducción y adaptación de la lombriz roja en cinco sustratos orgánicos (estiércol vacuno, broza de café, residuos de banano, follaje ornamental y residuos domésticos) indicando que el peso de los individuos y su tasa reproductiva fueron influenciados por el tipo de sustrato aplicado, presentándose a los 90 días un mayor peso en el residuo domestico ( $0.65 \text{ gr individuo}^{-1}$ ), el mayor número de capsulas producidas se dio en el



estiércol y el mayor número de individuos finales se dio en la broza del café (16900 individuos).

Loh et al. (2005) en su investigación de vermicompostaje de estiércoles bovinos y caprinos por *Eisenia foetida* en su rendimiento de crecimiento y reproducción, indican que las concentraciones de C, P y K fue más alta en el estiércol de cabra respecto al del vacuno, caso contrario ocurrió con el número de individuos y producción de cocones fue mayor en el estiércol de vacuno respecto al de la cabra.

Siddique et al. (2005) determinaron el crecimiento y reproducción de la lombriz roja en diferentes medios orgánicos (estiércol de vaca, estiércol de oveja/cabra y hojas secas) durante seis meses. La tasa de crecimiento, el número de cocones y producción de crías de la lombriz roja fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en el estiércol de vaca en comparación con los otros tratamientos, mostrándose el tratamiento de oveja/cabra mortalidad después de la décima semana de inoculación.

Somarriba & Guzmán (2004) en su proyecto sobre la influencia de la cachaza de caña y estiércol bovino como sustrato de la lombriz roja para la producción de humus. Los valores más altos en por ciento de N, P y K se dio con el sustrato con estiércol bovino (2.36% en N) y cachaza más estiércol (1.60%), asimismo, en el manejo y crianza de la lombriz roja indican que se debe asegurar la humedad optima, mantener el pH neutro y el alimento necesario.

Toccalino et al. (2004) en su estudio compararon el comportamiento reproductivo de la lombriz roja según la estación del año y tipo de alimentación, utilizando restos de comida, residuos de algodón y estiércol de bovino, donde los lechos con estiércol bovino



produjeron mayores cocones, reflejadas en mayores crías eclosionadas en todas las estaciones del año.

Hernández et al. (2002) en su investigación evaluaron las mezclas de restos de la palma aceitera (cascarilla y fibra del fruto) con estiércol bovino en diferentes proporciones de mezclas para el desarrollo y producción de la lombriz roja, donde la biomasa más alta (1131 mg/pareja) se registró en la mezcla con 20% de fruto más 80% de estiércol y la producción más alta de cocones fue en la mezcla con 40% de cascara más 60% de estiércol.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. *Eisenia foetida* (Lombriz roja)**

#### **2.2.1.1. Generalidades de *Eisenia foetida***

La *Eisenia foetida*, también conocida como lombriz roja californiana, en adelante “lombriz roja”, es un invertebrado del suelo, colonizadora de materiales orgánicos con un papel importante en la mejora de las condiciones biofísicas del suelo (Jaramillo, 2020), proceso que realiza a través del vermicompostaje, transformando los residuos sólidos orgánicos en abonos orgánicos (Acosta-Durán et al., 2013).

La lombriz roja es una buena candidata para su crianza y diferentes aplicaciones debido a que es una de las pocas lombrices de tierra que se ha adaptado para su crianza en criaderos, pudiendo ser utilizada fuera de su hábitat natural (Moreno-Reséndez & Cano-Ríos, 2002; Campoverde et al., 2020), alcanza la madurez sexual en un intervalo



de tiempo relativamente corto (Jaramillo, 2020) y presenta una alta tasa reproductiva, generando altas cantidades de lombrices por año (Paco et al., 2011).

Por su alta adaptabilidad a los desperdicios orgánicos (Singh et al., 2016), su capacidad para vivir en áreas pequeñas, con una alta densidad por área esta especie ha sido estudiada en lugares controlados como a campo abierto a diferentes altitudes (Schuldt et al., 2005) siendo alimentada por diferentes tipos de sustratos de diferentes orígenes, los cuales influyeron en su crecimiento y reproducción de acuerdo al tipo de suministro que se le ha dado, influyendo incluso el porcentaje de los suministros dados, así como las mezclas de éstos (Somarriba & Guzmán, 2004; Toccalino et al., 2004; Loh et al., 2005; Siddique et al., 2005; Cajas, 2009; Durán & Henríquez, 2009; Castañeda et al., 2019; Cruz, 2019; Jaramillo, 2020; Calderón et al., 2021; Canales-Gutiérrez et al., 2021).

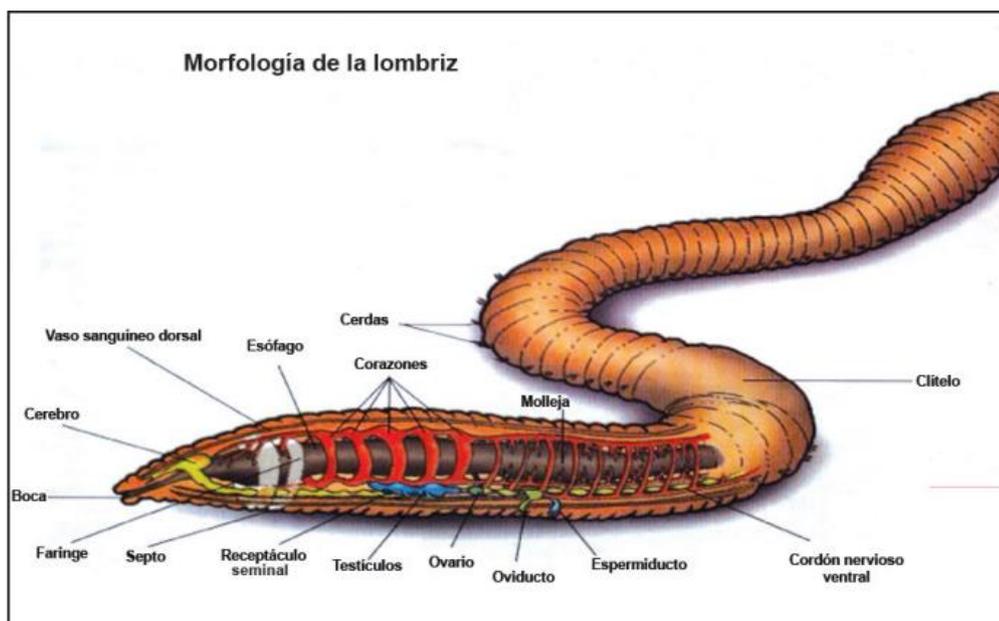
#### **2.2.1.2. Clasificación taxonómica de *Eisenia foetida***

*Eisenia foetida* (L.) Savigny (1826) se ubica en la siguiente clasificación taxonómica (Somarriba & Guzmán, 2002).

Reino:	Animal
Phyllum:	Annelida
Clase:	Oligoqueta
Orden:	Haplotaxida
Familia:	Lombricidae
Género:	<i>Eisenia</i>
Especie:	<i>Eisenia foetida</i>

### 2.2.1.3. Características morfológicas de *Eisenia foetida*

Las lombrices rojas, al pertenecer a los anélidos tienen un cuerpo cilíndrico con 120 a 175 segmentaciones, todos sus segmentos son iguales, a excepción del primero que se denomina prostomio donde se encuentra la boca (sin dientes) y el último denominado pigidio en el que se halla el ano (Rivera-Arrendondo et al., 2018). Su cuerpo tiene una longitud en estado adulto de 51.10-64.00 cm con un diámetro de 3-5 mm y un peso entre 0.37-0.58 g, el cual está cubierto por una fina cutícula donde los individuos inmaduros tienen una coloración blanco rosa y los adultos un color rojo purpura con amarillo (Muñoz-Pedrerros et al., 1997; Somarriba & Guzmán, 2002) (figura 1).



**Figura 1.** Morfología de la lombriz roja (*Eisenia foetida*)

Fuente: (Somarriba & Guzmán, 2002)

#### 2.2.1.3.1. Anatomía sistemática de las lombrices

Somarriba & Guzmán (2002) en su guía menciona los siguientes aspectos:



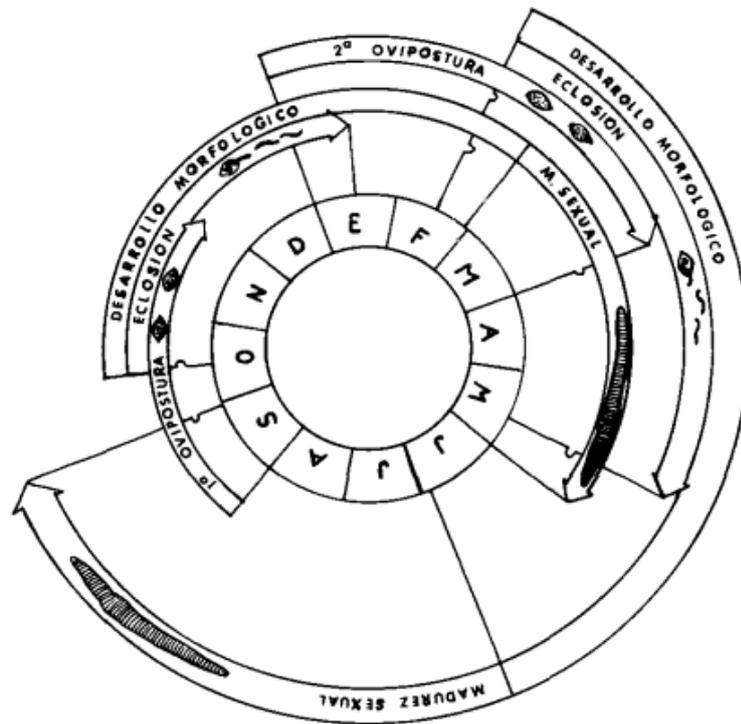
- a) **Epidermis:** Situada debajo de la cutícula con un epitelio simple con células glandulares que secretan mucosa, es responsable de la formación de la cutícula, de su flexibilidad y del mantenimiento de la humedad, realizando por este medio también la respiración.
  
- b) **Sistema digestivo:** Presenta un tubo digestivo, intestino y estómago, posee glándulas encargadas de lubricar el alimento y fibras musculares externas, un buche que almacena los alimentos y una molleja que tritura los alimentos.
  
- c) **Sistema excretor:** Formado por nefridios, dos en cada anillo, las células ciliadas internas a través del movimiento permiten retirar los desechos del celoma. Cuentan con unas glándulas calcíferas (glándulas de Morren) los cuales segregan carbonato de calcio, controlan el pH, e inhiben algunos hongos y bacterias presentes en los sustratos ingeridos.
  
- d) **Sistema nervioso:** Presenta células gustativas que están ubicadas entre la boca y la faringe, las cuales permiten la preferencia de un alimento entre otro, un cordón nervioso central que permite percibir las sensaciones de humedad, temperatura, luminosidad y tacto, las cuales son enviadas por las células nerviosas que están presentes en cada anillo.
  
- e) **Sistema circulatorio:** Esta provisto por cinco pares de tubos musculares considerados como corazones y dispone tres pares de riñones, tienen dos vasos sanguíneos uno ventral y otro dorsal, capilares y vasos que llevan la sangre a todo el cuerpo.



- f) Sistema muscular:** La musculatura inferior del tubo digestivo es circular y longitudinal, lo que permite las contracciones para el proceso digestivo. La musculatura exterior circular y longitudinal, es delgada que al contraerse comprime el líquido ceromático y determina el alargamiento de la lombriz y la gruesa que al contraerse determina el acortamiento de la lombriz.
- g) Sistema reproductivo:** Es hermafrodita, dispone de ovarios y testículos, sin la capacidad de auto fecundarse, necesitando el acoplamiento con otra de su especie.
- **Clitellium:** tiene la forma de un anillo (color blanco rosado), que se sitúa en el tercio anterior, el cual está dotado de una glándula encargada de secretar sustancias que forman los cocones.

#### 2.2.1.4. Ciclo biológico de *Eisenia foetida*

Las lombrices rojas son anelidos con un desarrollo directo, sin la presencia de la trocofora (Grassé et al., 1985). Muñoz-Pedrerros et al., (1997) esquematizan el ciclo de vida de la *Eisenia foetida* en las siguientes etapas: ovipostura, eclosión del cocón, desarrollo morfológico y madures sexual, donde el tiempo transcurrido entre la primera y segunda ovipostura fue de aproximadamente cuatro meses (tomando en cuenta que la segunda ovipostura es de la nueva generación eclosionada de la primera ovipostura) (figura 2). Por otra parte Domínguez & Gómez-Brandón (2010) refieren que en condiciones óptimas este proceso puede darse de 45 a 51 días.



**Figura 2.** Ciclo de vida de la *Eisenia foetida*.

Fuente: (Muñoz-Pedrerros et al., 1997)

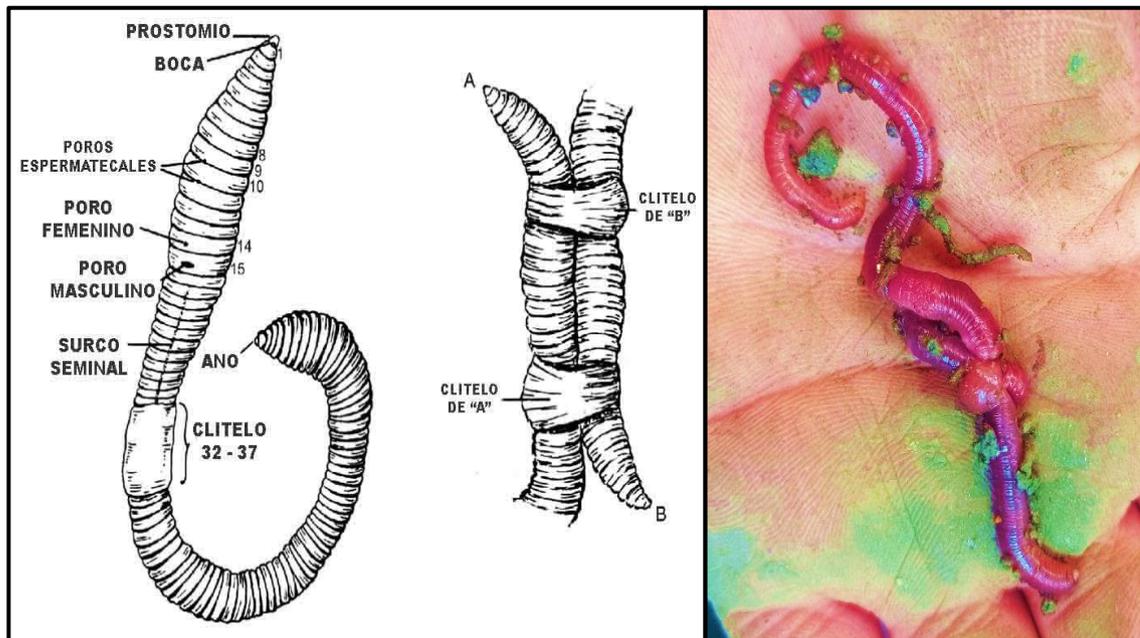
### 2.2.1.5. Reproducción de la *Eisenia foetida*

La lombriz roja tiene una alta actividad reproductiva, con una producción alta de lombrices anuales (Paco et al., 2011). La madurez sexual la adquieren aproximadamente a los tres meses cuando el anillo clitelar está desarrollado y continua durante toda su vida (Somarriba & Guzmán, 2002). En este estado miden aproximadamente 47 mm (Muñoz-Pedrerros et al., 1997) y su peso alcanza aproximadamente los 0.25 g (Castañeda et al., 2019).

### 2.2.1.5.1. Fecundación cruzada

Las lombrices al ser hermafroditas (con ovarios y testículos), se reproducen por fecundación cruzada (figuras 3 y 22); para este proceso es necesario el acoplamiento con otro individuo de su especie, donde se sitúan en posición paralela de sentido inverso uno del otro, de tal forma que se acopla el aparato genital masculino con el femenino de cada individuo (Somarriba & Guzmán, 2002) realizándose el intercambio de espermatozoides, los cuales no fecundan de forma inmediata los óvulos (Díaz, 2002).

Somarriba & Guzmán, (2002) refieren que el apareamiento se produce en un intervalo mínimo de siete días con un tiempo de duración de 15 minutos, Toccalino et al., (2004) indican que este proceso ocurre de noche y suele durar hasta 240 minutos.

