

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES



**RECICLAJE DE LODOS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL
PAPEL MEDIANTE LOMBRICULTURA UTILIZANDO LA
ESPECIE “Lombriz roja californiana” *Eisenia foétida***

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

RAQUEL ANGÉLICA JUÁREZ URIBE

LIMA – PERU

2010

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**RECICLAJE DE LODOS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA
DEL PAPEL MEDIANTE LOMBRICULTURA UTILIZANDO
LA ESPECIE “Lombriz roja californiana” *Eisenia foétida***

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentado por:

RAQUEL ANGÉLICA JUÁREZ URIBE

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mgc.Sc. Rosa María Miglio Toledo
PRESIDENTA

Mg.Sc. Juan Guerrero Barrantes
PATROCINADOR

Mg.Sc. Zulema Quinteros Carlos
MIEMBRO

Mg.Sc. Víctor Miyashiro Kiyan
MIEMBRO

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
INDICE DE CUADROS.....	II
RESUMEN.....	III
INTRODUCCIÓN.....	IV
OBJETIVOS.....	V

CAPITULO I MARCO TEÓRICO

1.1. Biología de la Lombriz.....	1
1.2. Alcances de la Lombricultura	8
1.2.1. En el aspecto Agronómico	8
1.2.2. En el aspecto Pecuario.....	9
1.3. Industria del papel	11
1.3.1. Lodos en la Industria del Papel	12
1.3.2. Tratamiento de los lodos Residuales.....	17

CAPITULO II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación	21
2.2. Condiciones climáticas del área de estudio.....	21
2.3. Materiales	22
2.4. Metodología	23
2.4.1. Evaluación Temporal de las Lombrices (bioensayo 1).....	23
2.4.2. Determinación de la Calidad Agronómica del estiércol de Lombriz (Bioensayo 2, crecimiento de maíz).....	27
2.4.3. Determinación de la calidad Física y Química del Estiércol de Lombriz	29

2.4.4. Diseño y Análisis Estadístico	29
--	----

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Características Químicas del lodo residual y estiércol	30
3.2. Evaluación de variación temporal de la cantidad de lombrices (<i>Eisenia foétida</i>) por estadíos.....	33
3.2.1. Números de individuos por estadío a los 60 días	33
3.2.2. Número de individuos por estadíos a los 90 días	41
3.2.3. Numero de individuos por estadíos a los 120 días	49
3.2.4. Curvas de desarrollo de las Lombrices (<i><u>Eisenia foetida</u></i>) por estadíos durante 120 días.....	52
3.2.5. Abundancia Poblacional Relativa (Nº Individuos /300CC) (<i><u>Eisenia foetida</u></i>) por Tratamientos	55
3.2.6. Mediciones de Longitud de las Lombrices	63
3.2.7. Peso fresco de las Lombrices	65
3.2.8. Peso seco de las Lombrices.....	66
3.3. Determinación de la calidad agronómica de los estiércoles de lombriz obtenidos (Bioensayo 2.Crecimiento del maíz).....	68
3.3.1. Efectos del estiércol de la lombriz sobre el crecimiento del maíz.....	69
3.4. Determinación de la calidad físicoquímica del estiércol de lombriz	
3.4.1 Caracterización física y química del estiércol de lombriz en los diferentes tratamientos	77

CAPITULO IV

Conclusiones y Discusiones.....	79
Recomendaciones.....	80
Bibliografía.....	81
Anexos	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Promedio del conteo de cocones a los 60 días de sembrado (3 repeticiones)	34
Figura 2	Promedio del conteo de lombrices juveniles a los 60 días de sembrado (3 repeticiones)	36
Figura 3	Promedio del conteo de lombrices preclitelados a los 60 días de sembrado	38
Figura 4	Promedio del conteo de lombrices clitelados a los 60 días de sembrado	40
Figura 5	Promedio del conteo de cocones a los 90 días de sembrado (3 repeticiones)	42
Figura 6	Promedio del conteo de lombrices juveniles a los 90 días de sembrado (3 repeticiones)	44
Figura 7	Promedio del conteo de lombrices preclitelados a los 90 días de sembrado	46
Figura 8	Promedio del conteo de lombrices clitelados a los 90 días de sembrado	48
Figura 9	Promedio del conteo de lombrices clitelados a los 120 días de sembrado	51
Figura 10	Curva de desarrollo de cocones durante 120 días de siembra	53
Figura 11	Curva de desarrollo de juveniles durante 120 días de siembra	53
Figura 12	Curva de desarrollo de preclitelados durante 120 días de siembra	54
Figura 13	Curva de desarrollo de clitelados durante 120 días de siembra	54
Figura 14	Promedio de conteo de lombrices (N° de individuos/300cc) a los 60 días de sembrado (3 repeticiones)	56
Figura 15	Promedio de conteo de lombrices (N° de individuos/300cc) a los 90 días de sembrado (3 repeticiones)	59
Figura 16	Conteo promedio de mediciones de longitud en 10 lombrices adultas (3 repeticiones)	63
Figura 17	Peso fresco de 10 lombrices adultas por tratamiento (3 repeticiones)	65
Figura 18	Peso seco de 10 lombrices adultas por tratamiento (3 repeticiones)	67
Figura 19	Altura de planta (cm) tomadas desde cuello de raíz hasta la hoja bandera.	70
Figura 20	Materia seca de planta(g) correspondientes a cada uno de los tratamientos	72
Figura 21	Materia seca de raíz (g), correspondiente a cada uno de los tratamientos	74
Figura 22	Porcentaje de los elementos N, P, K, determinados en el análisis fisicoquímico del estiércol de lombriz.	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Prueba CRETIB para los lodos de la Industria de papel de la empresa Kimberly Clark Perú. S.A	14
Cuadro 2	Límites Máximos de contaminantes para biosólidos aplicados a la agricultura- Norma EPA Section 503.13	15
Cuadro 3	Limites máximos de contaminantes para biosólidos aplicados a la agricultura-Directiva 86/278/CEE	16
Cuadro 4	Variables Climáticas en el observatorio Von Humboldt de la Molina	21
Cuadro 5	Variables climáticas en la Molina	22
Cuadro 6	Características químicas del lodo residual	24
Cuadro 7	Características químicas del lodo de papel, elementos traza: Cobre, Zinc, Plomo, Cadmio y Cromo	28
Cuadro 8	Concentración de elementos químicos potencialmente tóxicos en el lodo de la industria de papel Kimberly Clark Perú S.A	30
Cuadro 9	Caracterización del estiércol	31
Cuadro 10	Características de los tratamientos	32
Cuadro 11	Características de los tratamientos de crecimiento de maíz	32
Cuadro 12	Análisis de varianza de cocones a los 60 días	34
Cuadro 13	Prueba de comparación de media de cocones: Tuckey a los 60 días	35
Cuadro 14	Análisis de varianza de juveniles a los 60 días	36
Cuadro 15	Prueba de comparación de media de juveniles: Tuckey a los 60 días	37
Cuadro 16	Análisis de varianza de preclitelados a los 60 días	38
Cuadro 17	Prueba de comparación de media de preclitelados: Tuckey a los 60 días	39
Cuadro 18	Análisis de varianza de clitelados a los 60 días	40
Cuadro 19	Prueba de comparación de media de clitelados: Tuckey a los 60 días	41
Cuadro 20	Análisis de varianza de cocones a los 90 días	42
Cuadro 21	Prueba de comparación de media de cocones: Tuckey a los 90 días	43
Cuadro 22	Análisis de varianza de juveniles a los 90 días	44
Cuadro 23	Prueba de comparación de media de juveniles: Tuckey a los 90 días	45
Cuadro 24	Análisis de varianza de preclitelados a los 90 días	46
Cuadro 25	Prueba de comparación de media de preclitelados: Tuckey a los 90 días	47
Cuadro 26	Análisis de varianza de clitelados a los 90 días	48
Cuadro 27	Prueba de comparación de media de clitelados: Tuckey a los 90 días	49
Cuadro 28	Análisis de varianza de preclitelados a los 120 días	49
Cuadro 29	Prueba de comparación de media de preclitelados: Tuckey a los 120 días	50
Cuadro 30	Análisis de varianza de clitelados a los 120 días	51
Cuadro 31	Prueba de comparación de media de clitelados: Tuckey a los 120 días	52
Cuadro 32	Cantidad máxima de lombrices de lombrices en sus diferentes edades biológicas	55
Cuadro 33	Promedio de Abundancia poblacional relativa (Nº de individuos/300cc) contadas a los 60 días por tratamiento (3 repeticiones)	57
Cuadro 34	Análisis de varianza de los tratamientos correspondientes al censo 1	57

Cuadro 35	Prueba de comparación de medias Tuckey correspondientes al censo 1	57
Cuadro 36	Promedio de Abundancia poblacional relativa (N° de individuos/300cc) contadas a los 90 días por tratamiento (3 repeticiones)	60
Cuadro 37	Análisis de varianza de los tratamientos correspondientes al censo 2	60
Cuadro 38	Prueba de comparación de medias Tuckey correspondientes al censo 2	60
Cuadro 39	Promedio de Abundancia poblacional relativa (N° de individuos/300cc) contadas a los 120 días por tratamiento (3 repeticiones)	62
Cuadro 40	Análisis de varianza de los tratamientos correspondientes al censo 3	62
Cuadro 41	Prueba de comparación de medias Tuckey correspondientes al censo 3	62
Cuadro 42	Análisis de varianza de medidas de longitud en lombrices (10 unidades)	64
Cuadro 43	Prueba de comparación de Tuckey para longitud de lombrices (10 unidades)	64
Cuadro 44	Análisis de varianza de peso fresco en lombrices	66
Cuadro 45	Prueba de comparación de Tuckey para peso fresco en lombrices	66
Cuadro 46	Análisis de varianza de peso seco en lombrices	67
Cuadro 47	Prueba de comparación de Tuckey para peso seco en lombrices	68
Cuadro 48	Análisis de varianza de los tratamientos correspondiente a la altura de la planta antes de la floración	71
Cuadro 49	Prueba de comparación de Tuckey correspondiente a la altura de la planta antes de la floración	71
Cuadro 50	Análisis de varianza de los tratamientos correspondiente a la materia seca de la planta	73
Cuadro 51	Prueba de comparación de Tuckey para materia seca de la planta	73
Cuadro 52	Análisis de varianza de los tratamientos correspondientes al peso seco de raíz	75
Cuadro 53	Prueba de comparación de Tuckey para peso seco de raíz	75
Cuadro 54	Análisis de varianza de los tratamientos correspondiente a número de hojas	76
Cuadro 55	Prueba de comparación de Tuckey para número de hojas	76
Cuadro 56	Valores obtenidos en los análisis físicoquímicos del estiércol de la lombriz (<i>Eisenia foetida</i>)	78

RESUMEN

El alto consumo y producción de papel, a través de sus diferentes presentaciones, genera grandes cantidades de lodos residuales en las plantas fabricantes ocasionando riesgos ambientales, si no se les da un manejo y aprovechamiento apropiado.

Una alternativa de solución a este problema, es el reciclaje de estos lodos residuales para producir abono orgánico, a través de un proceso de lombricultura.

La investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), para lo cual se prepararon diversas combinaciones de sustratos en los cuales se sembraron lombrices del género *Eisenia foetida*, el estiércol vacuno utilizado fue lavado con la finalidad de eliminar el exceso de sales contenidas en el mismo;

Se mezcló el lodo de papel con el estiércol lavado en 5 proporciones diferentes (100%, 75%, 50%, 25% y 0%) el lodo provino, de la empresa Kimberly Clark del Perú.

Se prepararon camas en cajas de madera para los cinco tratamientos, cada uno con tres repeticiones, para lo cual se agregaron los sustratos anteriormente mencionados, haciendo un total de 15 camas, a continuación se incorporaron 250 g de lombrices (*Eisenia foetida*) a cada caja.

A los 60, 90 y 120 días se realizaron las evaluaciones del número de cocones, juveniles, preclitelados y clitelados (edades biológicas de la lombriz), luego de la última evaluación se procedió a la medición y pesado de 10 individuos de lombrices adultas por tratamiento.

Se determinó que el tratamiento con 100% de lodo de papel presentó el mayor número de lombrices

Para el análisis fisicoquímico del humus producido, se tomaron muestras a los 120 días de sembradas las lombrices, luego fueron analizadas en el laboratorio de Suelos. Los resultados de los análisis fisicoquímicos, determinaron que podrán ser utilizados como enmienda orgánica según la Norma Española B.O.E.146-1991.

Para evaluar la calidad agronómica del humus producido en cada uno de los tratamientos, se mezclaron éstos con arena en diferentes proporciones (100%, 75%, 50%, 25%, 15% y 0% de humus de lombriz), obteniéndose 6 mezclas; con estas mezclas se

prepararon macetas de 1 kg de capacidad, en las cuales se sembraron cinco semillas de maíz, a los 3 meses se evaluó el tamaño de planta, materia seca de planta, materia seca de raíz y número de hojas.

En cuanto a la producción de materia seca de las plántulas y raíces, y altura de planta, el tratamiento más eficiente fue aquel con 100% humus de lombriz, seguido por el tratamiento con 75% estiércol de lombriz + 25% de arena.

INTRODUCCIÓN

Durante la fabricación y transformación del papel que realizan las empresas, se generan efluentes líquidos que son tratados fisicoquímicamente, derivándose de ello un material de desecho rico en celulosa, comúnmente llamado *lodo de papel*, cuya disposición final genera grandes dificultades.

Una alternativa para la solución de este problema es el empleo de la lombricultura para transformar estos residuos en abono orgánico, disminuyendo la contaminación del suelo debido a la frecuentemente inadecuada disposición en botaderos; por otro lado representa la posibilidad de obtener abono orgánico con el que se podría contribuir a revertir la degradación de los suelos de nuestro país.

El uso de los lodos residuales generados por la industria del papel, representa una alternativa cada vez más creciente en varias partes del mundo por ejemplo en España, este tipo de material es tratado mediante lombricultura antes de ser incorporado a la agricultura como abonos o enmiendas orgánicas.

En nuestro país también se genera este tipo de lodos residuales que van sin mayor tratamiento a botaderos o rellenos sanitarios, por lo que es necesario investigar la posibilidad de reciclarlos mediante la lombricultura para evaluar su posible uso en la agricultura.