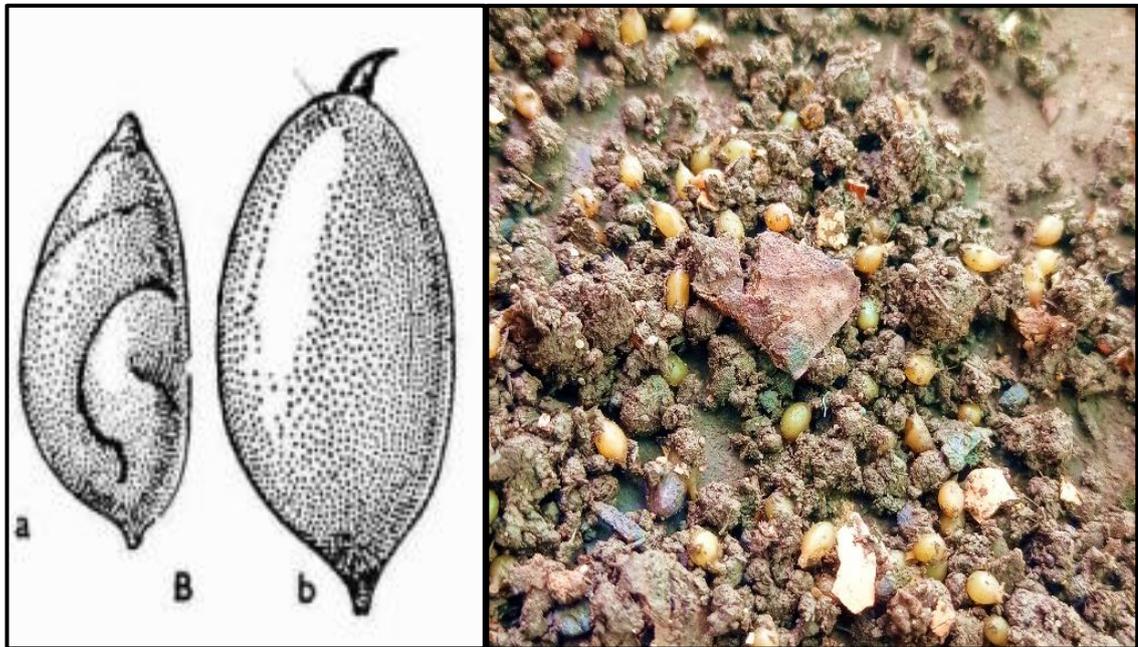


**Figura 3.** Reproduccion cruzada de la *Eisenia foetida*.

Fuente: (Jamienson, 2006).

### 2.2.1.5.2. Producción de cocones

A consecuencia del apareamiento de las lombrices rojas, entre 7-10 días se producen los cocones (Toccalino et al., 2004), los cuales son capsulas que alojan los huevos fecundados. Los cocones tienen forma de pera de 2x4 mm (Jayakumar et al., 2011), con un color verde amarillo hasta un verde rojizo (Somarriba & Guzmán, 2002), su color tiende a ser marrón cuando se acercan a su eclosión (Muñoz-Pedrerros et al., 1997) (figura 4).



**Figura 4.** Cocones de la *Eisenia foetida*. Izquierda: Ilustración de la morfología de los cocones. Derecha: Fotografía de los cocones en sustrato.

Fuente: (Grassé et al., 1985)

El tiempo de incubación oscila entre 18 y 26 días, y en condiciones favorables de humedad y temperatura éstas pueden eclosionar entre los 14 y 21 días (Somarriba & Guzmán, 2002). Tienen una viabilidad de eclosión de 72–82% (Domínguez & Gómez-Brandón, 2010), con un número de 2-4 lombrices hijas producidas por cocón.

### 2.2.1.5.3. Crías de la lombriz roja

Muñoz-Pedrerros et al., (1997) refieren que las crías de las lombrices rojas son de color rojo en el extremo anterior (alternado con anillos de color blanco de forma regular) y de color blanquecino en su extremo posterior, Jayakumar et al., (2011) indican que el tamaño de las lombrices recién eclosionadas son de 4 mm (figura 5).



**Figura 5.** Individuo juvenil nuevo de la *Eisenia foetida*. Izquierda: Individuo recién eclosionado de un cocón. Derecha: El mismo individuo al lado del cocon que eclosionó.

### 2.2.1.6. Crianza de la *Eisenia foetida*

#### 2.2.1.6.1. Lumbricultura

Barbado (2004) citado por (Martínez et al., 2018) define la lumbricultura por un lado como las diferentes actividades que están relacionadas con la crianza y producción de las lombrices y por otra parte al tratamiento de los residuos orgánicos a través de su reciclaje.



### 2.2.1.6.2. Alimentación de la *Eisenia foetida*

Somarriba & Guzmán, (2002) refieren que las lombrices ingieren diariamente el 100% de su peso en materia orgánica en descomposición, del cual el 60% es excretado como abono orgánico y el 40% es asimilado y se convierte en biomasa de lombriz.

Por su alta adaptabilidad de las lombrices rojas a los desperdicios orgánicos (Singh et al., 2016) esta especie es estudiada y alimentada con diferentes tipos de sustratos de diferentes orígenes. En su mayoría las lombrices son alimentados con una mezcla de los residuos orgánicos con los que se dispone. Para el caso de la producción de la lombriz que es lograr mejor tamaño y número de individuos se han realizado investigaciones utilizaron los siguientes residuos:

- **Residuos de origen animal:** Estiércoles (bobino, ovino, alpaca, cabra, caballo, cuy, gallina), plumas, sangre, vísceras.
- **Residuos agroindustriales:** Broza de café, cascara de cacao, cachaza de caña, residuos de banano, residuos de algodón, restos de palma aceitera, aserrín, suero de leche.
- **Residuos domésticos:** Restos de comida, desperdicios de cocina, restos de verduras (choclo, zapallo, camote y papa).
- **Follaje:** Follaje ornamental, hojas secas.
- **Agricultura:** rastrojos de quinua.



### 2.2.1.6.3. Condiciones para la crianza de *Eisenia foetida*

### 2.2.1.7. Aplicaciones y beneficios de la *Eisenia foetida*

La lombriz roja en la actualidad es aplicada para diferentes fines y usos, por la gran cantidad de beneficios que éstas aportan. Su uso se ha convertido en una de las herramientas biotecnológicas actuales para el reciclaje de desechos orgánicos (Ferruzzi, 1987). Su aplicación en el reciclaje de los residuos orgánicos es sostenible, ya que se hace uso de estos materiales en descomposición, para la producción de humus, el cual es aplicado para la restauración de suelos (Martínez et al., 2018). Se menciona alguna de las aplicaciones que se le da a la lombriz roja:

- **Vermicompostaje:** Es el abono orgánico producido por las deyecciones de las lombrices rojas, a través de un proceso de biotransformación realizado en su tubo digestivo (Acosta-Durán et al., 2013; Rodríguez et al., 2018). Este proceso tecnológico puede convertir residuos orgánicos en productos de valor agregado para las prácticas de restauración ecológica y programas de fertilidad del suelo (Villegas-Cornelio & Laines, 2017).
- **Carne de lombriz:** De la producción de la lombriz se genera carne de ésta misma, con un alto valor proteico para la alimentación de peces, cerdos y bovinos dándole un valor agregado a dichos animales (Ferruzzi, 1987; Martínez et al., 2018).
- **Producción de harina:** La carne de la lombriz es transformada en harina rica en nutrientes esenciales siendo recomendada como fuente de alimentación (Hleap-Zapata et al., 2017) para diferentes animales de abasto (Swiderska et al., 2017). Hleap-Zapata et al., (2017) añadieron como proteína adicional la harina de



lombriz en salchichas de tilapia roja con una aceptación de 78% del total de los encuestados.

- **Biorremediación:** Por ser una especie con buena capacidad para el bioprocesamiento de desechos tóxicos (Sahariah et al., 2015), es utilizado para la remoción de metales pesados (Sahariah et al., 2015; Ayanka et al., 2018). Cáceres et al., (2018) utilizó a las lombrices para la remediación de aguas residuales domésticas, Rodríguez et al., (2018) para la biorremediación de suelos, Zapata et al., (2017) en suelos contaminados con mercurio y Galindo-Guzmán et al. (2019) utilizaron la enzima acetilcolinesterasa de la lombriz roja como indicador de contaminación por plaguicidas organofosforados.

### 2.2.2. Sustratos orgánicos

Los residuos orgánicos, son biodegradables, se componen naturalmente y tiene la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, son los restos de plantas y animales. Incluyen restos de frutas y verduras procedentes de la poda de plantas (Monel, 2013) y estiércoles, plumas, vísceras entre otros residuos, procedentes de animales. Dichos sustratos pueden ser utilizados para diferentes fines si se realiza una correcta descomposición de ellos, como es la producción de compost o vermicomposta. En caso de la lumbricultura existen investigaciones donde se ha utilizado como sustrato orgánico estiércoles de bobino, ovino, alpaca, cabra, caballo, cuy y gallina. Por otro lado para aplicar el estiércol como sustrato se recomienda su uso en un estado de forma madura (10-18 días de haber sido producido por el animal) (Garrido, 2014), ya que su pH se encuentra casi neutro el cual es recomendable para el cultivo de las lombrices (Obando, 2008).



### **2.2.3. Influencia del sustrato en crecimiento y reproducción de la *Eisenia foetida***

Existen investigaciones realizadas, donde se han aplicado diferentes sustratos orgánicos de diferentes orígenes para la crianza de la lombriz roja. Donde la producción de la lombriz roja californiana se ha visto considerablemente influenciada por el tipo de sustrato utilizado en su alimentación (Castañeda et al., 2019). Campoverde et al., (2020) mencionan que el sustrato de papa registró en promedio la mayor cantidad y pesos de lombrices y el estiércol de cuy el segundo mejor promedio, Canales et al., (2020) refieren que el tratamiento con estiércoles de animales y cascaras de frutas donde hubo un mayor número de cocones, Moreno-Reséndez & Cano-Ríos (2002), indican que el estiércol de caballo es cepa de caña y de plátano favoreció la dinámica de crecimiento y producción de la lombriz roja. Al igual que las investigaciones mencionadas, se han aplicado.



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es una investigación cuantitativa de tipo experimental, donde la experimentación es el proceso para investigar relaciones de causa y efecto, para lo cual uno o más grupos experimentales son expuestos a estímulos experimentales, de tal forma que los comportamientos de los resultados son comparados con un control (que no recibe estímulo experimental) y/o entre los mismos grupos experimentales (Monje, 2011).

#### 3.2. AREA EXPERIMENTAL

##### 3.2.1. Localización del proyecto

La investigación se realizó en el invernadero de la Sub Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano situada en la ciudad de Puno, localizada geográficamente  $15^{\circ}49'42.94''$  latitud sur,  $70^{\circ}0'58.90''$  longitud oeste y a una altitud de 3810 m s.n.m. (figura 6).



**Figura 6.** Ubicación del invernadero de la Sub Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano situada en la Ciudad de Puno a una elevada altitud de 3810 m s.n.m.

Fuente: Google Earth (2022).

### **3.2.2. Parámetros físicos del lugar del proyecto**

La temperatura promedio del invernadero es de 17.29 °C, con una temperatura mínima de -0.82 °C y máxima de 49.07 °C. Llegando a los valores mínimos por las noches y máximo por el medio día. Su Humedad Relativa (HR) promedio es de 59.99%, con una HR máximo de 100% y mínimo de 6.30%, existiendo la HR máxima en la noche y parte de la mañana y valores mínimos de HR a partir de las 09:00 am hasta la tarde. Esta información fue generada con un Data Logger Hobo con una precisión +0.2°C y +2% HR durante el periodo de experimentación.



### **3.3. INSTALACIÓN DE CELDAS DE EXPERIMENTACIÓN**

Para la evaluación de los objetivos planteados, se instaló nueve celdas de madera (30x30x30 cm), con tres celdas (repeticiones) para cada tratamiento. Previo a la inoculación de las lombrices, las celdas fueron instaladas de forma uniforme con los siguientes componentes: 10 kg de tierra agrícola, 30 unidades de piedras de 3x2 cm aproximadamente, ½ kg de aserrín, 2 kg de cáscara de papa, ½ kg de cascará de huevo, siendo diferenciados los tratamientos por la agregación de los estiércoles (figura 18) Los componentes o compuestos juntamente con los estiércoles fueron colocados en capas en cada celda, siendo tres capas puestas por cada insumo a excepción de las piedras, que se colocaron como base.

#### **3.3.1. Proceso de precompostaje**

Una vez instaladas las celdas de experimentación, se realizó el precompostaje (fermentación aeróbica) por 20 días, controlándose los niveles de temperatura, humedad relativa y pH de los tratamientos, hasta que éstos se mantuvieran en un pH casi neutro o relativamente ácido.

#### **3.3.2. Control de los parámetros fisicoquímicos de las celdas**

Previamente a la inoculación de las lombrices rojas a los tratamientos, se hizo un control de la temperatura, humedad relativa y el pH de los sustratos. Los niveles de temperatura estuvieron entre 15-19 °C, la HR entre 60-90% y el pH en un rango de 6.5-7.0, estando dentro de los parámetros óptimos para la crianza de la lombriz roja. Con la información obtenida también se descartó la influencia de los estiércoles aplicados en la temperatura, humedad relativa y nivel de pH de los tratamientos, los



cuales se presentaron de forma similar. Para el control de dichos parámetros, se utilizó un multiparámetro de suelo Marca OEM con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0.2$  pH y  $\pm 1$ HR. Por otro lado, para mantener la humedad de cada caja se realizó el riego de forma interdiaria con 500 ml de agua.

Así mismo, como información complementaria a la investigación se realizaron análisis fisicoquímicos de los tratamientos antes de la inoculación de las lombrices y después de la experimentación, el primero para observar la influencia de estos parámetros de los sustratos en el comportamiento de crecimiento y reproducción de la lombriz roja y el segundo para determinar el incremento en macronutrientes de los sustratos en el tiempo. Dichos análisis se realizaron en el laboratorio de aguas y suelos de la facultad de Ciencias Agrarias.

### **3.4. INOCULACIÓN DE LAS LOMBRICES ROJAS**

Tras la instalación, el proceso de precompostaje y el control de los parámetros de los sustratos, los tratamientos fueron removidos, realizándose una homogenización y oxigenación de los mismos. Posterior a ello, recién se inoculo los 30 individuos de las lombrices rojas (sin anillo clitelar) en cada celda, habiendo 90 lombrices por tratamiento, siendo individuos juveniles con un promedio de 41.24 mm de longitud. A partir del cual se realizaron los monitoreos con las mediciones correspondientes de cada objetivo, disponiendo todo el sustrato de cada celda en una tabla de madera, donde se separó los individuos de las lombrices rojas y los cocones en recipientes de plástico para luego ser medidos y contados; posterior a ello se devolvieron las lombrices y los cocones a sus celdas correspondientes.



### **3.5. ANALISIS DE LOS OBJETIVOS**

#### **3.5.1. Contrastar el crecimiento (longitud) de la lombriz roja entre tres sustratos orgánicos y en relación al tiempo en condición de invernadero**

##### **3.5.1.1. Frecuencia y horario de muestreo**

Los registros de los datos del crecimiento, se realizaron cada 15 días durante tres meses con un total de seis registros.

##### **3.5.1.2. Descripción del uso de materiales, equipos e insumos**

Para la medición de la longitud (mm) de los individuos de la lombriz roja se utilizó un vernier calibrador digital de marca Stainless Hardened de 6" (150 mm) con una precisión de  $\pm 0.01$  mm (figura 19 y 21).

##### **3.5.1.3. Variables analizadas**

Variable independiente: Tratamientos (alpaca, cuy y llama) y tiempo (días).

Variable dependiente: Longitud (mm) de los individuos de las lombrices rojas.

##### **3.5.1.4. Aplicación de prueba estadística**

Previamente a los análisis se aplicó la prueba de Kolmogorov Smirnov para determinar el supuesto de normalidad, y el análisis de las diferencias de las longitudes (mm) de las lombrices rojas entre los tratamientos se realizó tras la aplicación del análisis de varianza y la prueba de Tukey en el programa estadístico Infostat 2020, asimismo se analizó las longitudes (mm) de las lombrices rojas en relación al tiempo tras la aplicación de un análisis de regresión polinomial en el programa Past 4.1.0.



Fórmula de Kolmogorov Smirnov:

$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} |\hat{F}_n(X_i) - F_0(X_i)|$$

- $X_i$  es el  $i$ -ésimo valor de la muestra (cuyos valores deben ser ordenado previamente de menor a mayor).
- $\hat{F}_n(X_i)$  es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que  $X_i$ .
- $F_0(X_i)$  es la probabilidad de observar valores menores o iguales que  $X_i$  cuando  $H_0$  es cierta.

Fórmula del análisis de varianza:

$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n_j - 1}$$

- $\bar{x}$  es la media global
- $S^2$  es la varianza global
- $n = n_1 + n_2 + n_3 + n_j + \dots + n_k$

Fórmula de la regresión polinomial:

$$y = ax^2 + bx + c$$

- $a$  es el término independiente, es el punto de corte con el eje vertical (eje de ordenadas).



- $b$  es la pendiente de la recta, es la tangente del ángulo que forma la recta con el eje horizontal (eje de ordenadas). Si es positiva la recta es creciente, si es negativa la recta es decreciente y si es cero la recta es horizontal.

### **3.5.2. Comparar la reproducción (número de individuos y cocones) de la lombriz roja entre tres sustratos orgánicos y en relación al tiempo en condición de invernadero**

#### **3.5.2.1. Descripción del uso de materiales, equipos e insumos**

El conteo del número de individuos y el número de cocones se realizó por observación directa (figura 19). Para el número de individuos se consideró dos grupos:

- **Grupo 1:** Juveniles-adultos, agrupando en este grupo a los individuos jóvenes (sin presencia de clitelos) y adultos (con presencia de clitelos) los cuales tenían un grosor de 3-4 mm (figura 20).
- **Grupo 2:** Juveniles nuevos, agrupando a los nuevos individuos eclosionados de los cocones, que forman las nuevas generaciones, de colores blanquecinos con un grosor menor a 1 mm (figura 20).

#### **3.5.2.2. Frecuencia y horario de muestreo**

Los registros del número de individuos y número de cocones se realizaron cada 15 días durante tres meses con un total de seis registros.

### 3.5.2.3. Variables analizadas

Variable independiente: Tratamientos (alpaca, cuy y llama) y tiempo (días).

Variable dependiente: Número de individuos y número de cocones.

### 3.5.2.4. Aplicación de prueba estadística

El análisis de las diferencias de número de individuos y número de cocones de las lombrices rojas entre los tratamientos se realizó tras la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis en el programa estadístico Infostat 2021, asimismo se analizó los números de individuos y número de cocones de las lombrices rojas en relación al tiempo de los tres tratamientos, con un análisis de regresión polinomial en el programa Past 4.1.0.

Fórmula Kruskal-Wallis:

$$H = \left[ \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} \right] - 3(N+1)$$

Donde:

- $k$  es el número de grupos.
- $N$  número total de sujetos.
- $n_j$  número de sujetos en cada grupo.
- $R_j$  suma de los rangos en cada grupo.
- $\sum_{j=1}^k$  indica que se deben sumar los rangos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS SUSTRATOS

##### 4.1.1. Parámetros físicos

En la investigación las temperaturas de los tres tratamientos oscilaron entre 15-19°C, estando dentro del rango optimo (12° y 25 °C) de temperatura para el crecimiento y reproducción de la lombriz roja (Barbado, 2003). Por otra parte rangos mayores se presentaron en otras investigaciones López-Méndez et al. (2013) registraron entre 21°C y 30.6 °C con estiércol bovino y otros compuestos, Martínez et al. (2018) tuvieron una temperatura mínima de 25 °C y una máxima de 29 °C. La temperatura menor encontrada en nuestra investigación es debido a la influencia de la temperatura ambiente del invernadero en una zona altiplánica, con una media de 17.29 °C (-0.82 - 49.07) avalando a lo mencionado por Gastón et al. (2008) quienes indican que las temperaturas de los compostajes depende de las temperaturas ambientales.

Por otro lado, la humedad relativa, siendo un parámetro controlable con el riego de los tratamientos, este se mantuvo entre el 60 y 90%, registrándose la mayor humedad poco tiempo después del riego, teniendo en cuenta que la capacidad reproductiva de la lombriz roja y su desarrollo se maximiza a 76% de humedad relativa (Gastón et al., 2008), debido a que la lombriz necesita de mucha humedad, la cual es requerida para su movimiento en los desechos, así como para su respiración (Martínez, 2000).



#### 4.1.2. Parámetros químicos

Respecto al pH este se presentó entre 6.86 - 7.41 en los tratamientos, estando igual dentro del rango óptimo (5.0 - 8.4) para el desarrollo y producción de la lombriz roja (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010); por lo contrario en otras investigaciones como el de Mamani-Mamani et al. (2012) con residuos orgánicos de cocina presentaron una mayor alcalinidad con un pH de 8.40, López-Méndez et al. (2013) aplicando estiércol de bovino con mezclas de frijol, inóculo de aserrín-melaza-lactobacilos de suero de leche y solo aserrín registraron pH alcalinos de 9.5, 9.2 y 9.1 respectivamente, encontrándose menor cantidad de lombrices y cocones y una mayor mortandad en el tratamiento más alcalino, resultados parecidos mencionan Calderón Santos et al. (2021) en el tratamiento de ovinaza, donde no hubo supervivencia de la lombriz, debido por la acción del pH alcalino (9.49). Este fenómeno es reportado por Reines et al. (2004) indicando que los pH superiores a 9.5 afectan al desarrollo, reproducción y actividad de las lombrices. Por otro lado, Terán, (2017) menciona que si el pH es demasiado ácido (<5) puede llegar a desarrollar una plaga denominada “planaria” o “lombriz rayada plana”, tratándose de un gusano platelminto pequeño con una coloración oscura con rayas a lo largo de su cuerpo (Garrido, 2014), el cual se adhiere a la lombriz y succiona sus líquidos corporales, ocasionando finalmente su muerte (Restrepo, 2007).

Para esto Garrido (2014) también menciona que es necesario tener en cuenta el estado del estiércol para su aplicación en la crianza de las lombrices, siendo el óptimo el estiércol maduro (10-18 días de haber sido producido por el animal), ya que un estiércol fresco puede ser altamente alcalino y el estiércol viejo (más de 20 días) puede ser altamente ácido, desarrollándose en el estiércol la lombriz rayada plana. Un pH altamente

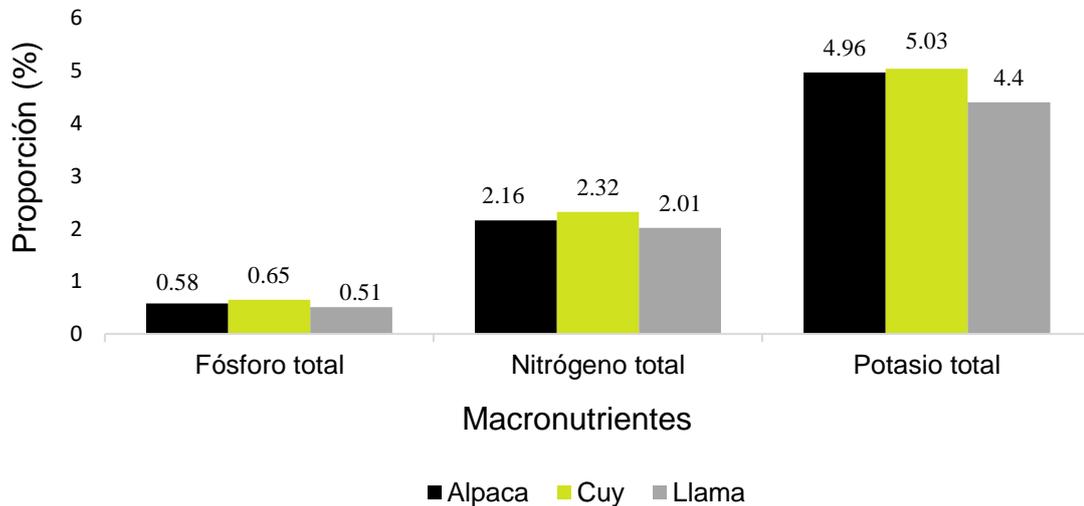


ácido también hace que la lombriz roja entre en un periodo de inactividad (diapausa) (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

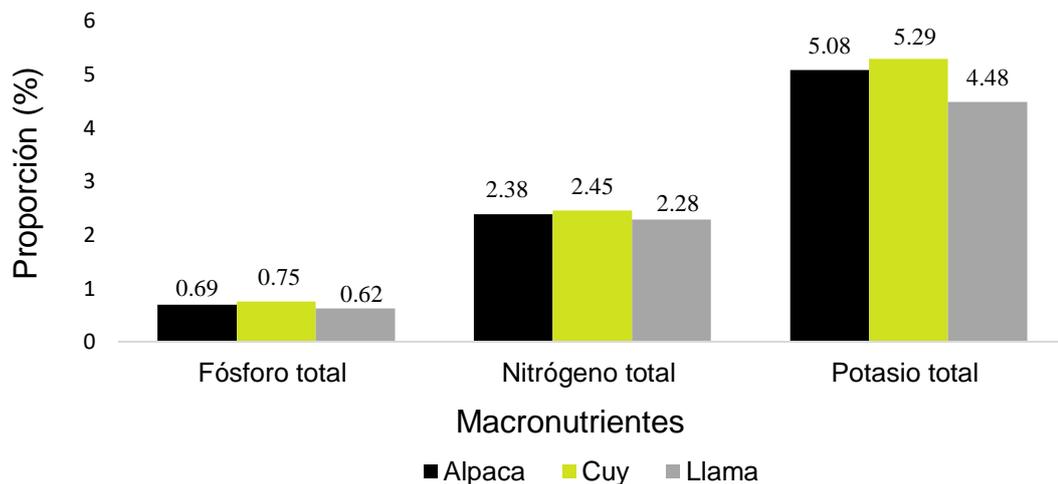
Referido a los valores de CE mS/cm (relación 1:2.5) antes de la inoculación de las lombrices y después de la experimentación, este valor fue mayor en el tratamiento con estiércol de alpaca (1.42 - 1.70 mS/cm) respecto al cuy (1.23 - 1.33 mS/cm) y llama (0.88 - 1.28 mS/cm) (anexo 1 y 2), valores mayores (8.01 - 6.47 mmhos/cm) reporta López-Méndez et al. (2013) en tratamientos con mezclas con estiércol bovino, observándose también una similitud en la relación de la CE con los porcentajes de potasio reportados en nuestra investigación. Por otro lado, Morales et al. (2009) aplicando estiércoles, de vaca, gallina, cerdo y caballo, registró mayor CE en el sustrato con estiércol de cerdo (11.24 dS) y la menor conductividad en el del caballo (7.72 dS), tras lo cual se puede inferir que la CE está relacionada también con el tipo de estiércol que se aplica. Así mismo, se observa que hubo un incremento de la conductividad durante el tiempo de experimentación, lo cual podría ser por la aún descomposición presente de la materia orgánica, dado que el contenido de sales incrementa a medida que avanza la descomposición de los materiales (Morales et al., 2019) y la salinidad del agua de riego, mencionando que el agua utilizada fue de un pozo del invernadero.

Por otro lado, para una aplicación del sustrato final en plantas la CE recomendable sería el de la llama, ya que una CE baja facilita el manejo de la fertilización y evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Yepes & Flores, 2013). Respecto con el desarrollo y producción de la lombriz roja, según la información consultada y nuestros resultados al parecer no existe una influencia de dicho parámetro.

En razón a los macronutrientes de los sustratos, fósforo total (% de  $P_2O_5$ ), nitrógeno total (% de N), potasio total (% de  $K_2O_5$ ) tanto antes y después de la experimentación, éstos fueron mayores en el tratamiento de cuy, seguido por el tratamiento de alpaca y finalmente por el tratamiento de llama (figura 7 y 8).



**Figura 7.** Proporciones de los macronutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio) presentes en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama antes de la inoculación de las lombrices rojas.



**Figura 8.** Proporciones de los macronutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio) presentes en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama post experimentación de la investigación.



En cuanto, al sustrato con mayor calidad en macronutrientes después de la experimentación, se puede apreciar que el tratamiento con estiércol de cuy, presentó mayor cantidad de nitrógeno (2.45), fósforo (0.75) y potasio (5.29), incluso mayor a lo reportado por Somarriba & Guzmán (2004) con estiércol de bovino (2.36% en N), resultados similares reporta Garrido (2014), quien aplicó ocho tipo de sustratos, con cuatro tipo de estiércoles (vacuno, caprino, cuy y porcino) en combinación de otros componentes (hojarasca de cacao y aserrín de madera blanda), teniendo mejores resultado en cuanto a calidad de humus en el tratamiento con estiércol de cuy; pero si de desarrollo y producción de la lombriz se trata tuvo mayores resultados con la mezcla del estiércol de cuy con aserrín.

Respecto al incremento de los macronutrientes en el tiempo, se aprecia un incremento numérico, solo el potasio presentó diferencias estadísticas ( $P=0.02$ ) del tratamiento de llama con un valor menor respecto a los tratamientos de alpaca y cuy. Con resultados similares Cruz (2019) indica que el incremento de los macronutrientes en el tiempo fue mínimo (3%) en los tratamientos de alpaca, ovino, vacuno y cuy. Sin embargo, se considera que se hubiera podido tener mayores valores en macronutrientes en el vermicompost si la aplicación de los individuos hubiera sido mayor, ya que el espacio fue muy grande para 30 lombrices, no realizándose una transformación completa de los sustratos.

En tanto a la materia orgánica (MO), también se observa un mayor incremento numérico en el tratamiento del cuy (43.98 - 44.98%), estando relacionado con los valores de los macronutrientes, seguido por la alpaca (44.74 - 44.80%) y llama (43.64 - 44.01%). Castañeda et al. (2019) refieren también mayor porcentaje de materia orgánica en el tratamiento con estiércol del cuy (100%) a diferencia con otros estiércoles (vacuno y



gallinaza) y las mezclas de estos con otros componentes, sin embargo, este valor es menor (12.41%) al de nuestra investigación. Pudiendo influir los componentes colocados como el aserrín, cascara de huevo y cascara de papa, casos similares indican López-Méndez et al. (2013) mezclando estiércol de vaca con aserrín e inóculo de aserrín-melaza-lactobacilos de suero de leche, así como Cajas (2009) en combinación estiércol de vaca 50% con aserrín 50%, mejoraron la calidad del humus de la lombriz roja.

## **4.2. CONTRASTAR EL CRECIMIENTO (LONGITUD) DE LA LOMBRIZ ROJA ENTRE TRES SUSTRATOS ORGÁNICOS (ALPACA, CUY Y LLAMA) Y EN RELACIÓN AL TIEMPO EN CONDICIÓN DE INVERNADERO**

### **4.2.1. Crecimiento de la lombriz roja**

Tras la aplicación de la prueba de Kolmogorov Smirnov, el supuesto de normalidad se cumple, siendo los valores para las longitudes (mm) de las lombrices rojas:  $\bar{x}=45.81$ ,  $s^2=247.60$ ,  $p=0.18$  con una probabilidad de  $p=0.05$ .

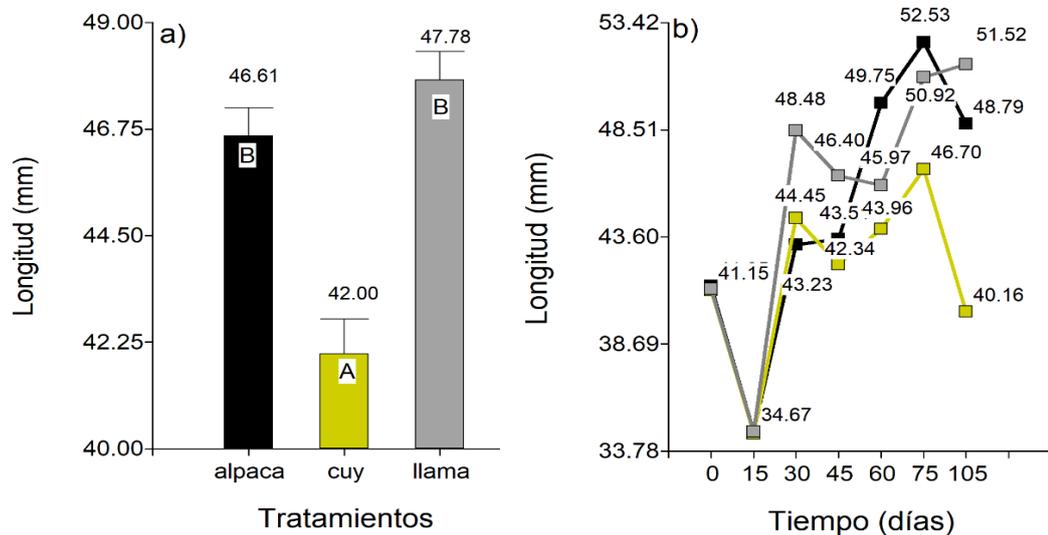
#### **4.2.1.1. Contraste del crecimiento de las lombrices entre tratamientos**

En el tratamiento de alpaca se registró una media de 46.61 mm de longitud, con un rango de 7.33 - 89.23 mm de longitud, en el tratamiento de cuy se registró una media de 42.00 mm de longitud, con un rango de 8.78 - 89.50 mm de longitud y en el tratamiento de llama se registró una media de 47.78 mm de longitud, con un rango de 11.89 - 96.57 mm de longitud (tabla 1).