En la presente investigación se plantea la alternativa biotecnológica (lombricultura) para el tratamiento de estos lodos residuales utilizándolo como materia prima para la producción de abono orgánico, dándole un valor agregado a este residuo. En este sentido, el propósito de este trabajo es investigar si mediante la lombricultura se puede dar un valor agregado al lodo de papel, convirtiéndolo en abono o enmienda orgánica, que permita mejorar la calidad de los suelos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de la lombricultura como una alternativa de reciclaje de lodos residuales de la industria del papel, utilizando la especie *Eisenia foetida*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la variación temporal de la cantidad de lombrices utilizadas en sus diferentes edades biológicas (cocones, juveniles, preclitelados y clitelados), durante el proceso de reciclaje de lodos residuales de papel mediante lombricultura.
2. Determinar la calidad agronómica del estiércol de lombriz obtenido en los diferentes tratamientos de lodos residuales de papel aplicado al cultivo de maíz.
3. Determinar la calidad física y química del estiércol de lombriz obtenido en los tratamientos de lodos residuales de la industria del papel.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. BIOLOGÍA DE LA LOMBRIZ

A la *Eisenia foetida* se le conoce como “Lombriz Roja Californiana” porque es en dicho estado de los Estados Unidos de América, en donde se descubrieron sus propiedades para el ecosistema y donde se instalaron los primeros criaderos.

Clasificación Sistemática (Gardiner, 1978)

Reino	: <i>Animal</i>
Phylum	: <i>Anélida</i>
Clase	: <i>Oligoqueto</i>
Orden	: <i>Opisthoro</i>
Familia	: <i>Lombricidae</i>
Género	: <u><i>Eisenia</i></u>
Especie	: <u><i>E. foetida</i></u>

Según Bouche (1985), los lumbrícidos pertenecen al *Phyllum Annelida*; es decir, se trata de animales cuyo cuerpo está constituido por una serie de anillos yuxtapuestos denominados metámeros. Cada uno de ellos posee organización y anatomía semejantes, en los cuales los órganos se repiten regularmente. Las lombrices de tierra representan entre el 20% y el 50% de la biomasa de los suelos fértiles de Europa. De acuerdo a su hábitat, se distinguen tres subdivisiones: los oligohúmicos, que se alimentan de tierras pobres en materia orgánica, normalmente se les halla en los estratos más profundos del suelo; los mesohúmicos, presentes en suelos medianamente ricos, sobre todo en las capas superficiales, y los polihúmicos, que son lombrices pequeñas y filiformes, e ingieren las partículas orgánicas, se les halla en abundancia cerca de la superficie o bien a lo largo de las raíces.

Bouche (1985) indica que de acuerdo al tipo de alimentación y al tipo de galerías que realizan, existen tres clases: epígeos, endógeos y anémicos. Los lumbrícidios anémicos son animales relativamente grandes, excavan galerías prácticamente verticales, se mantienen sujetos a la entrada de las mismas mediante la región posterior de su cuerpo, para alimentarse arrastran hacia ellos los restos orgánicos que se hallan sobre el suelo, y después de mezclarlos con tierra recogida en profundidad los ingieren. Los endógeos, realizan sus galerías casi horizontalmente con respecto a la pendiente del suelo, y salen a la superficie muy esporádicamente. Los epígeos, son más oportunistas, pues viven en las acumulaciones orgánicas que dejan los anémicos, es posible que sobrevivan explotando medios temporales como heces de ganado o bien aprovechando la inadaptación de los anémicos, ingieren una mezcla de restos orgánicos sobre todo de origen vegetal y también tierra; una porción importante de lo ingerido por los endógeos es de naturaleza mineral, mientras que en los epígeos casi en su totalidad es de tipo orgánico, los anémicos explotan por igual ambos substratos.

Berquiet (1987) menciona que las lombrices de tierra tiene una amplia distribución aproximadamente 8.000 especies en el mundo, de los cuales son muy pocas las estudiadas. Todas las especies terrestres se alimentan de materia orgánica descompuesta en la superficie, pero también utilizan sustancias orgánicas que obtienen en el lodo o suelos húmedos que ingieren al excavar. Muestran preferencias por ciertos alimentos, poseyendo órganos del gusto, cavan galerías subterráneas de las que no salen más que por la noche pues son fotófobos, si el suelo está mojado hacen la galería hundiéndose en él, pero si está seco lo reblandecen con secreción y tragan a continuación tierra. Según Berquiet (1987), la vida media de esta lombriz común es de aproximadamente cuatro años, durante los meses de frío sufre un aletargamiento y sólo inicia sus actividades en los meses templados. En cambio la lombriz *Eisenia foetida* vive un promedio de 12 a 14 años.

Laverack (1963) señala que las lombrices muestran gran tolerancia hacia pérdidas de agua y pueden recuperarse de una deshidratación drástica. Pueden tolerar una pérdida del 60% del peso del cuerpo, dicho porcentaje corresponde al 70% del contenido total de agua de lombrices terrestres, y 75% del total de agua de *A. chlorótica*. La habilidad para soportar grandes pérdidas de agua le permite sobrevivir y mantener la población en los campos bajo condiciones excepcionalmente áridas.

Laverack (1963) indica que se ha detectado que muchas especies de lombrices se encuentran ausentes en suelos ácidos. La acidez del suelo afecta la colonización de las lombrices. Después de las lluvias las lombrices migran de sus galerías a causa de los estímulos de sus órganos sensibles a la acidez. También indica que *A. samarigera* y otras especies, no son encontradas y no sobreviven en campos de pH más bajo a 4,5; sin embargo, *L. variegatus* ha sido encontrada en coberturas de paja (mulches) ácidos de pH 3,9 y en el caso *B. eisenii* en turba de páramo a pH 3,7, concluyendo que cada especie muestra una tolerancia particular a la acidez.

Según Auxilia (2004) menciona que la sobrevivencia de la Lombriz Roja Californiana en distintas proporciones de lodo residual-estiércol vacuno mínimo de pH registrado es de 6,53 y el máximo es 8,47; estos valores se encuentran dentro de los rangos reportados por diferentes autores donde la lombriz puede desarrollarse normalmente, tales como Ferruzi (1994), que reporta de 6,8 a 7,6; mientras que Southwell y Majer (1982) obtuvieron resultados positivos a pH de 8,4 a 10,0. Esta consideración permite descartar que para cualquier mezcla de lodo residual-estiércol vacuno, dicho rango de pH, sea un factor que haya influido en las alteraciones sufridas por la lombriz en su sobrevivencia y reproducción.

Rincón (1988) caracteriza a la lombriz roja *Eisenia foetida*, señalando que su cuerpo es alargado cilíndrico achatado ventralmente y puntiagudo en los extremos, tiene una longitud de 6 a 8 cm, presenta una respiración a través de la piel, son hermafroditas requieren una temperatura ideal de 16 a 25 °C, requieren una humedad ideal de 70 a 85% y un pH ideal entre 6,8 a 7,2; sin embargo pueden tolerar rangos que pueden fluctuar entre 5,5 a 8,0.

Michel y Devillez (1978) mencionan que el tiempo para que el material pase por el intestino varía en los lumbrícidos, pudiendo ser de sólo 12 horas cuando realizan galerías, así como de 20 horas cuando sólo se alimentan.

La morfología de las lombrices, pese a su aparente simplicidad, es compleja y guarda estrecha relación con su estructura, ya sea, adaptada a la vida terrestre o acuática.

Como parte de su estructura existen externamente en el cuerpo unas cerdas o quetas, como cortos pelitos que sobresalen en cada anillo en uno o varios pares.

El tamaño de las lombrices es muy variable, su longitud es de algunos milímetros a aproximadamente 3 m en especies tropicales. El color del cuerpo es generalmente rojizo o grisáceo. En resumen, se puede decir que estos animales pertenecen al Reino Animal, Tipo Anélidos (cuerpo anillado) y a la Clase Oligoquetos (anillos con pocas quetas). Se distingue una cabeza, un tronco y una región terminal que lleva al ano.

Carter (1999) señala que la lombriz Roja vive normalmente en zonas con un clima templado. Su temperatura corporal oscila entre los 19 y los 20 °C.

Mide de 6 a 8 cm de longitud.

Su diámetro oscila entre los 3 y los 5 mm.

Es de color rojo oscuro.

Respira a través de la piel.

No tiene dientes.

En cada metámero se ubican 5 pares de corazones y un par de riñones. Esta es una de las razones por las que, si se parte una lombriz en dos partes sobrevive, precisamente la parte anterior, la que tiene la boca.

El Clitellium sólo se puede ver en las lombrices adultas y da fe que éstas han llegado a su madurez sexual; es como un anillo de mayor diámetro (espesor) que el resto del cuerpo. Este anillo contiene unas glándulas que segregan un líquido especial cuya finalidad es la proteger a los huevos.

Marshall (1980) señala que la superficie del cuerpo debe mantenerse siempre húmeda, la cual se logra por excreciones nefridiales, glándulas mucoides y líquido celómico que sale por los poros dorsales.

Michel y Devillez (1978) reportan que los lumbrícidos se alimentan por el epitelio bucal, para esto sale un mucus, el cual permite que el alimento se adhiera. La presión sobre las paredes de la cavidad bucal es realizada como una aspiradora parcial, en donde la

faringe ejerce una mayor succión, ingresando así el alimento. Esta parte del tubo digestivo luego actúa como una fuerte bomba que impulsa el alimento hacia el esófago. La acción ciliar puede aumentar las contracciones musculares en el esófago, el alimento es llevado para posteriormente pasar a la molleja. Las contracciones del estómago son más frecuentes en la molleja, la cual actúa como una fuerte bomba para transportar los materiales ya triturados hacia el intestino. La presencia de material sólido parece ser el estímulo para las contracciones en ambas regiones, y no hay diferencias en el estado físico de sus contenidos. Los pliegues del estómago, regulan el rango del movimiento del material dentro de la molleja, previenen la regurgitación y pueden ayudar a la mezcla de la comida. Un esfínter de músculos circulares controla el paso del alimento de la molleja al intestino tubular. Las dilataciones del buche del intestino posterior muestran expansiones y contracciones rítmicas. El mecanismo ciliar intestinal no parece intervenir en el bombeo del alimento a lo largo del tracto.

Santelices (2009), caracteriza la morfología de los anélidos mencionando que todo el cuerpo es anillado externamente, e internamente origina un tabique o compartimiento que estructura un conjunto de metámeros o somitos. La epidermis secreta una cutícula que por ejemplo en la reproducción, *L. terrestris* del 33 al 38 anillo, se produce una hinchazón epidérmica que se llama clitelo. Este controla la unión de los individuos en la reproducción. Las lombrices son animales hermafroditas, cada individuo porta los órganos reproductores masculinos y femeninos en sí mismo, no existe autofecundación. Internamente existen poderosos músculos constituidos por fibras circulares externas y fibras musculares longitudinales internas dispuestas en cuatro campos.

La importancia del tubo digestivo en el proceso de unificación se inicia en la boca ubicada bajo el prostomium, primer anillo o segmento de la cabeza, ésta puede ser proyectada o evaginada, a ella sigue una faringe de gruesas paredes musculares, que conducen a un esófago portador de cilios en el cual se abren los conductos de glándulas calcíferas o glándulas de Morren, que son órganos especiales de regulación de los equilibrios iónicos del medio interno del oligoqueto. A menudo ellas regulan el equilibrio ácido-base y en presencia de un exceso de anhídrido carbónico lo combina con el calcio presente en la sangre, lo que produce cristales insolubles de carbonato cálcico los cuales son excretados en el esófago.

A continuación del esófago viene una estructura dilatada que recibe el nombre de buche que se continúa en un estómago muscular o molleja. El alimento ingerido con los jugos estomacales se continúa en el intestino que es largo para terminar en el ano o pigidio. El intestino internamente está revestido de células cloragógenas de función excretora siendo la base importante del metabolismo de los glúcidos y los prótidos. Estas cumplen la función del hígado en los vertebrados. Por otra parte el intestino lleva a menudo una invaginación mediodorsal, el typhosolis, que aumenta la superficie de contacto del epitelio intestinal y que está lleno de células cloragógenas que intervienen como ya se dijo en el metabolismo del glicógeno, así como también en la excreción de la urea o amoníaco.

El aparato circulatorio es un sistema de canales cerrados que se ramifican en una red de finos capilares en el tegumento sobre el intestino y los diversos órganos. Ahora en la región esofágica del cuerpo se sitúa un número variable de vasos contráctiles (5) que por esta característica reciben el nombre de corazones. La sangre es habitualmente roja y el pigmento disuelto en el plasma es vecino de la hemoglobina. El aparato excretor está formado por nefridios que se ubican por pares en cada segmento del cuerpo del animal, y que dan salida al exterior de la urea o amoníaco a través de conductos que desaguan en los nefridioporos. El sistema nervioso está constituido por un cerebro cefálico ganglionar de posición dorsal que emite cordones alrededor del esófago para conectarse con masas ganglionares pequeñas que se ubican en la región ventral del animal a lo largo de todo el cuerpo. Las lombrices por tener los órganos genitales masculinos y femeninos en un mismo individuo se conocen como monoicos. En ellas los testículos en número de dos o más pares están situados en el décimo y once segmento y un par de ovarios se localiza en el décimotercer segmento. Testículos y ovarios presentan conductos espermiductos y oviductos a través de los cuales emiten los gametos.

Por otra parte, en los anillos o segmentos 9, 10 y 11 se encuentran tres pares de vesículas seminales y un par de receptáculos seminales en los segmentos 9 y 10 sobre los cuales se abren. El acoplamiento es en principio seguido de intercambio recíproco de espermios. Los individuos se cogen en sentido inverso y cada clitelo secreta una pelotita de mucus formando un doble cintillo o cinturón mucoso, así, los espermatozoides mantenidos en las vesículas seminales de cada individuo contrario. Posteriormente, el

clitelo secreta también una cápsula o cocón que contiene los huevos y un líquido albuminoso que sirve a la nutrición de los juveniles.

Una de las características de las lombrices es su gran fecundidad, lo que les permite una alta tasa poblacional de importancia en la mecánica de formación de suelos y en especial en la fabricación del humus. Esta cualidad reproductiva se realiza en *Eisenia foetida*, que posibilita un excelente reclutamiento juvenil de cada postura y su utilidad para fines húmicos.

Gardiner (1978) indica que las lombrices son hermafroditas cada individuo lleva órganos reproductores masculinos y femeninos, su reproducción puede verificarse en toda estación, pero es más frecuente en tiempo húmedo y caliente como en primavera. También señala que la lombriz de tierra no se autofecunda sus huevos, sino que recibe espermatozoides de otra lombriz durante la cópula, cuando los gusanos se aparean sacan sus extremos anteriores de sus galerías y se juntan sus superficies ventrales con dichos extremos apuntados en direcciones opuestas, esta disposición de los cuerpos sitúa las coberturas de los receptáculos seminales de un gusano en posición al Clitelio del otro gusano, se mantiene adheridos por filamentos mucosos y por quetos especiales, que penetran en el cuerpo de la pareja. En las zonas de contacto cada lombriz secreta un tubo mucoso alrededor de sí mismo, el espermatozoide sale de los vasos deferentes de cada uno y recorre los canales o hendiduras en la superficie ventral hasta abertura de los receptáculos seminales del otro. De este modo se verifica el intercambio recíproco del espermatozoide y los gusanos se separan. Este proceso de copulación requiere aproximadamente de 2 horas. Posteriormente, cada gusano secreta un capullo en forma de barril alrededor de su clitelo dentro del extremo posterior del tubo mucoso.

Lizárraga (1991) indica que el tamaño de una lombriz recién nacida depende del número de nacidos por cada capullo, a mayor número de lombrices por cada capullo, le corresponde menor tamaño al nacimiento, el tamaño de una lombriz recién nacida varía de 4 a 20 mm de su longitud, crecen rápido cada semana aproximadamente de 4 a 5 mm de longitud. A los 3 meses adquieren un tamaño y peso adulto aproximadamente de 0,5 a 1 gramo.

La misma autora, Carter (1999), indica que la Lombriz Roja vive aproximadamente unos 16 años, durante los cuales se acopla regularmente, cada 7 días, a partir del 90° día de edad, si la temperatura y la humedad del medio son de su agrado.

Es hermafrodita incompleta por lo que no está en condiciones de autofecundarse; consecuentemente, como resultado del acoplamiento de dos lombrices, se producirán dos huevos o cápsula (uno, de cada lombriz).

Estas cápsulas se abrirán al cabo de 14 - 21 días, según sea la temperatura del medio donde se ubiquen. Cada huevo o cápsula contiene de 2 a 21 pequeñas lombrices; en las condiciones climáticas italianas la media real de lombrices nacidas por huevo puede estimarse perfectamente en 7. Las cápsulas contienen un líquido que constituyen la fuente alimenticia de las pequeñas lombrices durante el periodo de incubación, es decir, hasta que se produzca la apertura de la cápsula.

Como indica Carrión (1990), el incremento del número de capullos así como las tasas de incremento en cada periodo de evaluación se observa que la postura de capullos en general para todos los tratamientos se incrementan rápidamente hasta los 45 días aproximadamente a partir de los cuales el incremento es leve hasta los 75 días aproximadamente para luego incrementarse nuevamente en forma rápida.

La capacidad reproductiva de las lombrices en los sustratos de cuy + paja (2:1) y de equino+ paja (1/1) alcanzaron los máximos valores según indica Becerra (1994), observando que el sustrato de equino + paja (1/1) contienen gran cantidad de celulosa.

1.2. ALCANCES DE LA LOMBRICULTURA

1.2.1. En el Aspecto Agronómico

Gross (1975) en su libro sobre “Los Abonos” nos menciona que las lombrices de tierra juegan un papel muy importante en la evolución de la materia orgánica del suelo. La abundancia de lombrices de tierra en un suelo se halla relacionada con el contenido de materia orgánica que constituye su alimento básico. Al degradar la materia orgánica por el

tracto digestivo de la misma lombriz incrementa el humus del suelo, el cual es alimento para los microorganismos. Se estima que 500 lombrices/m² pueden remover de 20 a 200 TM/ha/año de tierra seca.

Se considera que los 2/3 de la materia orgánica del suelo pasa a través del intestino de las lombrices.

Becerra (1994) menciona que dada la alta capacidad reproductiva de la lombriz roja californiana y si adicionalmente las condiciones climatológicas le son favorables como en nuestro país, hacen la crianza resulte ser sumamente provechoso, por la cual debe ser censada constantemente con la finalidad de utilizar el excedente poblacional como una fuente de proteínas para los animales o su incorporación en los campos de cultivo.

Kimura (2005) menciona que para la prueba de crecimiento de maíz mezcló compost con arena (25%, 50% y 75% de compost en volumen). Los sustratos fueron colocados en recipientes de 1 litro de volumen y sin salida de lixiviación, se regaron con agua y se sembraron 5 semillas de maíz por sustrato. A los 17 días se desahijaron, dejando 2 plántulas más homogéneas. Durante el experimento se regaron con agua cuando se consideró necesario. A los 50 días se cosecharon y se evaluó la producción de la materia seca foliar y radicular por maceta.

1.2.2. En el Aspecto Pecuario

Aliaga (1989) indica que la harina de lombriz puede constituirse en un recurso significativo de proteínas de alto valor para la alimentación animal y humana. Por otro lado menciona que la lombriz desecada y transformada en harina es un alimento de alto valor nutritivo para los animales. Además, contiene todos los aminoácidos esenciales en proporciones más altas de las que tiene la harina de pescado.

En relación a las camas de sembrado de lombrices, Ferruzzi (1987), dice que el espesor del sustrato inicial debe ser de 15 cm para el lecho de verano y de 25 cm para el lecho de invierno. Adicionalmente se debe poner 300 cm³ de carbonato de calcio por cada m² del mismo, el cual eliminara el problema de la excesiva acidez y se deberá llevar el pH del sustrato a los valores deseados de 6,8 - 7,7. El riego del sustrato nuevo se efectúa una

vez preparado durante 4 días consecutivos y después semanalmente durante el primer mes (hasta el 30^a día). Durante este mes, como consecuencia de las operaciones descritas, el sustrato se oxigenara y estará preparado para recibir a las lombrices, Actuando de esta forma se consigue efectuar un primer lavado que contiene dos acciones positivas, la primera, arrastrar los residuos de ácido úrico contenidos en la urea presente en el estiércol que forma el sustrato, la segunda disolver el carbonato de calcio.

Ferruzzi (1987) menciona los diferentes tipos de estiércol en su utilización como sustrato alimenticio para lombrices: El estiércol de vaca, es un muy bueno, utilizable también como sustrato inicial y como alimento durante la producción. El periodo de envejecimiento aconsejable es de seis meses.

Luévano G.A. y Velásquez G.N. (2001) reporta que a partir del sustrato de bovino se puede encontrar en tres formas de estiércol:

a) Estiércol fresco

El estiércol esta acabado de producir por el bovino teniendo una consistencia pastosa, de color de color verde encendido, de olor insoportable, debido a que su pH es altamente alcalino, lo cual no es recomendable para la lombriz.

b) Estiércol maduro

Este estiércol mas o menos de 10 a 18 días de haber producidos por el animal, su consistencia es semipastosa, de color verde oscuro o pardo, su olor es soportable, el pH se encuentra estabilizado calculado entre 7 y 8. Este es el sustrato adecuado, puesto que presenta las condiciones optimas para la crianza de lombrices, aunque a veces se le tiene que agregar agua para estabilizar su humedad, y por ende su temperatura. La experiencia dice que este es el mejor sustrato que permiten las lombrices.

c) Estiércol viejo

Es un estiércol que tiene más de 20 días de haber sido producido, es de consistencia pastosa y dura, desmoronándose al apretarse con la mano. No presenta prácticamente ningún olor. Este no es el sustrato que puede ser utilizado para la crianza de lombrices, puesto que el pH es altamente ácido y pueden entrar las lombrices en periodo de letargo.

1.3. INDUSTRIA DEL PAPEL

El papel es un material de pequeño espesor formado por el entrecruzamiento de fibras vegetales de celulosa a partir de una suspensión acuosa pastosa denominada pulpa, obtenida por diversos métodos a partir de materias vegetales fibrosas (provenientes directamente de dichas fuentes o de material reciclado).

Heederik (1998) considera que el uso de residuos o de papel reciclado como materia prima para la preparación de pasta ha aumentado en el transcurso de las últimas décadas, hasta el punto de que algunas papeleras dependen casi completamente del papel de desecho. En algunos países, este último se separa del resto de los residuos domésticos, en origen, antes de su recogida. En otros se realiza una separación por clases (por ejemplo, cartón ondulado, papel prensa, papel de calidad, papel mezclado) en plantas especiales de reciclaje. El papel reciclado se puede retransformar en pasta en un proceso relativamente suave, que utiliza agua y a veces NaOH. Los pequeños trozos de metal y de plástico se separan durante o después de la reconversión en pulpa, utilizando detritus sedimentado, ciclones o centrifugación. Las sustancias de relleno, colas y resinas se eliminan en la fase de lavado por corriente de aire a través de los lodos de la pasta, en ocasiones con la adición de agentes floculantes. La espuma contiene sustancias químicas indeseables y se retira. La pulpa se destinta empleando una serie de lavados que pueden incluir o no el uso de reactivos químicos (por ejemplo, detergentes tensioactivos) para disolver las impurezas restantes, y agentes blanqueantes que aclaran la pulpa.

El blanqueo tiene la desventaja de que puede reducir la longitud de la fibra y, por consiguiente, disminuir la calidad final del papel. Los agentes blanqueantes utilizados en la producción de pasta reciclada son en general similares a los empleados en las operaciones de abrillantado de la pasta mecánica. Después de las operaciones de rebatido de la pasta y de destintado, la producción de hojas de papel continúa de una forma muy semejante a la utilizada empleando pasta de fibra virgen.

1.3.1. LODOS EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL

Según Córdova, 2007, los lodos generados por la industria de papel, quedan definidos como:

“Residuos orgánicos, en estado semi-sólidos de procedencia industrial, no peligrosos, que no representan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente y que son susceptibles de ser valoradas como re-aprovechables por la autoridad ambiental”

Según Cardoso y Tomasini (2002), los lodos se generan como subproductos de manufactura, extracción o transformación, del tratamiento del agua residual en donde se concentran los contaminantes presentes en el agua transformados o combinados que pueden afectar al medio ambiente o no; por lo general los lodos de desechos de plantas de tratamiento son potencialmente peligrosos y requieren el análisis de Corrosividad, Reactividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico infeccioso (CRETIB).

Según Cardoso y Ramírez (2002), las características de los lodos que afectan su aptitud para la aplicación en suelos y usos benéficos, incluyen contenido orgánico, nutrientes, patógenos, metales pesados y orgánicos tóxicos. El valor fertilizante del lodo se basa, principalmente, en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Los lodos son una mezcla de sólidos sedimentables y agua, las concentraciones son variables dependiendo del tipo de lodo.

Según Cardoso y Tomasini (2002), todos los lodos provenientes de las plantas de tratamiento poseen características muy diversas, siendo algunos llamados biosólidos. Algunos de éstos son susceptibles de ser reusados o revalorizados como mejoradores de suelos. Dependiendo de sus características algunos tipos de lodos pueden destinarse para el reciclaje y/o un uso posterior.

Según Cardoso y Ramírez (2002), vermicomposteo es el uso de lombrices para estabilizar la materia orgánica. Las lombrices de la especie *Eisenia foetida* comen lodo

residual y producen un residuo conocido como vermicomposta. Mediante este proceso es posible reducir a 100% los patógenos presentes en el lodo.

La Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos – REPAMAR – CEPIS (1999) clasifica a los lodos en función de la toxicidad y la prioridad de manejo, teniendo los siguientes tipos de lodos industriales:

- Lodos orgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, fácilmente biodegradables, prioridad I.
- Lodos orgánicos e inorgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, los orgánicos no fácilmente biodegradables, prioridad II.
- Lodos orgánicos e inorgánicos conteniendo contaminantes tóxicos, prioridad III.

Las opciones de manejo de acuerdo a los tipos de lodos se han establecido en función de su prioridad, así:

- Prioridad I: Reutilización como fertilizante dependiendo de la composición, prevención dependiendo del proceso de generación, relleno sanitario o incineración.
- Prioridad II: Reutilización y revalorización dependiendo de la composición, compostaje, incineración o relleno.
- Prioridad III. Prevención dependiendo de los procesos de generación del lodo o disposición en mono-rellenos.

De acuerdo a esta clasificación los lodos de la industria de papel estarían en la prioridad I: Lodos orgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos fácilmente biodegradables y de acuerdo a su manejo para reutilización como fertilizante dependiendo de la composición.

Según Córdova, 2007, el análisis de las características de peligrosidad: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso (CRETIB), del lodo de papel de la empresa Kimberly Clark Perú S.A. realizado en la Ciudad de Quito en el año 2005 (Cuadro1), ha demostrado que los lodos provenientes de la

industria de fabricación de papel son: no corrosivos, no reactivos, no explosivos, no tóxicos, no inflamables y no se detectaron riesgos biológicos.

CUADRO 1. PRUEBA CRETIB PARA LOS LODOS DE LA INDUSTRIA DE PAPEL DE LA EMPRESA KIMBERLY CLARK PERÚ S.A

Característica	Industria de Papel
Corrosividad	Negativa
Reactividad	Negativa
Explosividad	Negativa
Toxicidad	Negativa
Inflamabilidad	Negativa
Biológico	n.d.

n.d.: no detectado UFC: unidades formadoras de colonias

FUENTE: Datos proporcionados por la empresa INGEMEDIOS SAC. 2005

La EPA (Environmental Protection Agency), Section 503.13 establece, las siguientes concentraciones límites como normas de calidad para los biosólidos: tal como se muestra en el cuadro 2.

**CUADRO 2. LÍMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES PARA
BIOSÓLIDOS APLICADOS A LA AGRICULTURA - NORMA EPA Section 503.13**

Contaminante	Concentración del contaminante (mg/kg^a)
Arsénico (As)	41
Cadmio (Cd)	39
Cobre (Cu)	1 500
Plomo (Pb)	300
Mercurio (Hg)	17
Níquel (Ni)	420
Selenio (Se)	100
Zinc (Zn)	2 800

^aPeso Seco mg/kg – miligramos por kilogramo
Fuente: EPA

Según la normatividad de la Comunidad Económica Europea (CEE), los límites para concentraciones de metales pesados en el suelo (cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, mercurio) son los mostrados en el Cuadro 3.

Asimismo, la CEE prohíbe la utilización de los lodos cuando la concentración de dichos metales supere dichos valores límite.

**CUADRO 3. LÍMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES PARA BIOSÓLIDOS
APLICADOS A LA AGRICULTURA - DIRECTIVA 86/278/CEE***

Parámetro	Valores Límite (mg/kg de materia seca)
Cadmio (Cd)	20 a 40
Cobre (Cu)	1 000 a 1 750
Niquel (Ni)	300 a 400
Plomo (Pb)	750 a 1 200
Zinc (Zn)	2 500 a 4 000
Mercurio (Hg)	16 a 25

Directiva 86/278/CEE del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura.

En el Perú, la industria de elaboración del papel y sus productos derivados, se encuentra comprendida como una actividad dentro del Sector Manufactura. Desde el año 1997, y debido a la complejidad y diversidad de sub-sectores que conformaban la industria manufacturera, el MITINCI (actual PRODUCE), priorizó dar los límites máximos permisibles para efluentes líquidos de 4 actividades industriales principales, a saber, cemento, cerveza, curtiembre y papel.