**Tabla 1.** Resumen estadístico de las longitudes (mm) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

Tratamiento	N	Media	D.E.	Var(n-)	Mín.	Máx.
Alpaca	721	46.61	15.82	250.26	7.33	89.23
Cuy	469	42.00	15.97	255.00	8.78	89.50
Llama	615	47.78	14.96	223.90	11.89	96.57

Tras el análisis de varianza y la prueba de Tukey se determinó que existe diferencia significativa ( $p < 0.0001$ ) en las longitudes de las lombrices rojas de los tratamientos de alpaca y de llama en relación al tratamiento de cuy (figura 9a) y tras una distribución de las medias en relación a los días de monitoreo se puede observar que los promedios de las longitudes aumentan y disminuyen en los tres tratamientos, llegando a las mayores longitudes los tratamientos de alpaca y de llama (figura 9b).



**Figura 9.** Medias de las longitudes de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo. Letras con una media común no son significativamente diferentes.



Se puede observar que los tratamientos que mayor longitud tuvieron, fueron el de la llama (47.78) y de la alpaca (46.61) en relación al del cuy (42.00), pudiendo tener menor crecimiento las lombrices del tratamiento de cuy por la mayor cantidad de macronutrientes presente en dicho tratamiento, ya presentándose este comportamiento cruzado en la reproducción de lombrices mencionado por Campoverde et al. (2020) que indican que la reproducción de las lombrices se ven limitadas por las altas concentraciones de nitrógeno y bajas en carbono, de igual manera Jaramillo (2020) refiere que la mayor reproducción de la lombriz se presentó en los sustratos con menos nutrientes, indicando que se puede criar la lombriz roja en medios no tan enriquecidos.

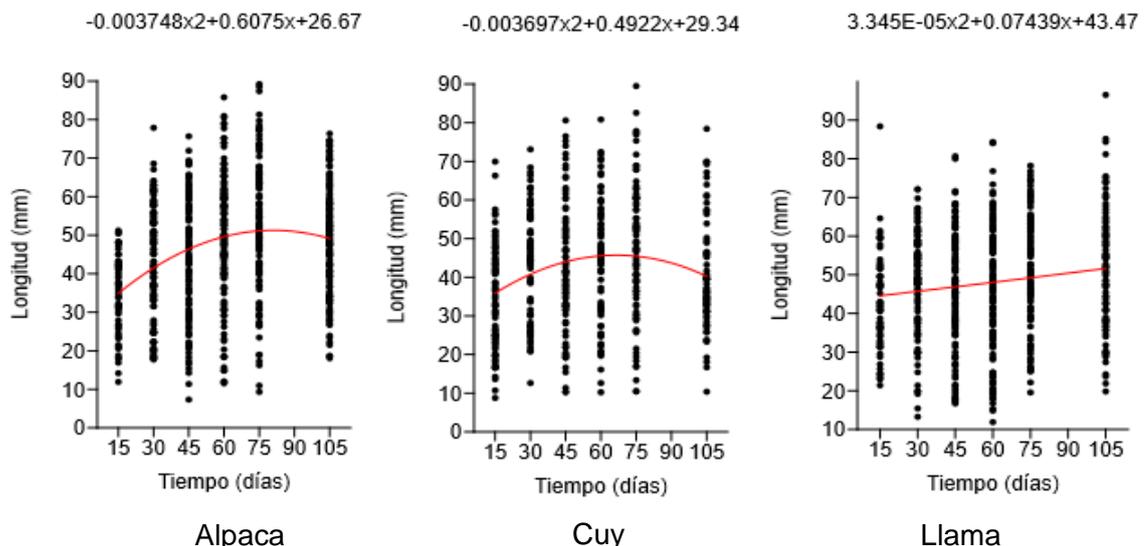
Se advierte que existe una influencia significativa ( $p < 0.0001$ ) del tipo de sustrato aplicado entre residuos orgánicos de origen animal, coincidiendo con Siddique et al., (2005), quienes determinaron una tasa de crecimiento significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en el estiércol de vaca a comparación del estiércol de oveja. De forma similar ocurre en los sustratos orgánico de otros orígenes Canales-Gutiérrez et al. (2021) indican que con la alimentación de choclo (5.5 cm), papa (5.5 cm) y zapallo (5.2 cm) hubo un mayor crecimiento significativo ( $p < 0.05$ ) respecto al camote (4.0 cm).

Así mismo, se puede observar que hay un aumento y disminución de las medias de las longitudes en relación a los días de monitoreo, pudiendo darse por varios motivos, uno de ellos es la mortandad de individuos, debido a su adaptación al sustrato donde su tiempo de vida fuera menor. A lo que en un análisis de dinámica poblacional Campoverde et al. (2020) refieren que de 0 - 10 semanas se muestra un crecimiento lento en todos los estadios de la lombriz roja, notándose un crecimiento exponencial en todos los estadios a partir de las 20 semanas. Por otro lado, se observó individuos adultos de tamaño de 7.33, 8.78 y 11.89 mm (tabla 1), con un grosor de 3-4 mm, no pudiendo pertenecer a los nuevos

individuos por el grosor presente, superponiéndole que durante el monitoreo se encontró individuos en aparente división (figura 23), lo cual se inclina a una reproducción asexual, no siendo mencionada este tipo de reproducción en las lombrices de tierra (De Haro, 1997), alegándose solo a la fecundación cruzada (Díaz, 2002; Somarriba & Guzmán, 2002); no obstante, Fernández (2012) refiere que cada vez se van descubriendo más especies partenogénicas ya no siendo el hermafroditismo el único mecanismo reproductivo en las lombrices. Pudiéndose ser el caso de la lombriz roja, lo cual tendría que cerciorarse con una investigación más específica y detallada.

#### 4.2.1.2. Relación del crecimiento de los tres tratamientos con el tiempo

Tras el análisis de regresión polinomial se puede deducir que el crecimiento de las lombrices no presenta una relación significativa con el tiempo, teniendo los valores para el sustrato con estiércol de alpaca  $R^2=0.10$ , para el sustrato con estiércol de cuy  $R^2=0.05$ , para el sustrato con estiércol de llama  $R^2=0.02$  (figura 10).



**Figura 10.** Regresión polinomial de segundo grado de las longitudes (mm) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.



Estas bajas relaciones están vinculadas a las observaciones realizadas, de una posible mortandad y una aparente partenogénesis efectuada por la lombriz roja. Por otro lado, en la figura 10b en los tratamientos con estiércol de alpaca y de cuy se puede observar un aumento de las medias en el tiempo hasta el día 75 a partir del cual se presenta una disminución; muy por lo contrario, en el tratamiento con estiércol de llama se observa que en el día 105 la media sigue aumentando. Dando a entender que la adaptación de las lombrices y su crecimiento, mortandad y posible partenogénesis tuvo un comportamiento de forma distinta en cada sustrato, adaptando al parecer mejor en el tratamiento de llama. Como se mencionó para una mayor exactitud de esa información se tendría que hacer un seguimiento más detallado de los individuos.

### **4.3. COMPARAR LA REPRODUCCIÓN (NÚMERO DE INDIVIDUOS Y COCONES) DE LA LOMBRIZ ROJA ENTRE TRES SUSTRATOS ORGÁNICOS (ALPACA, CUY Y LLAMA) Y EN RELACIÓN AL TIEMPO EN CONDICIÓN DE INVERNADERO**

#### **4.3.1. Número de individuos de la lombriz roja**

##### **4.3.1.1. Grupo 1 (juveniles adultos)**

##### **4.3.1.1.1. Comparación del número de individuos de las lombrices entre tratamientos**

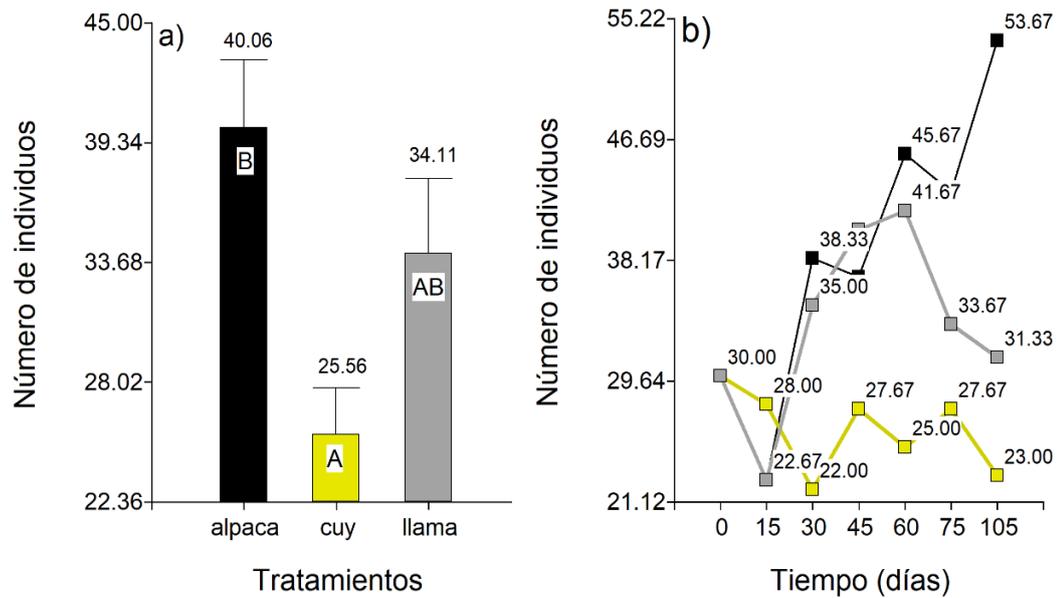
En el tratamiento de alpaca se registró una media de 40.06 individuos, con un rango de 17 - 61 individuos, en el tratamiento de cuy se registró una media de 25.56

individuos, con un rango de 10 - 41 individuos y en el tratamiento de llama se registró una media de 34.11 individuos, con un rango de 17 - 63 individuos (tabla 2).

**Tabla 2.** Resumen estadístico del número de individuos juveniles adultos (grupo 1) de la lombriz roja en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>Var(n-)</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
<b>Alpaca</b>	18	40.06	13.58	184.29	17	61
<b>Cuy</b>	18	25.56	9.33	86.97	10	41
<b>Llama</b>	18	34.11	14.93	223.05	17	63

Tras la aplicación de la prueba estadística no paramétrica Kruskal-Wallis se determina que existe una diferencia significativa ( $P=0.01$ ) en el número de individuos de las lombrices rojas entre los tratamientos, donde el tratamiento de alpaca presenta una diferencia menor respecto al tratamiento de la llama, y una diferencia mayor respecto al cuy, siendo este último el que menor cantidad de individuos se produjo (figura 11a) y tras una distribución de las medias en relación a los días de monitoreo se puede observar que el número de individuos aumentan y disminuyen en los tres tratamientos, llegando al mayor número de individuos los tratamientos de alpaca y de llama respectivamente (figura 11b).



**Figura 11.** Número de individuos de juveniles adultos (grupo 1) de las lombrices rojas en los tratamientos con estercoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo.

Se aprecia que existe un mayor número de individuos juveniles adultos en el tratamiento de alpaca (40.06 lombrices), seguido por el tratamiento de llama (34.11 lombrices) y finalmente en el tratamiento de cuy (25.56 lombrices), presentándose esta menor densidad en el tratamiento del cuy debido al mayor porcentaje de nitrógeno que presenta (Campoverde et al., 2020) y la asociación inversa de la mayor densidad en sustratos menos enriquecidos (Jaramillo, 2020). Resultados similares menciona Cruz (2019), donde el sustrato de alpaca (21 - 27 lombrices) y ovino (19 - 25 lombrices) demostraron mayor cantidad de lombrices adultas en relación al sustrato vacuno (16 - 18 lombrices) y cuy (16 - 18 lombrices) a los 45 y 90 días, de igual manera Loh et al. (2005) indican que el sustrato de cabra con mayor concentración de C, P y K tuvo un menor desempeño reproductivo respecto al estiércol de vaca. Esta inversión al parecer también está relacionada con la biomasa de los individuos debido a que éstos pueden ser mayores



por la cantidad de nutrientes, pero no necesariamente se puede generar mayor cantidad de individuos, a lo que Durán & Henríquez (2009) mencionan que en los tratamientos donde se encontró el menor peso promedio, es donde mayor cantidad de individuos y capsulas hubo (estiércol de vaca, ornamental y broza) existiendo una relación inversa con el doméstico y banano.

Respaldando a lo mencionado, Castañeda et al. (2019) indican que encontraron una mayor densidad de lombrices en el sustrato bovino (100%), a diferencia del sustrato mesclado de bovino (33.33%), gallina (33.33%) y cuy (33.33%), con datos aun menores en el sustrato de cuy (100%), Campoverde et al. (2020) mencionan que registraron una mayor cantidad de lombrices en el sustrato de cascara de papa (625 lombrices) a diferencia del sustrato mixto 50% de cáscara de papa y 50% de estiércol de cuy (189 lombrices) y del sustrato estiércol de cuy (101 lombrices). Con otros sustratos Siddique et al. (2005) refieren una mayor densidad en el estiércol de vaca en relación al sustrato de cabra, indicando que hubo una mortandad de este último en la décima semana.

Respecto a la frecuencia de medias en relación al tiempo, se puede observar un aumento y una disminución de los individuos de las lombrices, al igual que en el objetivo anterior estaría relacionado con la mortandad de los individuos de las primeras generaciones, donde su tiempo de vida es menor debido a su adaptación al sustrato, esto también se vería reflejado en el bajo aumento de individuos de este grupo entre los días de monitoreo; es decir, el número de individuos estaría siendo reemplazado por las nuevas generaciones, debido a que las anteriores ya murieron, lo cual también se relaciona con las medias de los crecimientos que se ven disminuidos en el tiempo, ya que los nuevos individuos tienen un menor porte.

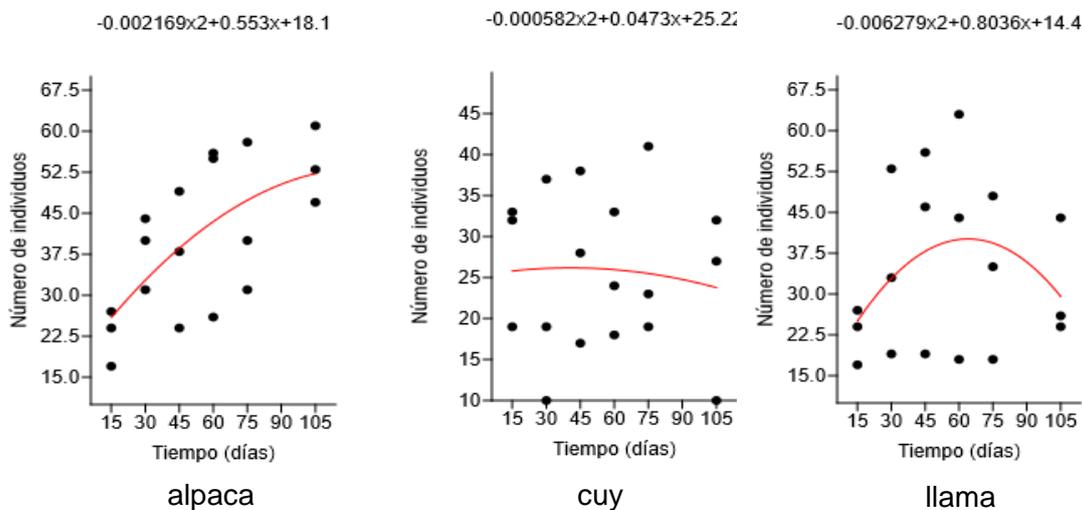


Por otro lado, Campoverde et al. (2020) explican que tras las eclosiones la densidad poblacional aumenta junto con la demanda de alimento y espacio, razón por la cual las lombrices adultas se dispersan y esto causa dificultad para el encuentro y apareamiento de dos lombrices sexualmente activos, ocasionando temporalmente un descenso poblacional, lo cual estaría relacionado con el descenso que se observa a los 75 días en los tratamientos de llama y cuy, donde parte del alimento ya ha sido procesado, generando la búsqueda de alimento la dispersión de los individuos. Otro aspecto es la cantidad de individuos inoculados en las celdas de 30x30x30 cm, esto al parecer hizo que el encuentro entre los individuos para su reproducción fuera dificultoso. En otras investigaciones, como el de Acosta-Durán et al. (2013) inocularon 1000 lombrices en un lecho de 150x150x37 cm, Acosta-Durán et al. (2013) colocaron 185 lombrices en cajas de madera de 50x30x25 cm, obteniendo mayores valores. Cabe resaltar también que en la investigación en este grupo solo se está evaluando los juveniles adultos y no los nuevos juveniles.