El Ministerio de la Producción (PRODUCE) el año 2002, presentó el informe final para la actividad industrial de producción de papel, en donde señala que al mes de setiembre del año 2002, el sub-sector papelerero estaba conformado por 50 empresas operativas, de las cuales 10 pertenecían a personas naturales (20,0%) y 40 a personas jurídicas (80,0%). Según datos de la SUNAT, presentados por el Departamento de Estudios Económicos del BWS en un reporte para el sector, el total de empresas operativas registradas a diciembre del 2000 ascendía a 436 unidades (incluye las diferentes escalas de producción); de los cuales 356 empresas (81,7%) se encontraban ubicadas en Lima, seguida por el Callao y la Libertad con 19 empresas (4,4%) cada una.

El reporte sectorial presentado por el BWS el 2002, señala que en 1999, el sub-sector papelerero aportó el 0,8% del PBI nacional, esto representa una contribución de US\$ 431 millones a los US\$ 7824 millones generados anualmente por el sector manufacturero. Dado que la producción del sub-sector papelerero ha mostrado una tendencia creciente en los últimos años, se estima que en la actualidad esta cifra sea mayor.

1.3.2. TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES

En el tratamiento de lodos residuales existe una gama de bioprocesos disponibles, los dos de los más eficientes para convertir lodos residuales en productos útiles son: el compostaje y la lombricultura, son las modalidades frecuentes de destino final de estos residuos.

a) Compostaje

Leege y Thompson (1997) definen al compostaje como: “proceso manejado, que controla la transformación y descomposición biológica del material biodegradable en una sustancia parecida al humus llamada compost”.

- Ventajas

Al respecto, Falcón (2005), dice que el proceso de compostaje permite obtener la estabilización del lodo, así mismo produce una reducción significativa en su contenido de coliformes fecales y remoción de agentes patógenos, siendo los riesgos sanitarios mínimos para el hombre, animales y vegetales.

El compost obtenido puede ser utilizado como mejorador de suelos para el cultivo de bosques y pastizales, así como también, en parques y jardines.

El proceso de compostaje además de ser una alternativa para el manejo de lodos mucho más económica que la disposición de los mismos en un relleno sanitario, favorece la conservación del medio ambiente, al reducir la formación de gas metano en las áreas donde se realiza el proceso, el cual puede contribuir al calentamiento global sino es apropiadamente capturado y reutilizado. La utilización del compost trae consigo, también muchos beneficios ambientales, entre ellos tenemos: la mejora del suelo y de la planta, por

la reducción del uso de fertilizantes y pesticidas; evita la contaminación del agua superficial y subterránea al no permitir el desplazamiento en el suelo de fertilizantes, metales pesados, químicos orgánicos, y pesticidas; previene la erosión de los suelos; y puede ser utilizado como biorremediador de suelos contaminados.

b) Lombricultura

Es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato. Es un proceso de descomposición natural, similar al compostaje, en el que el material orgánico, además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) existentes en el medio natural, también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz.

En el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad. Esta transformación hace que los niveles de pérdida de nutrientes como nitrógeno, potasio, etc., sean mínimos con relación a los sistemas tradicionales de compostaje. El resultado son dos productos de alta calidad: el humus y las lombrices.

- Ventajas y desventajas de la lombricultura

Tolerancia a los factores ambientales (pH, temperatura, humedad), potencial reproductor y capacidad de apiñamiento

La cría de lombrices no requiere grandes inversiones, espacios, infraestructura ni tiempo.

A través del humus de lombriz se restauran tierras que han sido devastadas por la erosión continua producida por ciertas explotaciones agrícolas, el uso continuo de fertilizantes artificiales, y muchos otros factores degradantes.

La harina de lombriz contiene del 60 al 80% de proteína cruda que le ubica como uno de los alimentos de mayor calidad. Sus propiedades se pueden utilizar para producir

carne de altísima calidad y a muy bajo costo; con una rentabilidad y productividad no alcanzada jamás por otra actividad destinada a la obtención de carne.

La lombricultura provoca una disminución de metales pesados, y el producto final contiene hormonas que acelera el crecimiento de las plantas, Los residuos orgánicos pueden ser procesados rápidamente por los gusanos. Se convierten en un material estable, no tóxico, con buena estructura, que tiene un potencial alto como acondicionador de suelo y abono de valor para el crecimiento de plantas.

La desventaja de la lombricultura radica en la sanidad de las lombrices ya que pueden verse afectadas por la presencia de bacterias, lesiones e infecciones producidas por acción de insectos o parásitos, la presencia de moscas y mosquitos, ciempiés u hormigas, también hay que tener cuidado con los depredadores directos más frecuentes como pájaros, ratas, ratones, escarabajos, ácaros, gorgojos, babosas, etc.

Cardoso y Ramírez (2000) mencionan que la calidad agronómica de la vermicomposta la ubica como un material rico en materia orgánica (60%), rico en nutrimentos, con un alto valor de capacidad de intercambio catiónica (60,2 meq/100g), lo que nos indica que si este desecho se utiliza en agricultura proporcionara un incremento en la fertilidad de suelo. El único problema que se presentó en la vermicomposta desde un punto de vista agronómico fue su valor de C.E (4,0 mmhos/cm), el cual puede tener efecto negativo en cultivos sensibles a la salinidad.

c) Experiencias en el país

En el país, al igual que en otros, también se han realizado trabajos de investigación respecto al reciclaje de lodos residuales, así mencionamos la tesis de Eder Jesús Falcón Roque, titulada “Producción de compost a partir de los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Covicorti de SEDALIB S.A.- Trujillo”, año 2005, el objetivo principal del proyecto fué producir compost a partir de los lodos generados en la PTAR Covicorti, utilizando para ello la técnica del compostaje.

Pajuelo (2006) realizó la investigación denominada “Reciclaje de Lodos Residuales de la Industria del papel mediante la técnica de compostaje”, año 2006, el

objetivo principal fué evaluar y plantear la técnica de compostaje como alternativa de reciclaje para el manejo de lodos residuales por la industria de papel.

La generación de este tipo de lodos por parte de la empresa Kimberly Clark Perú S.A., en la ciudad de Lima es de 80 a 100 TM por día; las cuales son transportados hacia los rellenos sanitarios para su disposición final.

Pajuelo (2006) menciona que durante el 2004, la producción de papel a nivel nacional se incrementó en un 13,4% respecto al 2003, manteniéndose una tendencia creciente desde 1995. A pesar del crecimiento registrado en los últimos años el Perú es uno de los países de menor consumo per cápita de papel en el mundo, El Perú posee un nivel de 11,3 Kg anuales, muy por debajo de países latinoamericanos como Chile y Argentina que registran consumos de 42 y 49 Kg, respectivamente. En los Estados Unidos se registra un consumo per cápita de papel de 330 Kg., siendo el país con mayor consumo de papel, seguido por Alemania y Japón con 233 Kg y 230 Kg respectivamente.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), distrito de la Molina, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Los análisis de características físicas y químicas se realizaron en el Laboratorio del Departamento de Suelos de la Universidad. Los bioensayos en el Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible (CONSAS) de la Facultad de Agronomía, mientras que los ensayos de censo, medición y pesado de lombrices se efectuaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía.

2.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

De acuerdo a los registros meteorológicos del Observatorio Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en los meses que se realizó la fase experimental, es decir años 2006 y 2007, los parámetros respecto a temperatura y humedad relativa fueron los siguientes: Ver Cuadro 4 y 5.

En Cuadro 4 se presenta las condiciones climáticas durante el periodo del sembrado de lombrices.

CUADRO 4. VARIABLES CLIMATICAS EN EL OBSERVATORIO VON HUMBOLDT DE LA MOLINA

MESES	T° (°C)	HR (%)
Julio	17	70
Agosto	17,5	71
Septiembre	18	72
Octubre	19	75
Noviembre	21	84

Fuente: Observatorio Von Humboldt de la UNALM. 2006

La Temperatura y Humedad Relativa, registrada durante el periodo del experimento, se encuentra dentro de los rangos favorables para el desarrollo normal de la lombriz roja, así como reporta Ferruzi, (1988).

CUADRO 5. VARIABLES CLIMATICAS EN LA MOLINA

Meses	T (°C)	HR (%)
Enero	25	78
Febrero	25,6	80
Marzo	24,5	77

Fuente: Observatorio Von Humboldt de la UNALM. 2007

2.3. MATERIALES

- 250 g de lombrices (*Eisenia foetida*) por cama (Adultos).
- 15 camas de madera.
- Lodo residual de la industria de papel.
- Estiércol

El lodo residual utilizado proviene de lotes destinados a la realización de diferentes investigaciones, entre ellas la técnica de lombricultura. La empresa Kimberly Clark Perú S.A. de Lima, provee este material.

2.4. METODOLOGÍA

Se presenta la metodología empleada por cada objetivo:

2.4.1. EVALUACIÓN TEMPORAL DE LAS LOMBRICES (BIOENSAYO 1)

a. Preparación de camas de lombricultura

Las camas para el sembrado de lombrices se realizaron en cajas de madera de dimensiones: 0,6 x 0,4m x 0,25 m, con un volumen de 0,06 m³ se incorporó a estas cajas mezclas de lodo de papel + estiércol vacuno, el número total de camas fueron 15, las camas se ubicaron en el invernadero del Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible (CONSAS) de la Facultad de Agronomía.

b. Elaboración del sustrato (alimento de las lombrices)

Los materiales empleados en esta primera etapa de investigación fueron preparados de la siguiente manera:

El estiércol de Vacuno fue recolectado del establo de la Universidad; con el se procedió a formar una pila para lavarlo, con la finalidad de disminuir la alta cantidad de sales contenida en este.

Se realizó la mezcla del lodo residual de la industria del papel y el estiércol ya lavado, se homogenizó antes de ser incorporado a las camas; se prepararon diferentes porcentajes de mezcla variando la proporción de lodo en 100%, 75%, 50%, 25%, 0% para conformar el sustrato para la siembra de lombrices.

c. Siembra de Lombrices

Una vez preparado el sustrato y esparcido en las respectivas cajas, se prosiguió a sembrar las lombrices.

Se sembraron 250 g de lombrices en cada cama y se conformaron 5 tratamientos los cuales son mostrados en el cuadro 6.

CUADRO 6. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamiento	Descripción en Volumen
T ₁	100% de lodo residual de la industria del papel
T ₂	75% de lodo residual de la industria del papel + 25% de estiércol
T ₃	50% de lodo residual de la industria del papel + 50% de estiércol
T ₄	25% de lodo residual de la industria del papel + 75% de estiércol
T ₅	100% de estiércol

Fuente: Elaboración propia.

d. Control de la temperatura a través de los volteos

Muchos autores hacen referencia que las temperaturas no deban excederse a los 25 °C, debido a que el alimento tiende a perder calidad como sustrato alimenticio. En base a esta referencia se procede a controlar las temperaturas de las unidades experimentales por medio del volteo, el cual no solo airea a la pila sino que hace que este proceso de fermentación aeróbica sea mejor para los microorganismos en la descomposición del sustrato orgánico. Los riegos se hicieron de manera interdiaria y cada vez que el sustrato lo requería, por lo general se trataba de mantener la humedad cercana al 70% y verificando que tenga una aireación adecuada.

e. Evaluación de la población de lombrices en 300 cm³ de volumen

El muestreo de las lombrices se efectuó usando un recipiente cilíndrico de plástico de un volumen de 300 cm³ y la extracción de la muestra se realizó a manera de sacabocado.

La primera evaluación del muestreo sobre la población de lombrices (en diferentes estadíos) fue a los 60 días de la siembra. La evaluación consistió en determinar el número de individuos en sus diferentes estadíos.

La segunda evaluación fue a los 90 días de sembradas las lombrices, una tercera evaluación se realizó a los 120 días.

f. Evaluación de la longitud de las lombrices

Las lombrices a los 120 días de sembradas fueron colectadas para evaluar su longitud.

Para evaluar la longitud de las lombrices se utilizaron 10 lombrices adultas de cada uno de los cinco tratamientos.

Se separó en cinco placas Petri .10 individuos de los cinco tratamientos, se procedió a medirlas con ayuda del vernier.

g. Evaluación de los pesos (fresco y seco)

Las lombrices a los 120 días de sembradas fueron colectadas para evaluar su peso. Para evaluar el peso (fresco y seco) de las lombrices se utilizaron 10 lombrices adultas de cada uno de los cinco tratamientos.

Se utilizaron cinco placas Petri conteniendo las 10 lombrices de los cinco tratamientos respectivamente, fueron pesadas en estado fresco y después de 24 horas en la estufa, a 60 °C. (Se consideró medir y pesar 10 individuos de cada cama).

Foto 1. Camas con las lombrices sembradas.



Foto 2. Evaluación de la variación temporal de la cantidad de lombrices en sus edades biológicas.



Foto 3. Proceso de transformación del sustrato mediante las lombrices



2.4.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AGRONÓMICA DEL ESTIÉRCOL DE LOMBRIZ (Bioensayo 2, Crecimiento de Maíz)

Se evalúa el efecto de los diferentes tipos de estiércoles de lombriz en el crecimiento del maíz.

Los sustratos preparados resultaron de la combinación del estiércoles de lombriz obtenido de cada uno de los tratamientos con arena fina (0%, 15%, 25%, 50%, 75% y 100% estiércol en volumen) de la cantera de la Universidad La Molina, lo que dio un total de 18 sustratos diferentes, con la finalidad de incorporarlos en macetas (recipientes de plástico de 1 litro de volumen) para la posterior siembra del maíz.

a. Preparación de los sustratos

Se realizaron mezclas de estiércol de lombriz con arena fina de la cantera de la Universidad La Molina en cada maceta en proporciones de: 0%, 15%, 25%, 50%, 75% y 100% estiércol de lombriz en volumen; de tal manera que se obtuvo 6 sustratos con 3 repeticiones de cada uno de ellos, por lo tanto se preparó 18 macetas en total. Posteriormente, a cada maceta se regó con agua cuando se consideró necesario.

b. Sembrado y manejo del maíz en macetas

Se sembró 5 semillas de maíz por maceta; a los 20 días se desahijaron, dejando las 2 mejores plántulas. A los 70 días se cosecharon y se evaluó la producción de materia seca de la plántula y raíz por maceta.

c. Evaluación del crecimiento de las plántulas de maíz

Una vez realizada la cosecha a los 70 días del sembrado, se midió la longitud de cada una de las plántulas.

d. Evaluación del peso del maíz

Una vez realizada la cosecha a los 70 días del sembrado, se determinó el peso de cada una de las plántulas, incluyendo su raíz.

**CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRATAMIENTOS DE --
CRECIMIENTO DE MAIZ**

Tratamiento	Descripción en Volúmen
C ₁	100% Estiércol de lombriz
C ₂	75% Estiércol de lombriz + 25% de arena fina
C ₃	50% Estiércol de lombriz + 50% de arena fina
C ₄	25% Estiércol de lombriz + 75% de arena
C ₅	15% Estiércol de lombriz +85% arena
C ₆	100% arena

Sembrado y manejo del maíz en macetas



2.4.3. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL ESTIÉRCOL DE LOMBRIZ

A los 120 días de sembradas las lombrices, se cosecharon éstas, y el estiércol generado por las lombrices se llevó al Laboratorio de Suelos para su respectiva caracterización.

a. Caracterización física y química de los diferentes tipos de humus

Se realizó la recolección de las muestras de estiércol de lombriz obtenido en los diferentes tratamientos, se llevaron en frascos de vidrio, para su respectivo análisis físico y químico a realizarse en el laboratorio de suelos de la UNALM.

2.4.4. DISEÑO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la evaluación temporal de la cantidad de lombrices, medidas, peso, pruebas agronómicas (longitud de planta, peso de materia seca de planta y raíz, número de hojas) se aplicó el Diseño Completo al azar, la evaluación estadística se realizó con el programa estadístico SAS, el análisis se realizó en el centro de computo de la EPG de la UNALM, para los resultados de las pruebas agronómicas, se realizó Análisis de Varianza (ANOVA), prueba de Tukey.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos con su respectiva discusión de la presente investigación se muestran a continuación.

3.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL LODO RESIDUAL Y ESTIERCOL

Se analizaron las características químicas del lodo residual, las cuales se observan en el cuadro 8.

En el cuadro 8 se observa que la cantidad de Materia Orgánica es buena (68%), lo que garantiza la alimentación de las lombrices y transformación de este material, tampoco presenta problemas de salinidad y es ligeramente alcalino.

CUADRO 8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL LODO RESIDUAL

Residuo industrial de la Planta de Papel – Lima	Características						
	CE (mS/cm)	pH	Materia Orgánica (%)	N (%)	C (%)	Relación Carbono Nitrógeno	Relación apropiada de Carbono Nitrógeno para Compost
Lodo de Papel	0,20	7,58	68,0	0,28	39,44	140,9	33

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2005. Proporcionado por la empresa INGEMEDIOS S.A.C. Pajuelo, 2006. (Tesis “Reciclaje de Lodos Residuales de la Industria de Papel mediante la técnica de compostaje”).

El cuadro 9 muestra que todos los elementos presentan concentraciones por debajo de los niveles requeridos por la Normatividad de Calidad de Compost Canadiense, según la línea directriz para la calidad de compost de CCME (Ministers Canadian Council of the Environment) citado por Hogg (2002) para un nivel de categoría A.

CUADRO 9. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL LODO DE PAPEL DE ELEMENTOS TRAZA: COBRE, ZINC, PLOMO, CADMIO Y CROMO.

Elemento	Concentración (ppm)	Normatividad de Calidad Canadiense para Compost Categoría A (CCME)
Cu (ppm)	92,3	100
Zn (ppm)	110	500
Pb (ppm)	42	150
Cd (ppm)	Menor a 1	3
Cr (ppm)	28	210

Fuente: Informe de ensayo GQ30279, SGS del Perú S.A.C., Callao, 04/03/03

El cuadro 10 muestra que los elementos químicos potencialmente tóxicos en el lodo del papel presentan concentraciones por debajo de los niveles requeridos por la EPA Section 503.13 (Estados Unidos) y por la Comunidad Económica Europea (Directiva 86/278/CEE).

CUADRO 10. CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN EL LODO DE LA INDUSTRIA DE PAPEL KIMBERLY CLARK PERÚ S.A.

Concentración de elementos tóxicos	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
Lodo de la industria de papel	92,3	110	42	<1	28
Límites Máximos Permisibles para biosólidos (ppm)					
EPA Section 503.13 (Estados Unidos) ^(b)	1500	2800	300	39	3000
Directiva 86/278/CEE ^(b)	1000 a 4000	2500 a 4000	750 a 1200	20 a 40	-

^(a) Peso Seco mg/kg – miligramos por kilogramo

En el Cuadro 11 se presenta la caracterización del estiércol que se empleó en el presente trabajo de investigación.

Según este cuadro se aprecia que el estiércol es básico, con un pH por encima de 8 y con una concentración salina de 15,84 mS/cm

CUADRO N° 11. CARACTERIZACIÓN DEL ESTIERCOL

	pH	CE (mS/cm)	M.O (%)	N (%)	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	Hd	Na
Estiércol	8,4	15,84	52,40	3,50	1,93	5,06	3,84	1,98	18,45	1,04

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Citado de Pajuelo, 2006.

3.2. EVALUACIÓN DE VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CANTIDAD DE LOMBRICES (*Eisenia foetida*) POR ESTADIOS

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo podemos indicar que el efecto de los diferentes sustratos sobre el incremento de biomasa de lombrices tuvo diferentes respuestas.

3.2.1. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR ESTADÍOS A LOS 60 DÍAS

a. Cocones

Se puede apreciar que las diferentes proporciones de lodos de la industria del papel tienen efecto sobre la capacidad reproductiva de la lombriz, siendo el T1 (100% lodo de la industria del papel) y el T2 (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol), quienes presentan los valores máximos (13,33 y 11 cocones respectivamente).

Estos resultados se deben al alto contenido de materia orgánica en el lodo residual de la industria del papel y proteína componentes de los tratamientos antes indicados, siendo estos suministros esenciales para el mejor desarrollo de la lombriz, tal como lo indica Ferruzzi (1994).

La población de cocones de lombrices ha variado significativamente ($p < 0,01$), debido a las diferentes combinaciones de lodo de la Industria del papel utilizado como sustrato alimenticio (cuadros 12 y 13). La mayor cantidad de cocones ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel, se deduce a que este tiene un contenido de materia orgánica muy bueno.

En la figura 1 se muestra el promedio de cocones a los 60 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

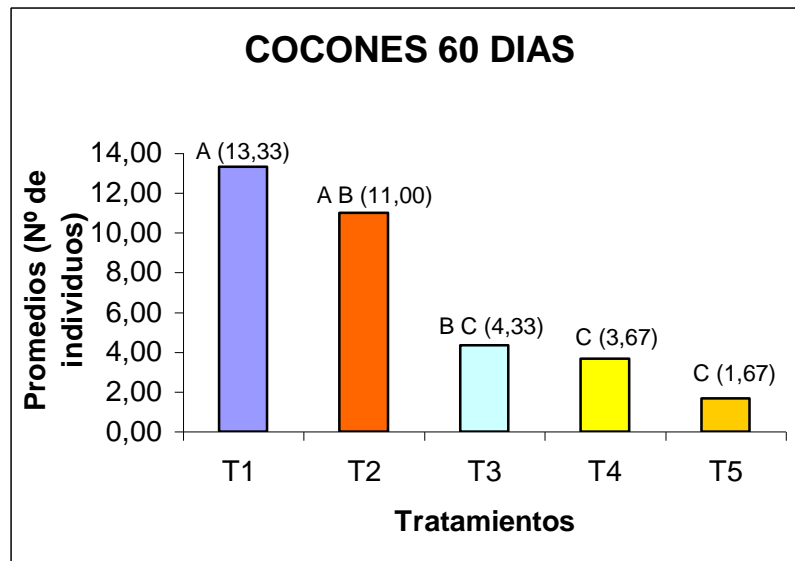


Fig. 1. Promedio del conteo de cocones a los 60 días de sembrado (3 repeticiones)

CUADRO 12. ANÁLISIS DE VARIANZA DE COCONES A LOS 60 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	307,73	76,93	10,89	0,0012	**
Error	10	70,66	7,06			
Total	14	378,40				
C.V.	39,092					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de cocones de la lombriz roja a los 60 días nos indica que entre tratamientos existe alta significación estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 39,09%.

CUADRO 13. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	13,33	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	11,00	A B
T ₃ (50% L + 50 E)	4,33	B C
T ₄ (75% L + 25E)	3,67	C
T ₅ (100% E)	1,67	C

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey a nivel de 0,05 nos indica que existe diferencia significativa del T₁ con respecto a T₃, T₄ y T₅; T₂ resultó con diferencia significativa frente a T₃, T₄ y T₅. Mientras que entre T₁ y T₂ no existe diferencia significativa.

b. Juveniles

Se observa que las diferentes proporciones de lodos de la industria del papel tienen efecto sobre el desarrollo de la lombriz, siendo el T₂ (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol) y T₁ (100% lodo de la industria del papel) quienes presentan los valores máximos (11 y 10,67 juveniles respectivamente).

Se aprecia que el desarrollo de los juveniles alcanzan valores máximos en los tratamientos (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol) y (100% lodo de la industria de papel), esto debido a la composición del lodo de la industria del papel ya que tiene un contenido muy bueno de materia orgánica 68%.

En la figura 2 se muestra el promedio de juveniles a los 60 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

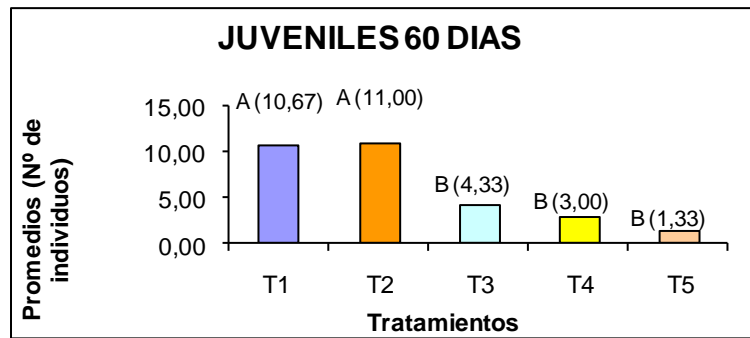


Fig. 2. Promedio del conteo de lombrices juveniles a los 60 días de sembrado (3 repeticiones).

CUADRO 14. ANÁLISIS DE VARIANZA DE JUVENILES LOS 60 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	240,93	60,23	37,65	<,0001	**
Error	10	16,00	1,60			
Total	14	256,93				
C.V.	20,85					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de juveniles de la lombriz roja a los 60 días nos indica que entre tratamientos existe alta significación estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 20,85%.

CUADRO 15. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	10,67	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	11,00	A
T ₃ (50% L + 50 E)	4,33	B
T ₄ (75% L + 25E)	3,00	B
T ₅ (100% E)	1,33	B

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey, a nivel de 0,05, nos indica que existe diferencia significativa del T₁ con respecto a T₃, T₄ y T₅; y del T₂ con respecto a T₃, T₄, y T₅.

c. Preclitelados

Se observa que las diferentes proporciones de lodos de la industria del papel tienen efecto sobre el desarrollo de la lombriz, los tratamientos T1 (100% lodo de la industria del papel), T2 (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol), T3 (50% lodo de la industria del papel + 50% estiércol), T4 (25% lodo de la industria del papel + 75% estiércol) son similares entre ellos; los tratamientos T1 (100% lodo de la industria del papel) y T2 (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol) quienes presentan los valores máximos (16 y 15,33 preclitelados respectivamente).

Se aprecia que el desarrollo de los preclitelados alcanzan valores máximos en los tratamientos T1 (100% lodo de la industria de papel) y T2 (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol) esto debido a la composición del lodo de la industria del papel ya que tiene un contenido muy bueno de materia orgánica 68%.

En la figura 3 se muestra el promedio de preclitelados a los 60 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

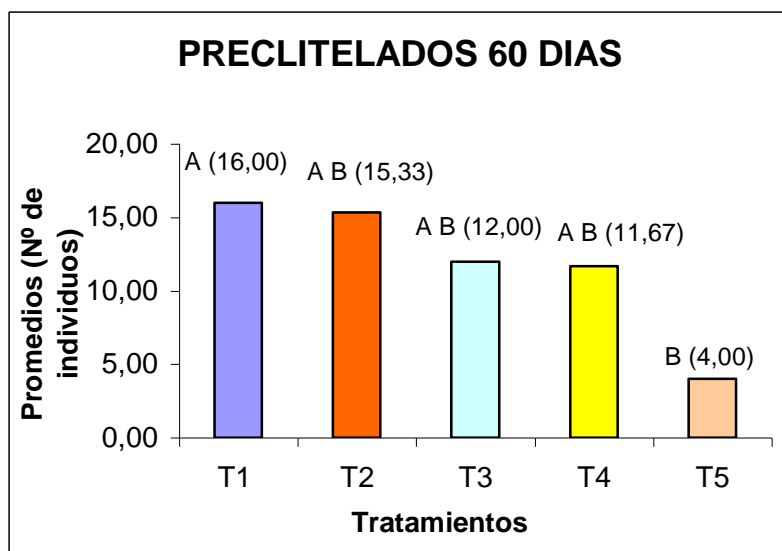


Fig. 3. Promedio de conteo de lombrices preclitelados a los 60 días de sembrado (3 repeticiones).

CUADRO 16. ANÁLISIS DE VARIANZA DE PRECLITELADOS A LOS 60 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	273,06	68,26	3,49	0,0494	*
Error	10	195,33	19,53			
Total	14	468,40				
C.V.	37,454					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de preclitelados de la lombriz roja a los 60 días nos indica que entre tratamientos existe significación estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 37,45%.

CUADRO 17. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	16,00	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	15,33	A B
T ₃ (50% L + 50 E)	12,00	A B
T ₄ (75% L + 25E)	11,67	A B
T ₅ (100% E)	4,00	B

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que existe diferencia significativa del T₁ con respecto a T₅ es decir T₁ (100% lodo residual) resultó significativo frente a T₅.

Luego de dos meses de sembradas las lombrices, se realizó otro conteo de huevos, se contaron lombrices bebés, y se siguió apreciando a misma tendencia, en ambos parámetros, Se deduce que el estiércol enriquece al lodo de la industria del papel y viceversa, para lograr un sustrato más atractivo para que la lombriz, luego de adaptarse a este, se reproduzca y sus huevos eclosionen, Es de hacer notar que este enriquecimiento del lodo con estiércol favorece la reproducción cuando la mezcla es con el lodo en mayor proporción que el estiércol, según los resultados obtenidos por Auxilia (2004).

d. Clitelados

La población de clitelados a los 60 días indican que los tratamientos (100% lodo de la industria del papel), T2 (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol), T3 (50% lodo de la industria del papel + 50% estiércol), T4 (25% lodo de la industria del papel + 75% estiércol) son similares entre ellos; La mayor cantidad de clitelados ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel, debido a que este tiene un contenido de materia orgánica muy bueno.