Por otra parte, las lombrices juveniles adultas presentan una mayor adaptabilidad a los tratamientos de llama y alpaca del día 30 al día 60, manteniéndose este aumento de individuos en el tratamiento de alpaca y ya descendiendo el número de individuos en el tratamiento de la llama, por lo contrario, los individuos del tratamiento de cuy van manteniendo sus valores máximos en relación al tiempo para luego disminuir en el día 105. En otros sustratos Martínez et al. (2018), refieren que en los tratamientos de bovinaza, ovinaza., equinaza y conejaza el número de individuos adultos siguieron aumentando hasta el día 120, no mencionando descensos en sus poblaciones.

#### 4.3.1.1.2. Relación del número de individuos de los tres tratamientos con el tiempo

Tras el análisis de regresión polinomial de segundo grado se puede deducir que el número de lombrices de individuos juveniles adultos presenta una relación con el tiempo distinta en cada tratamiento, teniendo los valores para el tratamiento de alpaca de  $R^2=0.43$ , para el sustrato con estiércol de cuy  $R^2=0.01$ , para el sustrato con estiércol de llama  $R^2=0.01$  (figura 12).



**Figura 12.** Regresión polinomial de segundo grado del número de individuos juveniles adultos (grupo 1) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en relación al tiempo en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

En este caso solo el tratamiento con estiércol de alpaca presenta un grado de relación ( $R^2=0.43$ ) considerable, a diferencia de los otros tratamientos, dando a entender una mayor adaptabilidad de los individuos de las lombrices rojas en el tratamiento de alpaca, permaneciendo este aumento en el tiempo, a diferencia de los otros tratamientos, donde presentan comportamientos distintos.

#### 4.3.1.2. Grupo 2 (juveniles nuevos)

##### 4.3.1.2.1. Comparación del número de individuos de las lombrices entre tratamientos

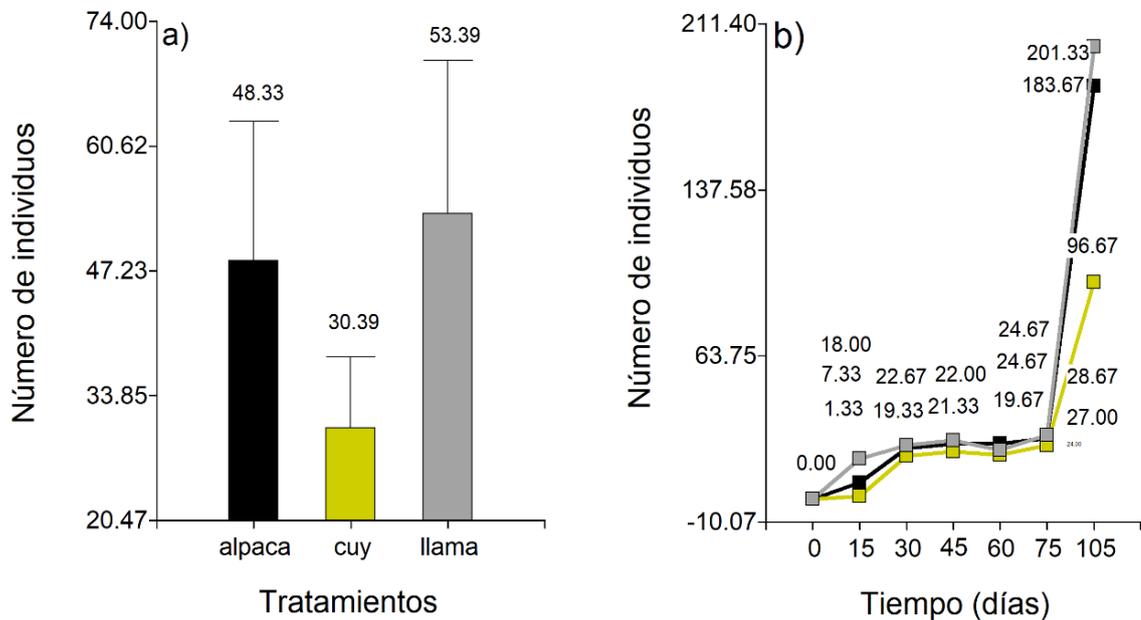
En el tratamiento de alpaca se registró una media de 48.33 individuos, con un rango de 3 - 203 individuos, en el tratamiento de cuy se registró una media de 30.39 individuos, con un rango de 0 - 108 individuos y en el tratamiento de llama se registró una media de 53.39 individuos, con un rango de 5 - 240 individuos (tabla 3).

**Tabla 3.** Resumen estadístico del número de individuos de juveniles nuevos (grupo 2) de la lombriz roja en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

Tratamiento	N	Media	D.E.	Var(n-)	Mín.	Máx.
Alpaca	18	48.33	63.35	4013.53	3	203
Cuy	18	30.39	32.13	1032.02	0	108
Llama	18	53.39	69.52	4832.60	5	240

Tras la aplicación de la prueba estadística no paramétrica Kruskal-Wallis se determina que no existe una diferencia significativa ( $P=0.31$ ) en el número de individuos del grupo 2 de las lombrices rojas entre los tratamientos. Pero si existe una diferencia numérica, donde el tratamiento de llama presenta mayor número de individuos, seguido por el tratamiento de alpaca, y finalmente por el tratamiento del cuy (figura 13a) y tras una distribución de las medias en relación a los días de monitoreo se puede observar que el número de individuos aumentan y disminuyen en los tres tratamientos, llegando al

mayor número de individuos los tratamientos de alpaca y de llama respectivamente (figura 13b).



**Figura 13.** Número de individuos del grupo 2 de los individuos en los tratamientos con estercoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo.

Se puede observar que, si existe una diferencia numérica en las medias del número de nuevos juveniles, siendo mayores en el tratamiento de llama (53.39), y el tratamiento de alpaca (48.33) en relación al del cuy (30.39), resultados similares reporta Cruz (2019) donde el mayor número de juveniles de lombrices rojas se dio en el sustrato de alpaca (164 lombrices) y ovino (122 lombrices) a diferencia del cuy (110 lombrices) y vacuno (22 lombrices) con una inoculación de 600 lombrices.

A diferencia de los individuos del primer grupo se puede observar un crecimiento ascendente en el número de los nuevos individuos producidos en los tres tratamientos,



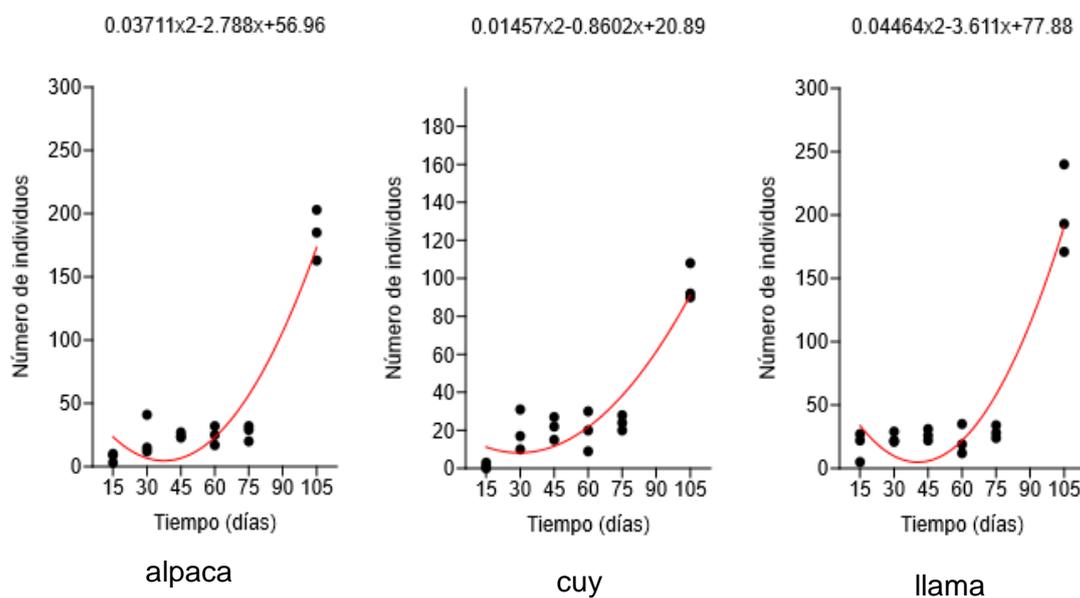
debido al inicio de las etapas de eclosión (Campoverde et al., 2020), evidenciándose la presencia de nuevos individuos en el primer monitoreo (día 15), concertando con Toccalino et al. (2004) que indica que en el estiércol bovino produjo altos valores en crías a los 14 y 21 días, y dándose una presencia en un tiempo menor que el mencionado por Cruz (2019) que refiere que a los 45 días no presencié nuevos juveniles, registrando sus datos a los 90 días.

Por otro lado, tras el aumento exponencial del número de individuos del día 75 al día 105 se observa que la producción y sobrevivencia de los nuevos individuos no solo se ven condicionados por el tipo de sustrato (Toccalino et al., 2004) y sus parámetros físicos (Canales et al., 2020) como la temperatura y humedad (Limachi, 2018), sino también por la densidad de inoculación (Cruz et al., 2021) y el manipuleo que se hace de los sustratos. Así mismo, tendría que estar relacionado con la mejor adaptabilidad presentada por las nuevas generaciones, Martínez et al. (2018) refiere que los tratamientos de bobinaza, ovinaza, equinaza y conejaza ascendieron para el día 90, de los cuales la equinaza y conejaza continuaron hasta el día 120.

Por otra parte al igual que lo mencionado por Martínez et al. (2018) esta adaptabilidad se presenta de diferente forma en cada sustrato como se evidencia en la figura 3b, donde los tratamientos de llama y alpaca presentan una mayor cantidad de individuos en referencia al tratamiento del cuy, que observando los individuos juveniles adultos del primer grupo, este último tratamiento empieza a descender. Respecto a esto también sería muy importante conocer el éxito de eclosión de los cocones, por ejemplo Toccalino et al. (2004) menciona que en el estiércol bobino produjo los cocones más prolíficos, reflejado en mayores cantidades de crías, teniendo en cuenta que éstas pueden ser entre 4 - 20 por cocón.

#### 4.3.1.2.2. Relación del número de individuos de los tres tratamientos con el tiempo

Tras el análisis de regresión polinomial de segundo grado se puede deducir que el número de lombrices de individuos juveniles adultos presenta una relación con el tiempo distinta en cada tratamiento, teniendo los valores para el tratamiento de alpaca de  $R^2=0.64$ , para el sustrato con estiércol de cuy  $R^2=0.71$ , para el sustrato con estiércol de llama  $R^2=0.58$  (figura 14).



**Figura 14.** Regresión polinomial de segundo grado del número de individuos de juveniles nuevos (grupo 2) de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en relación al tiempo en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

Se presenta menores relaciones en los tratamientos de alpaca y llama, debido al efecto que generó la no perturbación del sustrato (la manipulación hecha en los monitoreos) por 30 días (del día 75 al 105), observándose un incremento mayor en el tratamiento de llama y alpaca en la figura 11b, dando a entender que gran parte del 36% y 42% respectivamente, el número de individuos nuevos juveniles dependió de la

perturbación de los monitoreos, sumado a los parámetros físicos del ambiente y del comportamiento fisiológicos de la lombriz roja, entre otros, con un efecto menor en el tratamiento del cuy (29%), el cual presenta una mayor relación (71%) del número de individuos nuevos juveniles en relación al transcurso al tiempo, a diferencia de los otros.

#### 4.3.2. Número de cocones de la lombriz roja

##### 4.3.2.1. Contraste del número de cocones de las lombrices entre tratamientos

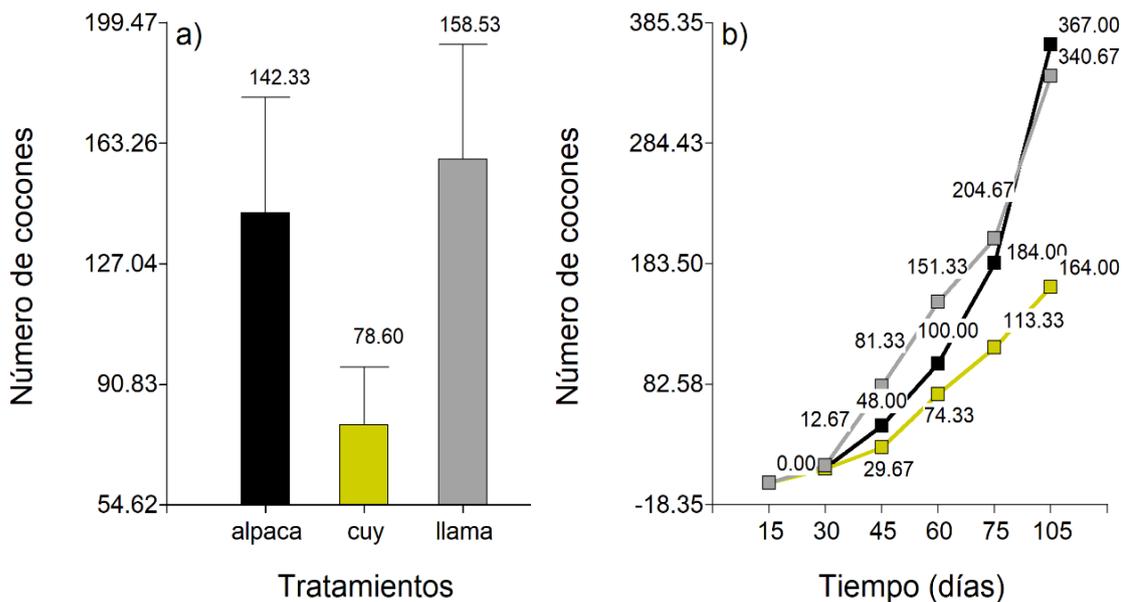
En el tratamiento de alpaca se registró una media de 142.33 unidades de cocones, con un rango de 11 - 438 cocones, en el tratamiento de cuy se registró una media de 78.60 unidades de cocones, con un rango de 4 - 249 cocones y en el tratamiento de llama se registró una media de 158.53 unidades de cocones, con un rango de 13 - 444 cocones (tabla 4).

**Tabla 4.** Resumen estadístico del número de cocones de la lombriz roja en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

Tratamiento	N	Media	D.E.	Var(n-)	Mín.	Máx.
Alpaca	15	142.33	134.40	18062.24	11	438
Cuy	15	78.60	67.38	4540.40	4	249
Llama	15	158.53	133.05	17702.55	13	444

Tras la aplicación de la prueba estadística no paramétrica Kruskal-Wallis se determina que no existe una diferencia significativa ( $P=0.24$ ) en el número de cocones entre los tratamientos. Pero si existe una diferencia numérica, donde el tratamiento de

llama presenta mayor número de cocones, seguido por el tratamiento de alpaca, y finalmente por el tratamiento del cuy (figura 15a) y tras una distribución de las medias en relación a los días de monitoreo se puede observar que el número de cocones ascienden en los tres tratamientos, llegando al mayor número de individuos los tratamientos de alpaca y de llama respectivamente (figura 15b).



**Figura 15.** Número de cocones de las lombrices rojas en los tratamientos con estiercoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m. a) medias de toda la experimentación. b) distribución de medias por días de monitoreo

Se aprecia que existe un mayor número de cocones en el tratamiento de llama (158.53 cocones), seguido por el tratamiento de alpaca (142.33 cocones) y finalmente en el tratamiento de cuy (78.60 cocones), similares resultados reporta Cruz (2019) donde los sustrato de alpaca (195) y ovino (117) demostraron mayor cantidad de cocones a diferencia del sustrato de cuy y bovino. Deduciéndose un comportamiento similar a la producción de nuevos individuos, respecto a la relación cruzada con la cantidad de



nutrientes, a lo que Loh et al. (2005) indican que la producción de cocones fue mayor en el estiércol de vaca a diferencia del estiércol de cabra, siendo significativo ( $p < 0.05$ ) a partir de la quinta semana.

Por otro lado el número de cocones producidos en el tratamiento de llama (151.33 cocones) y alpaca (100) fueron mayores a lo calculado por Canales-Gutiérrez et al. (2021), con la aplicación de estiércol de alpaca y otros compuestos orgánicos (90 cocones), por otro lado según Campoverde et al. (2020) a los 70 días, las lombrices ya estarían cumpliendo su ciclo reproductivo, a lo que habrían más especies maduras sexualmente a partir del día 75, por lo cual se estaría observando un aumento más pronunciado en la figura 15b.

Al igual que el número de nuevos individuos se puede apreciar un aumento ascendente de los cocones en relación al tiempo, pudiéndose afirmar que la aplicación de estiércoles es más efectiva para la reproducción (número de cocones e individuos nuevos) de la lombriz roja que para su crecimiento; algo similar mencionan Siddique et al. (2005) donde el número de cocones fue mayor en el sustrato de hojas secas, sin embargo el número de eclosiones fue mayor en el estiércol de vaca, por otro lado Toccalino et al. (2004) indican que el mayor número de cocones se produjo en el estiércol bobino, a diferencia de los restos de comida y de algodón. Mejores resultados da a conocer Hernández et al. (2002) con una combinación de los residuos de origen animal y agroindustriales generando buenos resultados, ya que tuvo mayor producción de cocones en la mezcla con 40% de cascara de palma aceitera 60% de estiércol bobino.

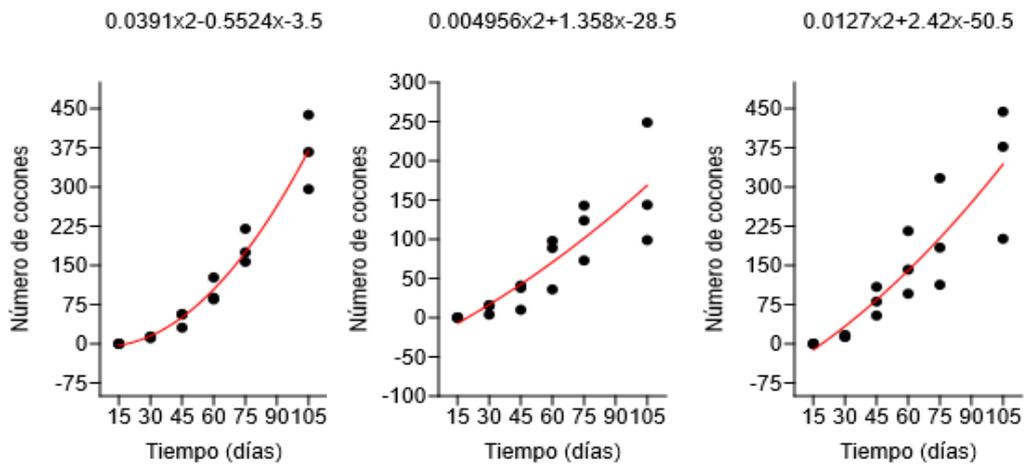
Respecto a la generación de cocones en el tiempo, el número de cocones hallados en los tres tratamientos del día 15 al día 30 (12.67), fueron similares a lo reportado por



Martínez et al. (2018) que indican con la aplicación de diferentes estiércoles de origen animal una media entre 5.1 y 5.5 por lombriz semanalmente, quienes al mismo tiempo refieren haber encontrado mayor cantidad de cocones en relación a otras investigaciones con otros sustratos, indicando también que esto pudo haberse obedecido al efecto de la temperatura ambiente (27 °C) a lo que Toccalino et al. (2004) refieren que un aumento de temperatura puede influir en la producción de cocones positivamente, pero que si ésta sobrepasa los 30 °C la producción llega a ser nula (Pineda, 2006).

#### **4.2.2.1.2. Relación del número de cocones de los tres tratamientos con el tiempo**

Tras el análisis de regresión polinomial de segundo grado se puede deducir que el número de cocones de la lombriz roja presenta una relación con el tiempo distinta en cada tratamiento, teniendo los valores para el tratamiento de alpaca de  $R^2=0.95$ , para el sustrato con estiércol de cuy  $R^2=0.73$ , para el sustrato con estiércol de llama  $R^2=0.75$  (figura 16).



**Figura 16.** Regresión polinomial de segundo grado del número de cocones de las lombrices rojas en los tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en relación al tiempo en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

El mayor grado de relación presente en el tratamiento de alpaca, da a entender que existe una mayor relación (95%) de este tratamiento con el tiempo, por ende, una mayor adaptación de los individuos de la lombriz roja para producir cocones. Por otro lado, se presenta menores relaciones en los tratamientos de llama y cuy, teniendo un efecto de 75 y 73% respectivamente en la generación de cocones, dichas relaciones son considerables. Influyendo para estos dos tratamientos de una forma mayor a diferencia del primero otros factores como la sinergia del comportamiento de la lombriz en relación al tipo de alimentación, entre otros. Así mismo, el grado de relación encontrado en el tratamiento de alpaca es mayor a lo mencionado por Canales-Gutiérrez et al. (2021) combinando el estiércol de alpaca con otros residuos orgánicos determinó un  $R^2=0.76$ , sintetizando esto que la sinergia de los otros componentes con el tipo de estiércol también influye en el grado de relación.



## V. CONCLUSIONES

- La lombriz roja presentó mayores longitudes en el tratamiento con estiércol de llama (47.78 mm) y de alpaca (46.61 mm) con diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en relación al tratamiento de estiércol de cuy (42.00 mm), por otro lado, el contraste de las longitudes en los tres tratamientos fue bajos, no influyendo la composición de los tratamientos en el crecimiento de las lombrices a través del tiempo. Siendo un mejor tratamiento para el crecimiento de la lombriz el tratamiento con estiércol de alpaca, seguido por el tratamiento con estiércol de llama.
- El número de individuos juveniles adultos fue mayor en el tratamiento con estiércol de alpaca (40.06 ind) y llama (34.11 ind) y solo el tratamiento con estiércol de alpaca presentó una relación positiva ( $R^2=0.43$ ) no tan significativa con el tiempo. Por otro lado, el número de los individuos juveniles nuevos fue mayor en el tratamiento con estiércol de llama (53.39 ind), seguido por el tratamiento con estiércol de alpaca (48.33 ind) y, por lo contrario, el tratamiento que mostró mejor relación con el tiempo fue el del cuy ( $R^2=0.75$ ). En cuanto al número de cocones se produjo mayor en el tratamiento con estiércol de llama (158.53 uds) y alpaca (142.33 uds), teniendo este último una mayor relación positiva ( $R^2=0.95$ ) en el tiempo seguido por los otros tratamientos que también presentan relaciones positivas. Siendo también un mejor tratamiento para la reproducción de la lombriz (número de individuos y producción de cocones) el tratamiento con estiércol de alpaca, al tener mejores resultados, seguido por el estiércol de llama.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los productores, y a la población del altiplano, que se dedica a la crianza de camélidos como es la llama y la alpaca, y otros animales, puedan darles uso a estos residuos de origen animal en la producción de lombrices rojas, para sus diferentes aplicaciones, debido a que su proceso de producción es sencillo y genera beneficios a una persona común, un productor o a una empresa que desea reutilizar estos sustratos orgánicos de origen animal, junto a residuos orgánicos de orígenes distintos, obteniendo beneficios no solo económicos, sino contribuyendo también a la disminución de los contaminantes ambientales.
- En base a los resultados, para la crianza y producción de la lombriz roja para sus diferentes fines se recomienda el uso de los estiércoles de alpaca y llama junto, sugiriendo la combinación con los otros componentes usados en la investigación ya que una sinergia de estos genera mejores resultados. Respecto a la producción de lombricomposta se recomienda utilizar el estiércol de cuy que posee una mayor concentración de macronutrientes.
- De acuerdo con lo observado, también se sugiere a los investigadores tanto de pre grado como post grado realicen investigaciones como el éxito reproductivo de la lombriz roja estudiando la cantidad de cocones eclosionados en relación a la supervivencia de nuevos individuos. Finalmente, para un mayor entendimiento sobre el crecimiento de la lombriz roja, se sugiere un estudio detallado y específico de esta especie, donde se haga un seguimiento a cada individuo, aplicando las deducciones hechas en esta investigación.



## VII. REFERENCIAS

- Acosta-Durán, C. M., Solís-Pérez, O., Villegas-Torres, O. G., & Cardoso-Vigueros, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 127–139. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v37n1/a10v37n1.pdf>
- Ayanka, M. A., Megharaj, M., Naidu, R. & Stojanovski, E. (2018). Chronic and reproductive toxicity of cadmium, zinc, and lead in binary and tertiary mixtures to the earthworm (*Eisenia foetida*). *Journal of Soils and Sediments*, 18, 1602–1609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11368-017-1877-z>
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Braga, F. M., Cardoso, P. H. S., Barbosa, M. H. C., Rodrigues, M. N., Sampaio, R. A., & Fernandes, L. A. (2017). Chemical characterization of vermicompost of sewage sludge with different proportions of diatomaceous material. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(8), 519–523. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V21N8P519-523>
- Cáceres, D. K., Calisaya, G. M. y Bedoya, V. (2018). Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Ciencia y Tecnología*, 4, 13-23- <http://dx.doi.org/10.37260/rctd.v4i0.115>
- Cajas, S. (2009). Efecto de la utilización de aserrín en combinación con efecto de la utilización de aserrín en combinación con estiércol bovino como sustrato en la producción de humus de lombriz *Eisenia foetida* (LOM [Escuela Superior



Politecnica de Chimborazo]. In *Tesis de grado*.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2397/1/17T1013.pdf>

Calderón, J. M., Ayala, H., Franco, F., & Castro-Mojica, M. (2021). Evaluación de tres sustratos sobre el desempeño productivo y reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Revista Colombiana de Zootecnia*, 7(12), 18–23.

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JAP-04-2021-0014/full/html>

Campoverde, D. K., Velasco, L. A., & Acurio, W. D. (2020). Aplicación de sustratos orgánicos en la cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la producción de alimento animal. *Conciencia Digital*, 3(3.1), 22–35.

<https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1354/3336>

Canales-Gutiérrez, Á., Mestas-Gutierrez, N. I., & Chambi-Alarcon, M. S. (2021). Crecimiento y producción de cocones de la *Eisenia foetida* (lombriz roja) en cuatro sustratos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(5), 1–6.

<https://doi.org/10.15381/rivep.v32i5.19843>

Canales, A., Solís, B. J., Panca, R., & Quispe, B. (2020). Crianza de *Eisenia foetida* (lombriz roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico. *Ecología Aplicada*,

19(2). <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1559>

Castañeda, V. M., Guivin, A. L., & Cuzco, E. (2019). Evaluación de diferentes sustratos en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a efectos de mejorar su producción. *Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable*, 3(2), 57–62.

<https://doi.org/10.25127/aps.20192.490>

Chávez, Á., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 90–107.



<https://doi.org/10.18359/ravi.2004>

Cruz, M. (2019). *Efecto de la fuente alimentaria y densidad de inoculación en la biología y producción de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) en el distrito de San Jerónimo-Cusco*. Universidad José Carlos Mariátegui.

<http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/723>

Cruz, M., Calisaya, G., Martillo, J. J., & Bedoya-Justo, E. (2021). Food source and inoculation density in the rearing of earthworms (*Eisenia foetida*) in Cuzco, Peru. *Annals of R.S.C.B*, 25(4), 16300–16306.

<https://www.annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/5371/4237>

De Haro, A. (1997). *Atlas Temático: Zoología Invertebrados*. Idea Books, S.A. 92 p.

Díaz, E. (2002). Lombricultura. Una alternativa de producción. In *Adex*.

<http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

Domínguez, J., & Gómez-Brandón, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 26(2), 309–320.

<https://doi.org/10.21829/azm.2010.262896>

Durán, L., & Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275–281.

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6726>

Fernández, R. M. (2012). *Aporrectodea trapezoide (dugès, 1828) (Oligochaeta, Lumbricidae): filogeografía, filogenia y biología reproductiva*. Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/15960/>

Ferruzzi, C. (1986). *Manual de lombricultura*. Madrid. Versión española. Ediciones Mundi-prensa. p. 83.



- Galindo-Guzmán, M., Flores-Loyola, E., Gallegos-Robles, M. Á., Fortis-Hernández, M., Figueroa-Viramontes, U., y Vázquez-Vázquez, C. (2019). Acetilcolinesterasa de *Eisenia foetida* como indicador de contaminación por plaguicidas organofosforados. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(1), 115–124. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.08>
- Gaston, J., Martinez, M. M., & Cordón Suárez, E. (2008). Evaluación de la eficacia de cuatro dietas alimenticias sobre el crecimiento, desarrollo y producción de abono de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). *Recursos Naturales y Medio Ambiente.*, 2, 67–81. <https://revistas.csuca.org/Record/RCI573>
- Grassé, P., Poisson, R., & Tuzet, O. (1985). Tomo I: invertebrados. In S. A. Masson (Ed.), *zoología de invertebrados*.
- Hernández, J. A., Contreras, C., Palma, R., & Pietrosevoli, J. S. S. (2002). Efecto de los restos de la palma aceitera sobre el desarrollo y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia spp*). *Rev. Fac. Agron. (LUZ).*, 1–7. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26431>
- Hleap-Zapata, J. I., González-Ochoa, J. M., & Mora-Bonilla, M. F. (2017). Análisis sensorial de salchichas de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con adición de harina de lombriz (*Eisenia foetida*). *Orinoquia*, 21(1), 15. <https://doi.org/10.22579/20112629.390>
- Jamienson (2006. ) *Biología Reproductiva y Filogenia de Annelida*. Vol. 4. Ed. Rouse, G., Pleijel. F., Science Publishers., Enfield., & New Hampshire. EE. UU. Jersey, Plymouth, Reino Unido ISBN 1-57808-313-3. 2006.
- Jaramillo, R. A. (2020). *Incidencia de cuatro sustratos sobre la reproducción de Eisenia foetida en un módulo de lombricultura urbano, provincia del Guayas*. Universidad



Católica de Santiago de Guayaquil.

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14679>

- Jayakumar, M., Sivakami, T., Ambika, D., & Karmegam, N. (2011). Effect of Turkey litter (*Meleagris gallopavo* L.) vermicompost on growth and yield characteristics of paddy, *oryza sativa* (ADT-37). *African Journal of Biotechnology*, 10(68), 15295–15304. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2253>
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (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>
- Limachi, E. (2018). Efecto de tres dosis de sustratos en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) con estiércol bovino y aserrín descompuesto en Sapecho, Alto Beni. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica*, 4(2), 1328–1138. [http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/apt/v4n2/v4n2\\_a09.pdf](http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/apt/v4n2/v4n2_a09.pdf)
- Loh, T. C., Lee, Y. C., Liang, J. B., & Tan, D. (2005). Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*, 96(1), 111–114. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.03.001>
- López-Méndez, C., Ruelas-Ayala, R. D., Sañudo-Torres, R. R., Armenta-Lopez, C., & Félix-Herrán, J. A. (2013). Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 7(2), 81–87. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/662/707>
- López, F. (1994). Degradación del suelo ¿fatalidad climática o mala gestión humana? hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterráneo. *Papeles de*



*Geografía*, 20, 49–64. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/44371>

- López, S., Serrato, R., Castelán, O. A., & Avilés, F. (2018). Comparación entre dos métodos de ventilación en la composición química de compost de estiércoles pecuarios. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(2), 263–271. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.07>
- Mamani-Mamani, G., Mamani-Pati, F., Sainz-Mendoza, H., & Villca-Huanaco, R. (2012). Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia spp.*) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 3(1), 44–54. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2012.030100044>
- Martínez, C. (2000). Lombricultura. Secretaría de agricultura, desarrollo rural, pesca y alimentación. Ed. Texcoco. 11va edición. Mexico. 68 pp.
- Martínez, C., Maza, L., Arroyo, M., Meza, M., Castro, J., & Vergara, O. (2018). Evaluación reproductiva de la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* alimentada con diferentes sustratos en el trópico bajo colombiano. *Lrrd*, 1–8. <http://www.lrrd.org/lrrd30/2/over30036.html>
- Monje, C. A. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. In *Universidad Surcolombiana*. <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Monel, V. (2013). Residuos orgánicos. *Clean Up the World*. [https://www.mendeley.com/search/?dgcid=md\\_homepage&query=residuos%20orgánicos](https://www.mendeley.com/search/?dgcid=md_homepage&query=residuos%20orgánicos)
- Morales, J. C., Fernández, M. V., Montiel, A., & Peralta, B. C. (2009). Evaluación de



- sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOTecnia*, 11(1), 19-26.  
<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/49/45>
- Moreno-Reséndez, A., & Cano-Ríos, P. (2002). Tasa reproductiva de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en diferentes sustratos orgánicos. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas.*, 3(1), 41–46. <https://1library.co/document/q5mgx9ng-tasa-reproductiva-lombriz-eisenia-foetida-diferentes-sustratos-org%C3%A1nicos.html>
- Muñoz-Pedrerros, A., Ruiz, E., Poblete, C., & Santelices, M. (1997). Aspectos de la biología reproductiva de lumbrícidos silvestres (Oligochaeta: Lumbricidae) en el sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70, 101–108.  
[http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1997/1/Mu%C3%B1oz-Pedrerros\\_et\\_al\\_1997.pdf](http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1997/1/Mu%C3%B1oz-Pedrerros_et_al_1997.pdf)
- Obando, R. (2008). Lombricultura alternativa para el manejo racional de los desechos del banano. Dirección de protección ambiental. Editorial Corbana, San José, Costa Rica. 17-19 p
- Orsag, V. (2009). Degradación de Suelos en el Altiplano Boliviano - Causas y medidas de mitigación. *ANALISIS - Instituto Boliviano de Economía y Política Agraria*, 1(3), 27–30. <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/ra/v1n3/v1n3a06.pdf>
- Paco, G., Loza-Murguía, M., Mamani, F., & Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 1(2), 24–39.  
<http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v2n2/a04.pdf>
- Pineda, J. A. (2006). *Lombricultura*.