En la figura 4 se muestra el promedio de clitelados a los 60 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

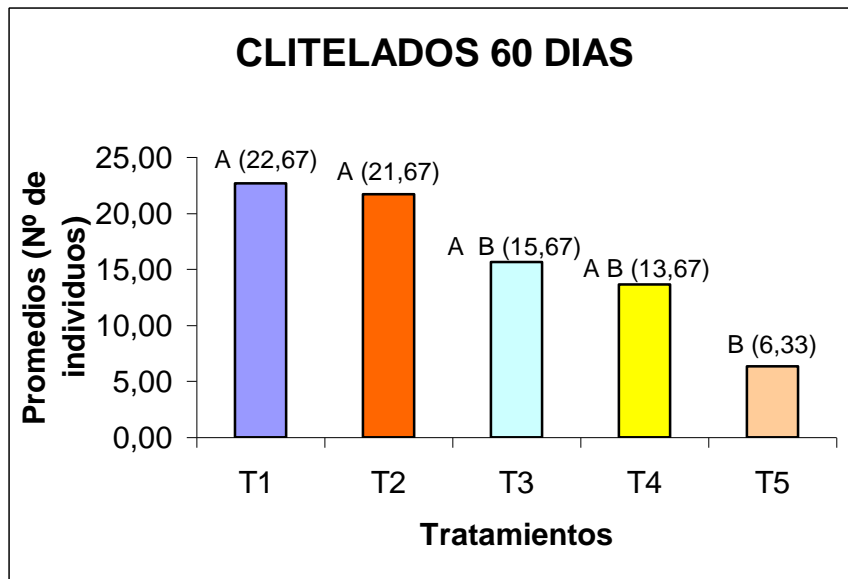


Fig.4. Promedio de conteo de lombrices Clitelados a los 60 días de sembrado (3 repeticiones).

CUADRO 18. ANÁLISIS DE VARIANZA DE CLITELADOS A LOS 60 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	526,66	131,66	8,48	0,003	**
Error	10	155,30	15,53			
Total	14	682,00				
C.V.	24,63					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de clitelados de la lombriz roja a los 60 días nos indica que entre tratamientos existe alta significación estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 24,63%.

CUADRO 19. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	22,667	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	21,667	A
T ₃ (50% L + 50 E)	15,667	A B
T ₄ (75% L + 25E)	13,667	A B
T ₅ (100% E)	6,333	B

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que existe diferencia significativa del T₁ con respecto a T₅ y existe diferencia significativa con T₂ con respecto a T₅ es decir T₁ y T₂ resultaron significativo frente a T₅.

3.2.2. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR ESTADÍOS A LOS 90 DÍAS

a. Cocones

Se observa que el número de cocones a los 90 días en el tratamiento T1 (100% de lodo de la industria del papel), se ha incrementado con respecto a la evaluación de los 60 días, esto puede deberse a la adaptación de la lombriz roja al medio, puede ser debido a las condiciones del sustrato.

La mayor cantidad de cocones ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel, debido a que este tiene un contenido de materia orgánica muy bueno.

En los resultados de Auxilia (1994), en el primer conteo después de un mes de sembrada las lombrices, observo que en las mezclas de 80%, 70% y 60% del lodo de la industria del papel había un mayor número de cocones con respecto a las otras de menor proporción de lodo de la industria de papel, luego de dos meses de sembradas las lombrices realizó un segundo conteo de cocones y lombrices bebes, se siguió apreciando la misma

tendencia, se deduce que el estiércol favorece la reproducción cuando la mezcla es con el lodo en mayor proporción que el estiércol.

En la figura 5 se muestra el promedio de cocones a los 90 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

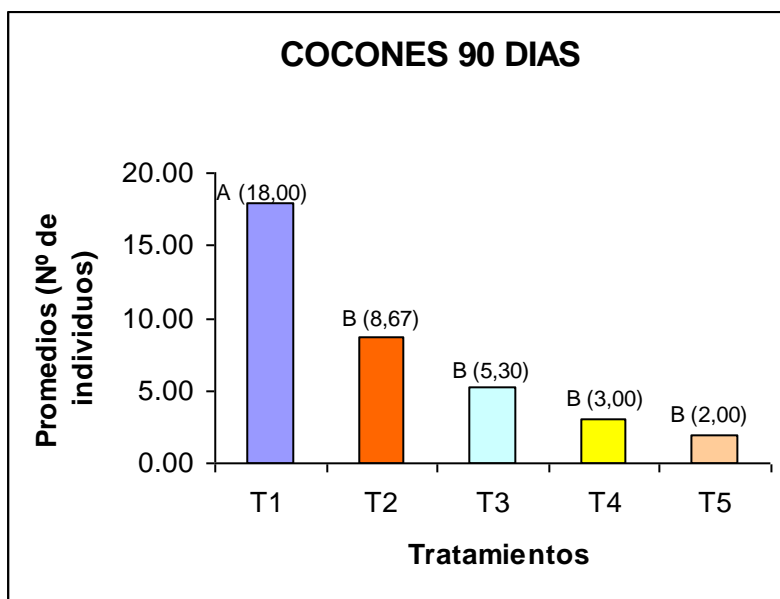


Fig.5. Promedio de conteo de Cocones a los 90 días de sembrado (3 repeticiones)

CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA DE COCONES A LOS 90 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	500,26	125,06	11,04	0,0011	**
Error	10	113,33	11,33			
Total	14	613,60				
C.V.	45,49					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de cocones de la lombriz roja a los 90 días nos indica que entre el tratamiento T1 (100% lodo de la industria del papel) con los demás tratamientos existe alta significación

estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 45,49%.

CUADRO 21. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	18,00	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	8,67	B
T ₃ (50% L + 50 E)	5,30	B
T ₄ (75% L + 25E)	3,00	B
T ₅ (100% E)	2,00	B

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que existe diferencia significativa del T₁ con respecto a T₂, T₃, T₄ y T₅ es decir T₁ resultó significativo frente a T₂, T₃, T₄ y T₅. Se deduce que la lombriz se adaptó mejor a este sustrato, las condiciones fueron adecuadas para su reproducción.

b. Juveniles

Se observa que el número de juveniles a los 90 días en el tratamiento T1 (100% de lodo de la industria del papel) y el T2 (75% de lodo de la industria del papel + 25% estiércol) muestran los valores más alto con respecto a los demás tratamientos, esto puede deberse a la adaptación de la lombriz roja al medio, puede ser debido a las condiciones de los sustratos.

La mayor cantidad de juveniles ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel, debido a que este tiene un contenido de materia orgánica muy bueno.

En la figura 6 se muestra el promedio de juveniles a los 90 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

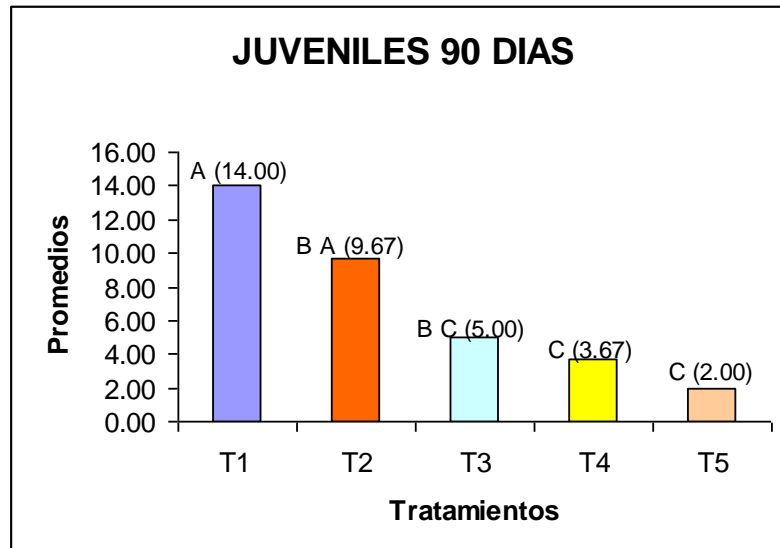


Fig.6. Promedio de conteo de lombrices juveniles a los 90 días de sembrado (3 repeticiones).

CUADRO 22. ANÁLISIS DE VARIANZA DE JUVENILES A LOS 90 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	288,40	72,10	16,64	0,002	**
Error	10	43,33	4,33			
Total	14	331,73				
C.V.	30,31					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de juveniles a los 90 días nos indica que el tratamiento T1 (100% lodo de la industria del papel) muestra alta diferencia significativa con los tratamientos T3 (50% lodo de la industria del papel + 50% estiércol), T4 (25% lodo de la industria del papel + 75% estiércol) T5 (100% estiércol), con un coeficiente de variabilidad de 30,31%.

CUADRO 23. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	14,00	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	9,67	A B
T ₃ (50% L + 50 E)	5,00	B C
T ₄ (75% L + 25E)	3,67	C
T ₅ (100% E)	2,00	C

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey a nivel de 0,05 nos indica que existe diferencia significativa del T₁ con respecto a T₃, T₄ y T₅ y del T₂ con respecto a T₄, T₅ es decir T₁ resultó significativo frente a T₃, T₄ y T₅; T₂ resultó significativo frente a T₄ y T₅

c. Preclitelados

Se observa que el número de preclitelados a los 90 días en el tratamiento T1 (100% de lodo de la industria del papel), se ha incrementado con respecto a la evaluación de los 60 días, esto puede deberse a la adaptación de la lombriz roja al sustrato.

La mayor cantidad de preclitelados ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel, debido a que este tiene un contenido de materia orgánica muy bueno.

Se deduce de estos resultados que el tratamiento T1 (100% lodo de la industria del papel) es el más adecuado para el desarrollo de los preclitelados, ya que el sustrato es un material rico en celulosa.

En la figura 7 se muestra el promedio de preclitelados a los 90 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

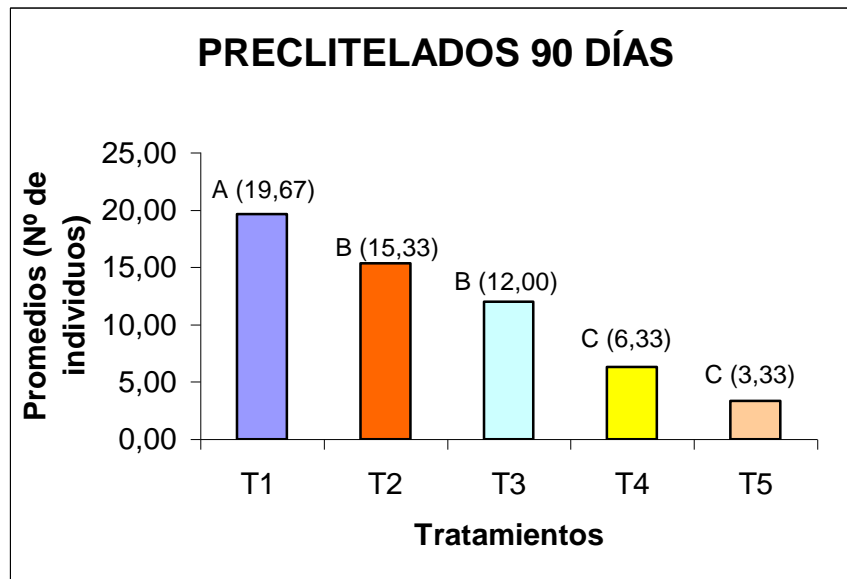


Fig.7. Promedio de conteo de lombrices Preclitelados a los 90 días de sembrado (3 repeticiones).

CUADRO 24. ANÁLISIS DE VARIANZA DE PRECLITELADOS A LOS 90 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	524,66	131,16	63,47	<,0001	**
Error	10	20,66	2,06			
Total	14	545,33				
C.V.	12,68					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de preclitelados a los 90 días nos indica que el tratamiento T1 (100% lodo de la industria del papel) muestra alta diferencia significativa con los tratamientos T2 (75% lodo de la industria del papel + 25% estiércol), T3 (50% lodo de la industria del papel + 50% estiércol), T4 (25% lodo de la industria del papel + 75% estiércol) T5 (100% estiércol), con un coeficiente de variabilidad de 12,68%.

CUADRO 25. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	19,67	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	15,33	B
T ₃ (50% L + 50 E)	12,00	B
T ₄ (75% L + 25E)	6,33	C
T ₅ (100% E)	3,33	C

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey a nivel de 0,05 nos indica que existe diferencia significativa del T₁ respecto a T₂, T₃, T₄ y T₅ y del T₂ con respecto a T₄, T₅; es decir T₁ resultó significativo frente a los demás tratamientos.

d. Clitelados

El número de clitelados a los 90 días en el tratamiento T1 (100% de lodo de la industria del papel) y T2 (75% lodo de la industria del papel+ 25% estiércol), los valores máximos se obtuvieron en estos tratamientos (26 y 20,67 respectivamente), el número de clitelados aumento con respecto a la evaluación de los 60 días, esto puede deberse a la adaptación de la lombriz roja al sustrato.

La mayor cantidad de clitelados ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel, debido a que este tiene un contenido de materia orgánica muy bueno.

Se deduce de estos resultados que el tratamiento T1 (100% lodo de la industria del papel) y T2 (75% lodo de la industria del papel + 25% estiércol) son los más adecuados para el desarrollo de los clitelados, ya que el sustrato es un material rico en celulosa.

En la figura 8 se muestra el promedio de clitelados a los 90 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

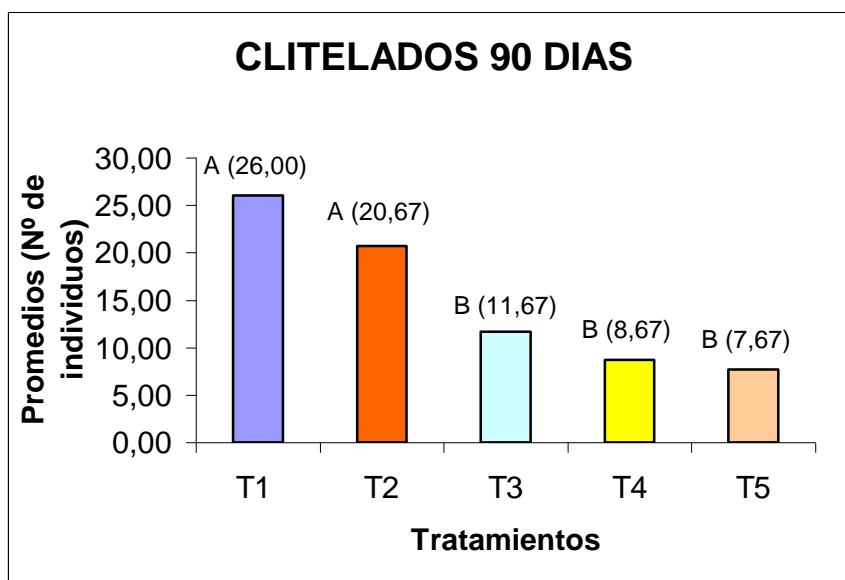


Fig. 8. Promedio de contéo de lombrices Clitelados a los 90 días de sembrado (3 repeticiones).

CUADRO 26. ANÁLISIS DE VARIANZA DE CLITELADOS A LOS 90 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	774,26	193,56	29,04	<,0001	**
Error	10	66,66	6,66			
Total	14	840,93				
C.V.	17,29					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de clitelados de la lombriz roja a los 90 días nos indica que entre tratamientos existe alta significación estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 17,29%.

CUADRO 27. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	26,00	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	20,67	A
T ₃ (50% L + 50 E)	11,67	B
T ₄ (75% L + 25E)	8,67	B
T ₅ (100% E)	7,67	B

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey a nivel de 0,05 nos indica que existe alta diferencia significativa del T₁ y T₂ respecto a los demás; es decir T₁ y T₂, resultó significativo frente a los demás tratamientos.

Auxilia (2004), menciona que la Lombriz Roja Californiana es capaz de sobrevivir y reproducirse a mediano plazo en todas las proporciones de lodo con estiércol, de igual modo lo hace, a mediano plazo y largo plazo, en un sustrato 100% lodo residual.

3.2.3. NUMERO DE INDIVIDUOS POR ESTADÍOS A LOS 120 DÍAS

a. Preclitelados

Se deduce que los resultados obtenidos para todos los tratamientos a los 120 días de sembradas las lombrices es por el agotamiento de sustrato alimenticio, la población de preclitelados descendió en todos los tratamientos como se observa en el cuadro 29.

CUADRO 28. ANÁLISIS DE VARIANZA DE PRECLITELADOS A LOS 120 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	11,33	2,83	1,18	0,37	N/S
Error	10	24,00	2,40			
Total	14	35,33				
C.V.	33,19					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de preclitelados a los 120 días nos indica que entre tratamientos no existe diferencia significativa estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 33,19%.

CUADRO 29. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	5,667	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	5,33	A
T ₃ (50% L + 50 E)	5,00	A
T ₄ (75% L + 25E)	4,00	A
T ₅ (100% E)	3,33	A

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey a nivel de 0,05 nos indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Debido al agotamiento del sustrato alimenticio.

b. Clitelados

Estos resultados indican que la falta de sustrato alimenticio ocasiona la muerte de las lombrices en todos los tratamientos, sin embargo el numero mayor de lombrices se presento en el T1 (100% lodo de la industria del papel) y la del T2 (75% lodo de industria de papel + 25% estiércol), respecto a los demás tratamientos.

En la figura 9 se muestra el promedio de cocones a los 120 días de sembrado con sus respectivas repeticiones.

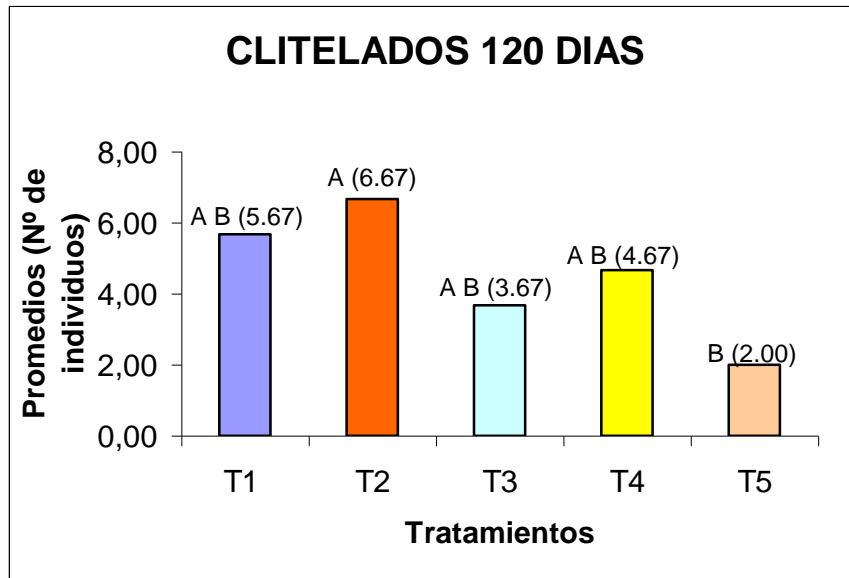


Fig. 9. Promedio de contéo de lombrices clitelados a los 120 días de sembrado (3 repeticiones).

CUADRO 30. ANÁLISIS DE VARIANZA DE CLITELADOS A LOS 120 DÍAS

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	39,06	9,76	5,23	0,015	*
Error	10	18,66	1,86			
Total	14	57,73				
C.V.	30,138					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de clitelados a los 120 días nos indica que entre tratamientos existe diferencia significativa estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 30,13%.

CUADRO 31. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₂ (75% L+ 25 E)	6,67	A
T ₁ (100% lodo)	5,67	A B
T ₄ (75% L + 25E)	4,67	A B
T ₃ (50% L + 25E)	3,67	A B
T ₅ (100% E)	2,00	B

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que existe diferencia significativa del T₂ respecto a T₅ es decir que T₂ resultó significativo frente a T₅. Esto debido a la ausencia de sustrato alimenticio.

3.2.4. CURVAS DE DESARROLLO DE LAS LOMBRICES (*Eisenia foetida*) POR ESTADÍOS DURANTE 120 DÍAS

Las figuras 10, 11, 12 y 13 muestran el desarrollo de cada uno de los estadios durante un tiempo de 120 días.

a. Cocones

Estos resultados se deben al alto contenido de materia orgánica en el lodo residual de la industria del papel y proteína componentes de los tratamientos antes indicados, siendo estos suministros esenciales para el mejor desarrollo de la lombriz, tal como lo indica Ferruzi (1994).

Carrión (1994), menciona que el incremento del numero de capullos en cada periodo de evaluación se observa que la postura de capullos en general para todos los tratamientos se incrementan rápidamente hasta los 45 días aproximadamente a partir de los cuales el incremento es leve hasta los 75 días aproximadamente para luego incrementarse nuevamente en forma rápida.

En la figura 10 se observa el máximo número de cocones entre los 60 y 90 días de sembradas las lombrices, con una disminución después de los 90 días, esto debido a la falta de alimento, guardando una relación directa el número de cocones con el tiempo. Es decir la producción de cocones sigue una tendencia exponencial decreciente con un $R^2 = 0,9989$

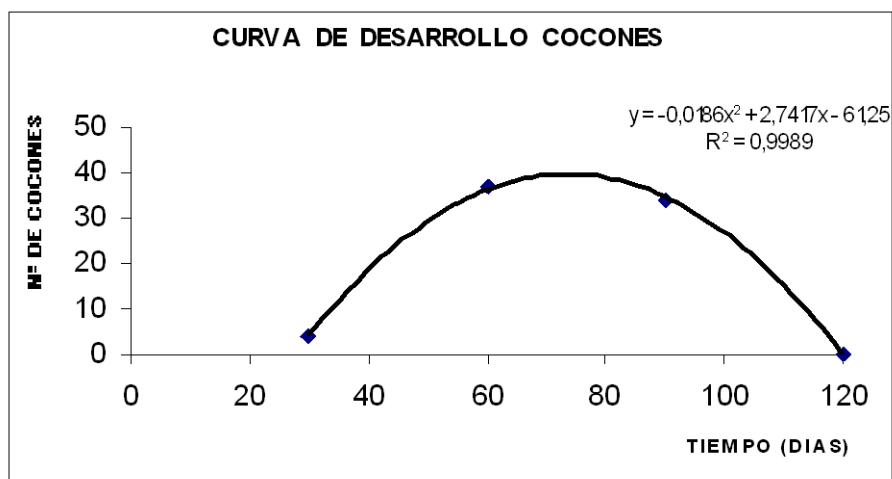


Fig.10. Curva de desarrollo de cocones durante 120 días de siembra

b. Juveniles

En la figura 11 el máximo número de juveniles se observa entre los 60 y 90 días de sembradas las lombrices, con una tendencia a disminuir pasado de los 90 días, debido al agotamiento del alimento, la relación es directa entre el número de juveniles y el tiempo. Es decir la producción de Juveniles sigue una tendencia exponencial decreciente con un $R^2 = 0,998$

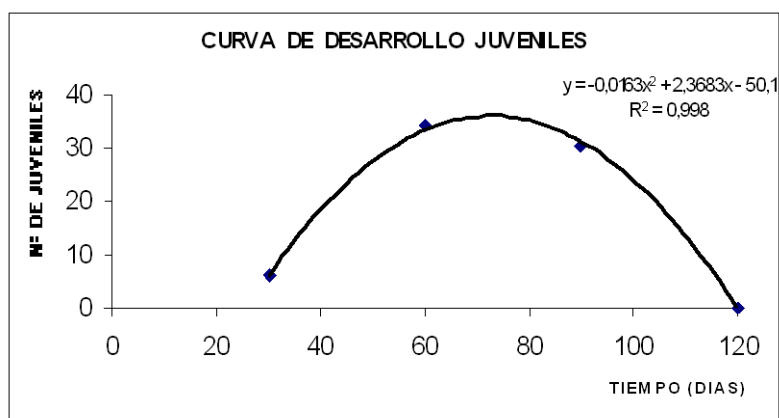


Fig.11. Curva de desarrollo de lombrices juveniles a los 120 días de siembra

c. Preclitelados

En la figura 12, se observa que el número máximo de preclitelados están entre los 60 y 90 días de sembradas las lombrices, con una tendencia a disminuir pasado de los 90 días, debido al agotamiento del alimento, la relación es directa entre el número de juveniles y el tiempo; La producción de preclitelados sigue una tendencia exponencial decreciente con un $R^2 = 0,9979$

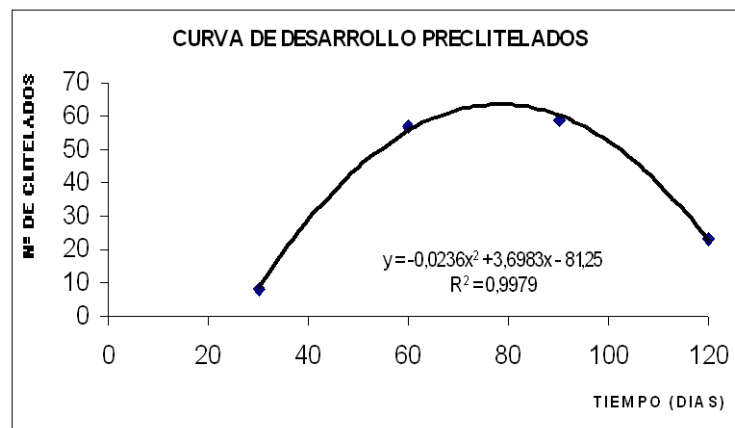


Fig.12. Curva de desarrollo de lombrices preclitelados a los 120 días de siembra

d. Clitelados

En la figura 13 el máximo número de juveniles se observa entre los 60 y 90 días de sembradas las lombrices, con una tendencia a disminuir pasado de los 90 días, debido al agotamiento del alimento, la relación es directa entre el número de juveniles y el tiempo; la producción de Clitelados sigue una tendencia exponencial decreciente con un $R^2 = 1$

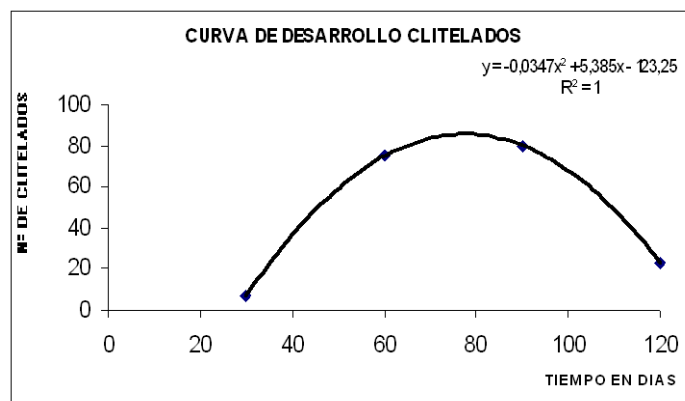


Fig. 13. Curva de desarrollo de lombrices clitelados a los 120 días de siembra

**CUADRO 32. CANTIDAD MÁXIMA DE INDIVIDUOS EN SUS
DIFERENTES EDADES BIOLÓGICAS**

Estadio	Nº Días	Nº Individuos	Estimado para el volumen de caja en el tiempo máximo
Cocones	74	40	4 800
Juveniles	73	36	4 320
Preclitelados	79	64	7 680
Clitelados	77	86	10 320

El cuadro 32 muestra en resumen la variación temporal de la cantidad máxima a los 74 días para cocones, a los 73 días para juveniles, a los 79 días los preclitelados y a los 77 días para clitelados, es decir los máximos valores se dan entre los 70 y 80 días del sembrado de lombrices.

Esto concuerda con Carrión (1994), mencionando que el incremento del número de capullos en cada periodo de evaluación se observa que la postura de capullos en general para todos los tratamientos se incrementa rápidamente hasta los 45 días aproximadamente a partir de los cuales el incremento es leve hasta los 75 días aproximadamente para luego incrementarse nuevamente en forma rápida.

Se puede afirmar que los diferentes estadios de *E.foetida* muestran una alta relación, entre el número de individuos y el tiempo de desarrollo.

3.2.5. ABUNDANCIA POBLACIONAL RELATIVA (Nº individuos/300cc) (*Eisenia foetida*) POR TRATAMIENTOS

Se puede apreciar que las diferentes proporciones de lodos de la industria del papel tienen efecto sobre la capacidad reproductiva de la lombriz, siendo el T1 (100% lodo de la industria del papel) y el T2 (75% lodo de la industria del papel +25% estiérco), quienes presentan los valores máximos (16,4 y 16 individuos respectivamente).

Estos resultados se deben al alto contenido de materia orgánica en el lodo residual de la industria del papel y proteína componentes de los tratamientos antes indicados, siendo

estos suministros esenciales para el mejor desarrollo de la lombriz, tal como lo indica Ferruzi (1994).

La población de lombrices ha variado significativamente ($p < 0,01$), debido a las diferentes combinaciones de lodo de la Industria del papel utilizado como sustrato alimenticio (cuadros 33y 34). La mayor cantidad de lombrices ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel y 75% lodo de la industria del papel+25% estiércol, se deduce que estos resultados son debido a que el sustrato tiene un contenido de materia orgánica muy bueno (Cuadro 6).