- Reines, M., Loza, J. A., & Contreras, S. H. (2004). Lombricultura una biotecnología para la sostenibilidad. Editado por la Fundación Produce Jalisco A.C. y la Universidad de Guadalajara. 60 pp.
- Restrepo, A., Simón, J. I., Ibarra, A., & Castro, B. (2007). Memoria del II Taller Internacional de Agricultura orgánica. Eco-Agro un paso más, Guamúchil, Sinaloa, México. 121 pp
- Rivera-Arrendondo, M., Calderon-Ruiz, A., Felix-Morales, V. de J., Vargas-Espinoza, E., & Gaytan-Ruelas, M. (2018). Producción in vitro de cocones de la especie *Eisenia foetida* en diferentes sustratos. *Revista de Sistemas Experimentales*, 5(14), 7–11.  
[https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas\\_Experimentales/vol5num14/Revista\\_de\\_Sistemas\\_Experimentales\\_V5\\_N14\\_2.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol5num14/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V5_N14_2.pdf)
- Rodríguez, F. d. J., Mata, D. de L., Quiñones, F. L., Madrid del Palacio, M., Montoya, T., Ordaz, L., & Tovalín, E. (2018). Supervivencia de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en suelo contaminado con concentraciones de hidrocarburo. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9(21), 1425–1433.
- Sahariah, B., Goswami, L., Kim, K., Bhattacharyya, P. y Bhattacharyya, S. S. (2015). Metal remediation and biodegradation potential of earthworm species on municipal solid waste: A parallel analysis between *Metaphire posthuma* and *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 180, 230–236.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.062>
- Schuldt, M., Rumi, A., Gutiérrez, D. E., Schuldt, M., Rumi, A., & Gutiérrez Gregoric, D. E. (2005). Determinación de “edades” (clases) en poblaciones de *Eisenia foetida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobológicas. *Revista del Museo de*



- La Plata. Seccion Zoología, 17(170), 1–10.*  
[https://www.fcnym.unlp.edu.ar/uploads/docs/rmlp\\_zoo\\_2005\\_t17\\_n170.pdf](https://www.fcnym.unlp.edu.ar/uploads/docs/rmlp_zoo_2005_t17_n170.pdf)
- Siddique, J., Khan, A. A., Hussain, I., & Akhter, S. (2005). Growth and reproduction of earthworm (*Eisenia foetida*) in different organic media. *Pakistan Journal of Zoology*, 37(3), 211–214. <https://www.zsp.com.pk/pdf37/PJZ-24504%209.pdf>
- Singh, S., Bhat, S. A., Singh, J., Kaur, R., & Vig, A. P. (2016). Vermistabilization of thermal power plant fly ash using *Eisenia foetida*. *Journal of Industrial Pollution Control*, 32(2), 554–561. <https://www.ijpcbs.com/articles/vermistabilization-of-fly-ash-amended-withpressmud-by-employing-eisenia-foetida.pdf>
- Somarriba, R. J., & Guzmán, F. (2002). Guía de lombricultura. In R. Blandino & V. Aguilar (Eds.) *Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de La Rioja* (Issue 4). Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>
- Somarriba, R., & Guzmán, G. (2004). *Análisis de la influencia de la cachaza de caña y estiércol bovino como sustrato de la lombriz roja californiana para producción de humus*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/775/>
- Swiderska, B., Kedracka-Krok, S., Panz, T., Morgan, A. J. Falniowsky, A., Grzmil, P., y Plytycz, B. (2017). Lysenin family proteins in earthworm coelomocytes - comparative approach. *Developmental & Comparative approach*, 67, 404-412. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2016.08.011>
- Terán, A. O. (2017). *Producción de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos*. Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3310>

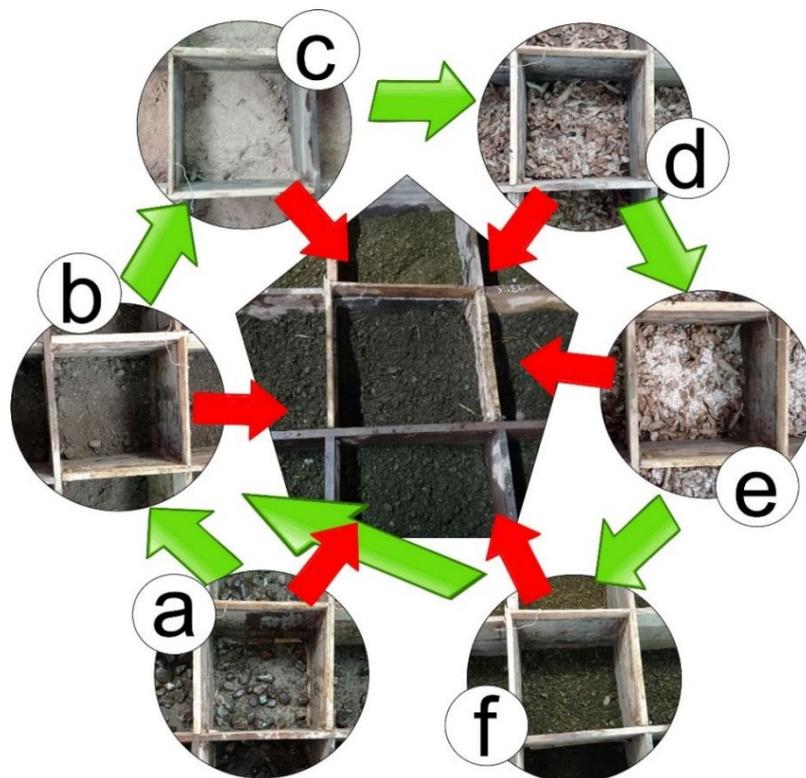


- Toccalino, P. A., Agüero, M. C., Serebrinsky, C. A., & Roux, J. P. (2004). Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) según estación del año y tipo de alimentación. *Rev. Vet*, 15(2), 65–69. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/download/2002/1749>
- Villegas-Cornelio, V. M., & Laines, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 393–406. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59>
- Yepes, L. F. & Flores, V. J. (2013). Analysis of the electric conductivity and ph behaviors in recycled drainage solution of rose cv. charlotte plants grown in substrate. *Agron. Comomb*, 31, 352-361. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/40500>
- Zapata, I. C., Martínez, L., Posada, E., González, M. E., & Saldarriaga, J. F. (2017). Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(1), 77–90. <https://doi.org/DOI:> <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1911>

## ANEXOS



**Figura 17.** Estiercoles de alpaca, cuy y llama aplicados como tratamientos en la investigación.



**Figura 18.** Ilustración de las celdas e insumos utilizados en los tratamientos. a) rocas, b) tierra, c) aserrin, d) cascara de papa, e) cáscara de huevo y f) estiercol. Estos insumos fueron colocados en tres capas.



**Figura 19.** Ilustración de las mediciones realizadas de la longitud, número de individuos y cocones de la lombriz roja en la investigación.



**Figura 20.** Individuos de las lombrices del grupo 1 (juveniles y adultos) y del grupo 2 (juveniles nuevos),



**Figura 21.** Fotografía midiendo la longitud (mm) de las lombrices rojas en el invernadero de la Sub Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano.



**Figura 22.** Fotografías de individuos de la lombriz roja realizando la reproducción inversa.



**Figura 23.** Fotografías de aparente partenogénesis realizadas por la lombriz roja

**Tabla 5.** Base de datos de las longitudes (mm) de las lombrices rojas, en los tres tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

T1: Alpaca						T2: Cuy						T3: Llama					
Tiempo (días)						Tiempo (días)						Tiempo (días)					
15	30	45	60	75	105	15	30	45	60	75	105	15	30	45	60	75	105
50.4	62.0	68.6	68.8	65.5	65.4	51.0	56.0	60.7	66.5	62.8	69.3	88.4	52.2	66.5	57.3	57.8	72.3
51.2	61.3	60.7	77.8	88.6	51.5	51.8	55.1	74.0	62.0	57.5	78.4	64.6	65.0	53.6	61.8	51.2	70.8
50.8	51.1	50.8	55.5	63.7	52.6	69.9	66.4	51.6	52.4	63.6	69.8	51.7	58.9	62.0	65.8	51.5	54.6
23.3	61.5	50.8	59.4	63.6	50.9	56.1	51.4	62.6	57.9	60.9	65.9	52.4	57.5	59.6	50.1	64.1	60.5
48.3	67.1	54.7	65.6	65.5	52.3	54.3	58.8	61.7	53.5	68.8	61.3	57.8	55.1	59.6	57.7	70.3	62.3
31.6	56.0	68.8	53.5	72.8	61.6	52.0	63.1	80.6	52.5	52.7	50.2	53.9	64.7	68.5	56.6	74.2	60.0
42.3	63.8	55.6	52.4	58.1	59.2	66.3	61.6	70.7	60.0	53.5	57.5	59.6	63.9	60.3	52.7	51.4	51.9
40.9	50.9	60.0	55.7	66.4	60.2	56.6	57.5	57.7	56.5	52.2	67.2	61.4	50.3	65.0	61.4	56.0	50.4
45.1	77.9	57.6	55.5	67.8	63.2	50.6	60.1	52.4	51.3	68.9	70.0	52.6	55.8	53.2	67.8	62.0	58.0
38.9	55.7	54.2	60.7	52.7	62.4	57.6	60.1	52.1	63.5	53.1	53.9	51.7	50.8	62.5	57.6	73.1	55.1
41.5	53.2	50.6	59.4	62.3	62.4	42.5	52.1	54.6	63.5	71.8	56.4	51.6	60.3	51.5	55.6	62.0	75.2
42.8	50.7	75.7	60.5	66.0	59.3	23.2	65.1	66.1	67.0	53.2	59.2	59.6	52.6	80.7	84.0	63.4	84.4
48.1	50.3	61.7	53.9	51.3	56.8	18.5	55.3	58.1	60.0	59.2	64.0	60.8	58.2	66.3	62.2	63.2	96.6
18.8	58.9	57.0	58.2	50.9	74.6	48.0	55.6	65.8	72.4	55.3	57.1	60.0	52.2	80.0	64.6	64.9	60.5
45.0	50.8	68.9	63.9	63.4	76.4	30.6	63.3	50.3	55.2	82.6	60.9	59.4	63.8	71.2	59.4	64.4	62.6
37.2	53.6	53.7	61.3	50.5	60.7	17.1	55.7	51.0	51.2	75.4	49.4	57.1	72.1	67.9	55.9	68.6	58.6
43.3	57.8	51.4	73.9	55.6	52.5	18.5	58.8	55.3	57.4	67.8	46.4	53.1	51.1	62.3	55.9	62.1	58.6
37.5	58.4	60.3	57.9	59.9	70.9	41.4	67.2	76.5	80.8	77.9	23.7	36.3	55.2	62.6	51.8	54.7	55.1
27.9	54.8	68.3	60.8	77.4	70.3	48.8	51.4	72.0	70.8	51.8	36.2	41.0	61.5	63.7	63.5	58.9	54.5
31.5	54.9	63.9	70.0	51.4	56.8	20.2	68.4	69.0	59.5	54.0	40.2	32.1	67.3	54.6	73.4	65.2	57.7
40.2	53.2	64.9	61.8	73.6	51.4	31.1	56.3	63.1	71.9	57.4	39.5	23.0	57.7	50.8	58.1	58.4	67.6
42.0	61.1	57.0	75.2	77.9	59.6	8.8	73.1	75.3	70.3	60.5	36.2	25.7	52.6	62.3	52.4	55.4	73.9
21.5	62.0	51.6	75.2	76.0	71.7	25.1	56.3	60.3	68.7	63.0	35.2	37.8	72.1	58.8	61.9	50.8	73.9
39.5	61.6	51.3	57.5	66.2	64.4	10.7	55.4	68.2	53.9	60.5	46.6	46.9	58.0	60.0	58.0	70.7	66.0
26.1	61.6	59.1	67.3	73.6	58.3	24.9	62.9	54.0	50.4	58.7	43.2	42.9	58.6	57.5	84.4	56.6	66.8
35.6	63.0	63.0	54.0	77.4	69.7	24.9	57.2	50.4	56.0	55.3	33.4	40.6	69.8	58.0	60.0	65.0	60.9
41.7	62.9	69.4	57.7	58.1	73.7	19.7	59.1	52.9	56.2	60.5	31.0	33.0	54.1	55.4	70.8	56.5	64.9
31.2	53.0	61.3	73.0	52.2	73.2	23.0	44.2	49.1	45.7	52.5	41.6	36.6	67.1	65.0	71.5	52.6	68.4
18.2	54.2	62.2	60.3	67.8	74.3	47.7	39.8	43.6	31.8	77.4	23.4	28.8	54.4	53.6	59.8	76.8	52.7
25.7	52.9	71.9	67.3	66.0	68.1	48.1	26.5	46.7	47.6	67.9	27.0	34.8	61.3	56.3	56.2	50.7	57.5
16.9	59.2	65.5	57.5	64.9	52.7	38.7	27.4	34.6	44.4	89.5	30.0	49.8	53.4	66.5	65.3	61.2	52.0
26.8	58.7	65.0	59.3	56.4	70.2	46.0	48.5	32.2	48.6	77.0	25.8	47.4	55.2	68.3	59.1	59.7	81.2
20.9	64.2	65.7	63.6	87.4	64.0	37.2	33.9	43.7	46.1	64.8	35.8	42.7	54.5	63.4	57.4	62.7	74.5
14.2	53.4	59.4	74.0	64.0	65.8	43.2	47.5	37.8	47.3	60.3	34.6	41.1	54.2	71.7	68.3	64.2	59.5



T1: Alpaca						T2: Cuy						T3: Llama					
Tiempo (días)						Tiempo (días)						Tiempo (días)					
15	30	45	60	75	105	15	30	45	60	75	105	15	30	45	60	75	105
11.9	56.0	54.2	54.2	54.8	57.9	30.4	30.1	39.4	41.8	50.9	33.6	26.8	55.6	64.6	67.1	60.1	60.0
31.9	68.6	57.4	61.1	63.7	58.0	38.6	22.9	32.7	41.5	61.6	25.9	36.2	65.9	59.1	58.0	67.6	56.5
48.0	60.5	51.8	65.4	57.0	63.3	34.5	20.9	32.5	20.4	16.8	31.3	38.7	58.8	53.3	58.9	63.0	54.1
24.0	57.6	56.4	63.0	59.8	53.6	43.4	30.6	30.4	44.9	47.6	32.7	40.8	58.8	58.8	57.9	69.2	75.5
46.5	57.6	58.0	50.4	89.2	54.8	35.3	25.6	10.4	31.3	42.3	18.1	36.7	51.2	51.6	64.0	71.9	64.6
37.9	53.6	56.4	59.7	81.4	51.9	45.0	26.1	45.3	46.8	43.7	19.3	29.5	61.2	51.9	55.9	61.2	63.5
21.2	55.5	63.0	51.6	73.4	54.6	44.2	47.5	47.0	27.4	49.3	35.1	41.8	65.8	52.7	76.8	71.4	69.9
26.8	58.0	50.2	65.3	70.4	52.1	23.8	45.1	47.2	41.9	18.4	45.2	46.8	61.6	58.3	53.6	52.8	63.9
30.3	58.0	45.2	78.7	63.4	58.3	41.1	44.8	32.5	39.4	40.8	49.0	37.5	50.2	57.1	62.4	55.4	61.5
23.4	63.0	32.2	57.6	66.7	55.2	41.8	47.9	10.3	43.7	21.5	36.5	31.6	57.9	54.3	50.9	63.6	52.3
20.6	41.6	16.6	66.5	71.8	53.6	37.9	45.7	11.4	19.7	17.0	39.6	23.9	66.5	67.9	52.9	74.4	54.5
33.7	46.5	40.9	66.8	63.3	64.9	22.0	44.2	20.0	10.2	40.6	40.7	42.3	54.9	57.0	64.5	52.5	50.7
18.0	36.8	43.7	68.3	60.4	52.7	27.4	44.4	41.3	33.5	43.2	37.1	23.3	62.0	58.6	66.7	74.7	61.9
34.0	39.0	38.3	85.8	62.9	71.7	42.3	25.0	21.8	20.3	48.7	34.4	49.7	54.0	56.7	68.8	57.0	85.2
36.3	40.3	43.0	79.1	52.0	56.4	25.1	43.4	41.4	43.3	38.8	46.0	24.4	60.4	56.7	59.2	78.2	70.2
29.6	48.0	27.2	68.6	53.6	69.5	22.6	49.2	40.5	45.3	45.1	28.5	34.2	57.9	51.3	56.4	69.8	51.2
32.0	45.0	30.2	57.3	52.9	69.6	43.4	46.8	37.2	25.5	49.1	31.8	24.5	59.9	51.3	62.8	65.7	55.5
42.5	36.9	36.1	61.7	58.0	58.1	19.7	42.3	42.8	48.1	39.2	38.4	36.4	53.1	44.9	57.4	75.8	38.3
47.3	39.3	24.9	61.9	50.1	73.1	36.4	49.6	36.2	44.1	47.1	32.9	47.1	62.3	42.9	51.9	48.4	48.6
32.1	42.2	28.0	59.5	52.6	55.1	29.6	45.5	36.1	44.3	35.6	39.6	35.6	48.1	48.4	62.2	39.0	49.8
41.2	34.1	18.3	62.3	78.5	50.4	17.7	38.9	41.6	36.4	39.4	29.6	43.0	47.9	36.9	49.3	44.8	40.8
35.0	24.9	44.4	52.7	64.8	51.2	41.8	38.5	39.3	31.1	46.8	37.1	45.2	48.9	38.2	46.7	26.0	37.4
24.6	31.5	21.2	53.1	73.4	51.5	13.6	34.5	33.3	45.6	44.4	31.2	21.4	42.7	34.4	34.9	25.4	38.1
31.5	37.4	20.7	51.7	72.3	54.6	47.3	24.4	31.4	22.8	38.9	10.4	47.4	35.7	45.2	46.3	46.0	35.6
41.7	35.8	42.6	80.5	77.4	55.6	46.4	44.3	31.7	12.6	28.9	23.8	34.2	36.7	44.4	31.9	45.0	34.0
42.1	26.7	42.6	59.6	52.5	57.4	26.1	27.2	15.5	32.9	19.4	27.6	31.2	43.3	38.8	41.3	38.5	35.8
43.2	20.4	42.6	59.8	58.3	63.0	46.5	25.7	19.8	41.5	32.6	32.7	49.3	48.9	25.2	18.9	39.3	38.6
30.9	18.7	37.1	65.2	77.3	53.3	44.8	43.2	38.3	46.4	26.4	34.5	49.6	41.5	31.4	16.8	29.6	41.0
37.6	19.9	40.6	59.9	79.7	54.1	19.7	23.5	16.6	32.2	43.2	39.7	47.5	48.3	36.0	33.1	47.3	37.7
34.2	20.8	25.9	81.0	54.5	72.0	36.9	20.9	36.9	30.2	30.2	45.8	48.2	47.6	16.7	41.5	49.3	29.9
43.1	43.1	28.8	56.6	62.1	58.7	44.1	21.9	22.0	46.0	13.4	31.1	37.3	48.7	45.3	19.4	38.2	40.8
42.3	22.3	21.9	56.9	50.1	52.5	49.9	12.6	19.2	37.3	29.4	33.7	32.5	46.4	40.2	33.6	40.6	34.6
48.3	24.6	48.1	56.1	56.1	74.6	40.8	44.1	19.2	22.5	10.5	27.7	31.3	46.4	26.6	49.7	46.1	48.3
36.9	20.2	22.3	59.5	54.7	51.2	32.7	48.6	38.9	27.4	10.5	34.3	41.8	47.8	17.2	44.0	44.6	42.3
	19.4	14.3	52.9	52.3	55.9	32.7	46.4	45.3	32.3	47.4	16.7		30.1	20.3	37.8	46.6	42.7
	24.8	48.5	47.6	67.7	53.2	32.7	39.1	26.0	25.1	40.4			29.7	46.6	46.8	46.6	38.2
	20.2	19.5	24.3	54.8	56.7	49.3	31.6	33.0	25.1	46.7			38.2	43.9	37.7	49.9	39.0
	46.2	38.2	36.7	63.6	67.9	24.4	27.5	35.7	22.3	40.9			37.5	37.7	48.0	25.9	36.6



	45.2	17.2	44.1	54.9	66.2	31.3	28.3	47.3	24.7	36.4			37.6	28.6	37.1	31.7	47.3
<b>T1: Alpaca</b>						<b>T2: Cuy</b>						<b>T3: Llama</b>					
<b>Tiempo (días)</b>						<b>Tiempo (días)</b>						<b>Tiempo (días)</b>					
<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>105</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>105</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>105</b>
	48.3	20.8	39.6	74.9	57.0	26.8	30.2	41.1	21.0	36.5			38.9	37.7	37.1	39.3	42.8
	43.1	24.1	18.5	39.8	50.1	25.3	33.7	28.5	16.1	37.4			38.3	38.8	41.4	28.4	44.5
	34.9	33.5	12.1	40.4	58.4	26.2		22.8		31.0			38.7	39.5	45.4	50.0	47.4
	49.7	46.6	38.8	40.6	50.0	16.6		24.8		29.4			47.5	28.5	44.0	26.0	41.1
	33.0	29.2	40.5	41.9	50.3	14.3		41.7		26.1			26.6	27.1	43.3	30.5	45.4
	31.6	7.3	43.2	40.0	44.8	16.6		28.0		20.4			19.9	45.3	28.1	36.6	29.9
	25.6	47.8	44.7	41.2	27.9	16.7		33.1		33.0			19.9	18.1	34.6	19.6	21.9
	27.2	40.9	49.0	30.8	47.4	33.4		37.9		34.7			34.4	45.4	20.5	28.1	29.2
	34.3	46.6	11.9	42.6	45.8	16.7		20.4		30.4			24.8	41.2	22.2	25.1	30.3
	33.2	43.0	49.8	49.7	33.3	24.0		35.0		25.8			34.8	36.4	24.1	48.1	27.4
	33.7	28.7	46.6	42.8	46.2	21.5							28.6	38.1	41.3	45.3	29.7
	22.4	43.1	39.1	43.0	29.5								15.4	48.2	34.1	33.2	28.8
	36.8	30.8	49.4	18.9	43.0								13.3	28.8	29.5	49.7	19.8
	34.5	30.0	50.0	11.0	33.1								30.7	21.2	19.6	31.1	24.3
	37.4	26.3	11.6	17.3	47.6								19.2	38.0	22.5	41.6	36.7
	33.2	35.9	45.0	47.8	26.7								34.9	40.6	23.5	47.7	43.7
	36.8	48.0	32.4	42.3	48.1								29.9	48.5	11.9	45.2	46.8
	47.8	49.7	36.2	42.2	36.5								21.4	48.4	35.3	41.5	47.6
	17.8	46.6	41.5	41.9	27.7								49.4	45.6	33.6	49.6	23.7
	22.2	38.2	44.5	49.0	48.9								48.4	45.9	35.4	43.1	31.8
	22.2	28.4	18.5	40.9	37.8								49.1	28.8	24.7	43.9	44.4
	27.9	24.1	47.2	49.5	41.0								43.8	26.6	37.8	25.1	
	18.1	11.4	42.2	47.2	32.3								45.1	29.9	24.8	31.9	
	18.1	49.3	34.9	36.8	47.8								49.3	48.6	34.3	27.3	
	18.1	35.0	23.1	46.5	36.8								48.9	32.2	39.2	34.0	
	18.7	43.9	41.4	46.5	36.6								32.9	23.3	43.1	40.6	
	49.1	15.4	30.4	29.2	34.4								40.6	39.4	43.9	45.9	
	49.9	29.6	29.3	35.9	46.2								47.8	34.9	48.5	22.2	
	42.1	32.1	18.3	46.0	31.1								44.8	18.7	38.4		
	37.2	42.8	22.5	42.9	48.4								29.9	49.2	28.5		
	41.9	21.7	30.7	27.4	18.7								47.6	38.4	44.5		
	48.5	35.3	20.3	31.3	42.5								34.1	45.6	48.3		
	45.5	47.3	15.7	49.5	42.1									42.3	41.5		
	36.4	29.9	41.2	32.2	24.0									45.4	49.8		
	48.9	39.4	44.9	9.3	23.4									47.3	42.8		
	40.2	44.6	26.3	16.3	33.0									36.9	46.0		
	47.9	40.0	48.6	49.4	27.0									48.7	48.5		
	24.7	33.2	44.8	47.2	34.2									41.8	40.1		



	24.7		49.9	48.8	34.0									47.7	15.3		
T1: Alpaca						T2: Cuy						T3: Llama					
Tiempo (días)						Tiempo (días)						Tiempo (días)					
15	30	45	60	75	105	15	30	45	60	75	105	15	30	45	60	75	105
	40.3		40.3	44.7	35.0									17.7	21.6		
	39.0		29.1	48.5	40.3									47.7	31.2		
	37.0		45.7	36.9	34.3									24.1	39.8		
			45.7	30.7	39.5									44.1	32.1		
			47.9	47.8	47.6									42.7	18.1		
			48.4	40.2	44.7									35.1	47.7		
			47.9	27.1	42.6									17.8	18.0		
			40.0	23.5	41.9									21.5	39.9		
			39.7	29.3	43.6									19.6	23.8		
			31.1	38.3	47.3									34.4	31.6		
			36.0	29.4	39.9										20.2		
			47.6	26.7	49.3										20.2		
			32.8	19.0	48.2										14.8		
			45.0	26.4	44.7												
			31.9	38.1	40.7												
			49.2	28.8	38.3												
			43.9	32.5	33.4												
			50.0		44.9												
			45.4		30.5												
			45.0		32.4												
			14.9		30.2												
			30.6		45.1												
			27.6		22.2												
			40.0		21.5												
			14.9		18.7												
					18.1												
					39.3												
					48.5												
					47.8												
					45.3												
					45.4												
					42.4												
					48.8												
					45.7												
					40.7												
					47.5												
					42.6												
					49.9												



					39.5													
<b>T1: Alpaca</b>						<b>T2: Cuy</b>						<b>T3: Llama</b>						
<b>Tiempo (días)</b>						<b>Tiempo (días)</b>						<b>Tiempo (días)</b>						
<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>105</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>105</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>105</b>	
					40.6													
					49.3													
					34.0													
					29.0													
					32.8													
					39.1													
					28.3													
					33.9													
					35.4													
					29.9													

**Tabla 6.** Base de datos del número de individuos y cocones de las lombrices rojas, en los tres tratamientos con estiércoles de alpaca, cuy y llama en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.

Tiempo (días)	Tratamientos								
	Alpaca			Cuy			Llama		
	Número de individuos (Grupo 1)	Número de individuos (Grupo 2)	Número de cocones	Número de individuos (Grupo 1)	Número de individuos (Grupo 2)	Número de cocones	Número de individuos (Grupo 1)	Número de individuos (Grupo 2)	Número de cocones
15	27	9	0	19	0	0	24	27	0
15	24	3	0	32	1	0	27	22	0
15	17	10	0	33	3	0	17	5	0
30	40	15	11	10	10	4	19	29	14
30	44	12	14	37	17	15	53	22	17
30	31	41	13	19	31	16	33	21	13
45	24	23	31	17	15	10	19	26	54
45	38	24	57	38	22	41	46	31	81
45	49	27	56	28	27	38	56	22	109
60	26	17	85	18	9	36	18	12	96
60	55	25	127	33	20	98	44	19	142
60	56	32	88	24	30	89	63	35	216
75	31	29	157	19	24	73	18	24	113
75	58	32	220	41	28	143	35	28	184
75	40	20	175	23	20	124	48	34	317
105	61	163	438	32	90	99	24	193	201
105	47	185	367	27	108	249	44	171	377
105	53	203	296	10	92	144	26	240	444



**Figura 24.** Certificado de análisis de los parámetros fisicoquímicos de los tratamientos pre experimentación.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**




**RESULTADO DE ANÁLISIS**

---

**ASUNTO:** ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE MUESTRAS DE SUSTRATOS CON ESTIERCOLES DE LLAMA, ALPACA Y CUY

---

<b>PROCEDENCIA</b>	INVERNADERO DE LA OFICINA DE GESTION AMBIENTAL UNA-PUNO
<b>INTERESADA</b>	NATALY IRENE MESTAS GUTIERREZ.
<b>MOTIVO</b>	ANÁLISIS pH,CE,N,P,K Y M.O.
<b>FECHA RECEPCION</b>	20/06/2022(por la interesada).
<b>FECHA DE ANALISIS</b>	21/06/2022

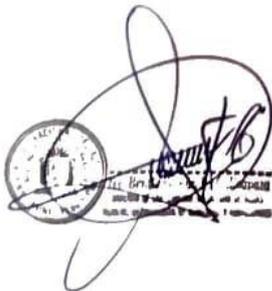
---

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS:**

---

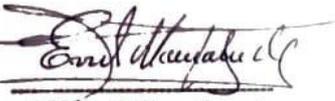
**RESULTADOS**

ELEMENTOS ANALIZADOS	M-01 SUSTRATO CON ESTIERCOL DE LLAMA	M-02 SUSTRATO CON ESTIERCOL DE ALPACA	M-03 SUSTRATO CON ESTIERCOL DE CUY
pH	6.86	7.41	7.25
C.E. mS/cm.(Relación 1:2.5)	0.88	1.42	1.23
Fósforo total (% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.51	0.58	0.65
Nitrógeno total (% de N)	2.01	2.16	2.32
Potasio total (% de K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	4.40	4.96	5.03
Materia Orgánica (% M.O.)	43.64	44.74	43.98





**D: Sr. Evaristo Mamani Mamani**  
JEFE DE LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



**Figura 25.** Certificado de análisis de los parámetros fisicoquímicos de los tratamientos post de la experimentación.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

---

**ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE MUESTRAS DE SUSTRATOS CON ESTIERCOLES DE LLAMA, ALPACA Y CUY**

---

**PROCEDENCIA** : INVERNADERO DE LA OFICINA DE GESTION AMBIENTAL UNA-PUNO.  
**INTERESADA** : NATALY IRENE MESTAS GUTIERREZ  
**MOTIVO** : ANÁLISIS pH,CE,N,P,K Y M.O.  
**FECHA RECEPCION** : 11/10/2022(por la interesada).  
**FECHA DE ANALISIS** : 12/10/2022.

---

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS:**

---

**RESULTADOS**

ELEMENTOS ANALIZADOS	M-01	M-02	M-03
	SUSTRATO CON ESTIERCOL DE LLAMA	SUSTRATO CON ESTIERCOL DE ALPACA	SUSTRATO CON ESTIERCOL DE CUY
pH	6.99	7.11	7.08
C.E. mS/cm.(Relación 1:2.5)	1.28	1.70	1.33
Fósforo total (% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.62	0.69	0.75
Nitrógeno total (% de N)	2.28	2.38	2.45
Potasio total (% de K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	4.48	5.08	5.29
Materia Orgánica (% M.O.)	44.01	44.80	44.98

  
D. Sc. Evaristo Mamani Mamani  
JEFATURA  
JEEF DE LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PUNO - PERÚ



**Figura 26.** Constancia de realización del proyecto en el invernadero de la Sub Unidad de Gestión Ambiental de la UNAP.