La figura 14 muestra la abundancia poblacional Relativa (Nº de individuos/300cc) de lombrices a los 60 días del sembrado.

a. Abundancia Poblacional Relativa (Nº individuos/300cc) (*Eisenia foetida*) a los 60 días (promedio de 3 repeticiones)

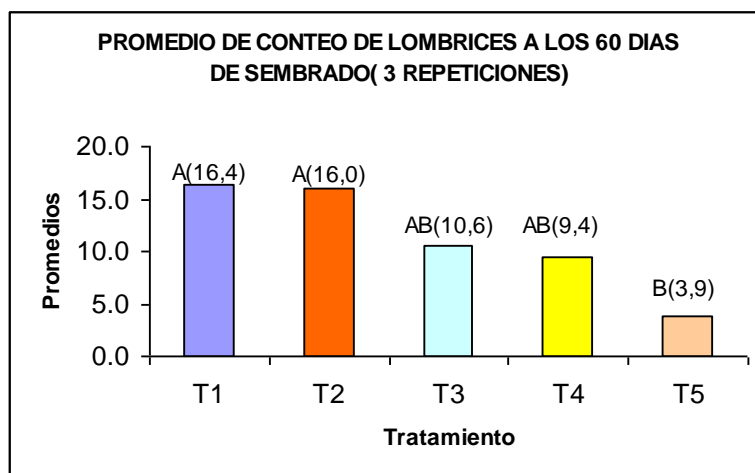


Fig. 14. Promedio del conteo de lombrices (Nº de individuos/300cc) a los 60 días de sembrado (3 repeticiones).

**CUADRO 33. PROMEDIOS DE ABUNDANCIA POBLACIONAL RELATIVA
(N° individuos/300cc) CONTADAS A LOS 60 DÍAS POR
TRATAMIENTOS (3 REPETICIONES)**

Estadíos	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅
Juveniles	10,7	11,0	4,3	3,0	1,3
Preclitelados	16,0	15,3	12,0	11,7	4,0
Clitelados	22,6	21,6	15,6	13,6	6,3
Promedios	16,4	16,0	10,6	9,4	3,9

**CUADRO 34. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS TRATAMIENTOS
CORRESPONDIENTES AL CENSO 1.**

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	965,911	241,47	8,14	<0,001	**
Error	40	1187,33	29,68			
Total	44	2153,24				
C.V.	26,39					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de lombrices a los 60 días nos indica que entre tratamientos existe alta diferencia significativa estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 26,39%.

CUADRO 35. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS: TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	16,4	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	16,0	A
T ₃ (50% L + 50 E)	10,6	AB
T ₄ (75% L + 25E)	9,4	AB
T ₅ (100% E)	3,9	B

L: Lodo residual de la industria de papel
E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que existe diferencia significativa del T₁ (100% lodo de la industria de papel) respecto a T₅ (100% estiércol), se deduce que el crecimiento y desarrollo de la lombriz roja californiana se puede dar en los cuatro primeros tratamientos, es decir que el lodo de la industria del papel enriquece el estiércol y viceversa, los dos primeros tratamientos alcanzaron los valores máximos de lombrices (16,4 y 16 respectivamente).

La adición de mayores cantidades de proteínas en la dieta de la lombriz puede producir un “envenenamiento proteico”, tal como lo reporta Ferruzi (1988), Se sabe que la fuente proteica sola ocasionaría la muerte de la lombriz; por tal razón siempre se deberá incluir en la ración alimenticia un porcentaje adecuado de fibra según menciona Ferruzi (1988).

b. Abundancia Poblacional Relativa (Nº individuos/300cc) (*Eisenia foetida*) a los 90 días (promedio de 3 repeticiones)

En los resultados obtenidos se puede apreciar que las diferentes proporciones de lodos de la industria del papel tienen efecto sobre el crecimiento y desarrollo de la lombriz, siendo los dos primeros tratamientos, T1 (100% lodo de la industria del papel) y el T2 (75% lodo de la industria del papel +25% estiércol), quienes presentan los valores máximos (19,9 y 15,2 individuos respectivamente).

Estos resultados podrían explicarse al alto contenido de materia orgánica en el lodo residual de la industria del papel y proteína componentes de los tratamientos antes indicados, siendo estos suministros esenciales para el mejor desarrollo de la lombriz, tal como lo indica Ferruzi (1994).

La población de lombrices ha variado significativamente ($p < 0,01$), debido a las diferentes combinaciones de lodo de la Industria del papel utilizado como sustrato alimenticio (cuadros 36 y 37). La mayor cantidad de lombrices ($p < 0,01$) se observó cuando se utilizó 100% de lodo residual de la industria del papel y 75% lodo de la industria del papel+25% estiércol, se deduce que estos resultados son debido a que el sustrato tiene un contenido de materia orgánica muy bueno (Cuadro 9).

Los resultados obtenidos por Becerra (1994), en el tratamiento de nivel 1/1 estiercol de equino + paja alcanza el valor máximo de 96 lombrices comparado con los demás tratamientos con diferentes estiércoles, se deduce que es por la alta cantidad de fibra de celulosa existente en el estiércol de equino como en la paja.

La figura 15 muestra la abundancia poblacional Relativa (Nº de individuos/300cc) de lombrices a los 90 días del sembrado.

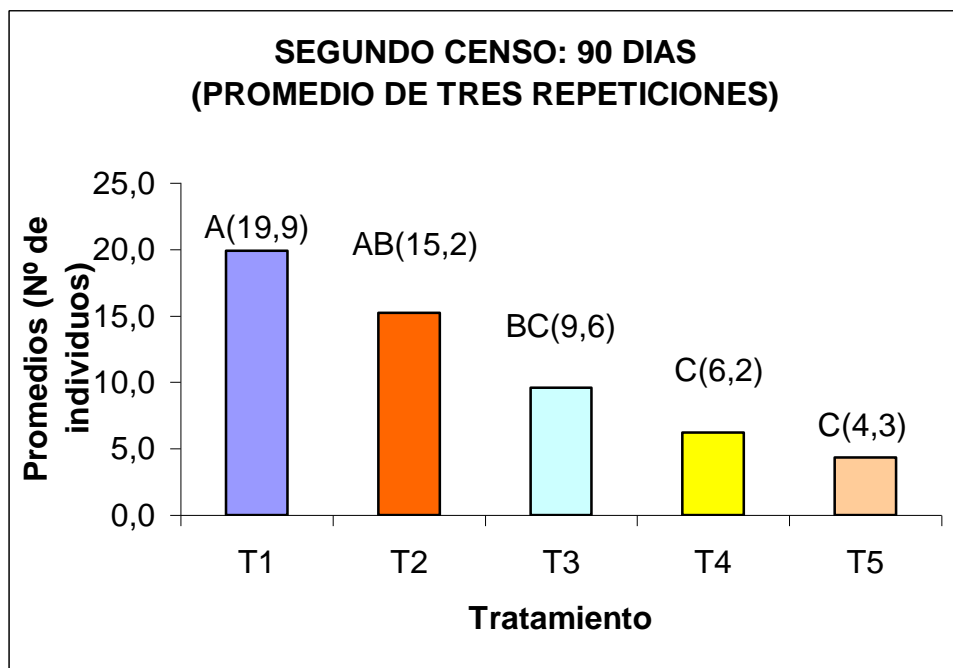


Fig.15. Promedio del conteo total de lombrices a los 90 días de sembrado (3 repeticiones).

**CUADRO 36. PROMEDIOS DE ABUNDANCIA POBLACIONAL RELATIVA
(N° individuos/300cc) CONTADAS A LOS 90 DÍAS POR
TRATAMIENTOS (3 REPETICIONES)**

Estadios	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅
Juveniles	14,0	9,7	5,0	3,7	2,0
Preclitelados	19,7	15,3	12,0	6,3	3,3
Clitelados	26,0	20,7	11,7	8,7	7,7
Promedios	19,9	15,2	9,6	6,2	4,3

**CUADRO 37. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS TRATAMIENTOS
CORRESPONDIENTES AL CENSO 2.**

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	1964,93	491,23	26,86	<0,0001	**
Error	55	1006,00	18,29			
Total	59	2970,93				
C.V.	42,21					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de lombrices a los 90 días nos indica que entre tratamientos existe alta diferencia significativa estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 42,21%.

CUADRO 38. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS: TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	16,4	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	16,0	AB
T ₃ (50% L + 50 E)	10,6	BC
T ₄ (75% L + 25E)	9,4	C
T ₅ (100% E)	3,9	C

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que existe diferencia altamente significativa del T₁ (100% lodo de la industria de papel) con respecto a T₃ (50% lodo de la industria de papel + 50% estiércol), T₄ (25% lodo de la industria de papel + 25% estiércol) y T₅ (100% estiércol); y T₂ (75% lodo de la industria de papel + 25% estiércol) con respecto a T₃ (50% lodo de la industria de papel + 50% estiércol), T₄ (25% lodo de la industria de papel + 25% estiércol) y T₅ (100% estiércol); es decir que T₁ (100% lodo residual) resultó significativo frente a los demás tratamientos al igual que T₂ (75% lodo residual + 25% estiércol); resultó significativo frente a T₃, T₄ y T₅, se deduce que el incremento de la población es por la adaptación de la lombriz al medio.

Auxilia (2004), menciona que en el segundo conteo de lombrices a los dos meses de inseminadas las lombrices había un mayor número de huevos y juveniles, en los tratamientos con 80%, 70% y 60% de lodo de la industria del papel, se deduce que el estiércol enriquece al lodo de la industria del papel y viceversa, para lograr un sustrato más atractivo para la lombriz, luego de adaptarse a este, se reproduzcan y sus huevos eclosionen, es de hacer notar que este enriquecimiento del lodo del papel con estiércol favorece la reproducción cuando la mezcla es con lodo en mayor proporción que el estiércol.

c. Abundancia Poblacional Relativa (N° individuos/300cc) (*Eisenia foetida*) a los 120 días (promedio de 3 repeticiones)

Los resultados presentados a los 120 días de sembradas las lombrices en las diferentes proporciones de lodo de la industria del papel, nos indica que el material ha sido transformado en este periodo de tiempo al evidenciar la disminución de la población de lombrices en los diferentes tratamientos.

**CUADRO 39. PROMEDIOS DE ABUNDANCIA POBLACIONAL RELATIVA
(N° individuos/300cc) CONTADAS A LOS 120 DÍAS POR
TRATAMIENTOS (3 REPETICIONES)**

Estadios	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅
Juveniles	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Preclitelados	5,6	5,3	5,0	4,0	3,3
Clitelados	5,7	6,7	3,7	4,7	2,0
Promedio	4,1	4,3	3,2	3,2	2,1

**CUADRO 40. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS TRATAMIENTOS
CORRESPONDIENTES AL CENSO 3.**

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	16,93	4,23	0,59	0,67	N/S
Error	55	393,67	7,16			
Total	59	410,60				
C.V.	116,32					

El análisis de varianza realizado para el efecto del sustrato alimenticio sobre el número de lombrices a los 120 días nos indica que entre tratamientos no existe diferencia significativa estadística con el sustrato utilizado en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 116,32%.

CUADRO 41. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS: TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	4,1	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	4,3	A
T ₃ (50% L + 50 E)	3,2	A
T ₄ (75% L + 25E)	3,2	A
T ₅ (100% E)	2,1	A

La prueba de Tuckey nos indica que no existe diferencia significativa.

En resumen, en las evaluaciones realizadas sobre el censo poblacional de las lombrices *Eisenia foetida*, existe una relación significativa entre la proporción de lodo residual utilizado y el número de individuos, observándose una mayor cantidad en las proporciones del 100% y 75%, en tanto que en el resto se observó bajas cantidades.

3.2.6. MEDICIONES DE LONGITUD DE LAS LOMBRICES

Los resultados de mediciones de la lombriz se efectuaron a los 90 días de sembradas las lombrices, fueron 10 individuos de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones.

Los resultados nos muestran que el primer tratamiento T1 (100% lodo de la industria del papel) alcanza las mayores longitudes, seguidamente del T2 (75% lodo de la industria del papel + 25% estiércol), se deduce que el primer tratamiento debido a su composición es el que mejor condiciones ofrece a la lombriz roja para su crecimiento.

Carrión (1990), menciona que los mejores resultados de longitudes de la lombriz roja se presenta en el tratamiento con estiércol vacuno + pasto de elefante alcanzando una longitud de 7,75 cm, deduciendo que es importante el aporte de fibra en la dieta de la lombriz, similares son los resultados obtenidos en esta investigación, las longitudes máximas alcanzadas son de 7,4 cm con el tratamiento T1 (100% lodo de la industria de papel).

La figura 16 muestra las longitudes de las lombrices (10 lombrices adultas) por tratamiento a los 120 días del sembrado.

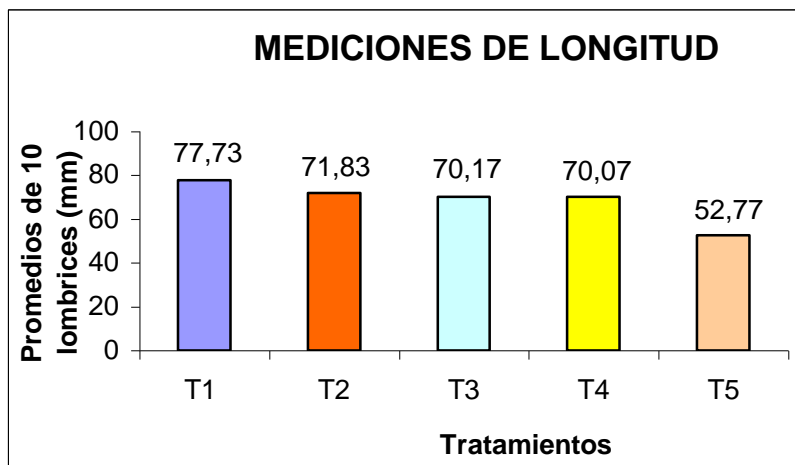


Fig.16. Conteo promedio de mediciones de longitud en adultos (3 repeticiones).

CUADRO 42. ANÁLISIS DE VARIANZA DE MEDIDAS DE LONGITUD EN LOMBRICES (10 UNID)

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	10310,24	2577,56	20,46	<,0001	**
Error	10	18266,93	125,97			
Total	14	28477,17				
C.V.	16,39					

El análisis de varianza realizado para el efecto de los diferentes sustratos alimenticios sobre el número de lombrices a los 90 días nos indica que entre T1 (100% lodo de la industria de papel) y el T5 (100% estiércol), existe alta diferencia significativa estadística con los sustratos utilizados en el presente estudio, con un coeficiente de variabilidad de 16,39%.

CUADRO 43. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LONGITUD. PRUEBA DE TUCKEY

Tratamientos	Promedios (mm)	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	77,43	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	71,83	A
T ₃ (50% L + 50 E)	70,167	A
T ₄ (75% L + 25E)	70,067	A
T ₅ (100% E)	52,767	B

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que existe diferencia significativa del T₁ (100% lodo de la industria de papel) respecto a T₅ (100% estiércol), se deduce que el crecimiento en longitud de la lombriz roja californiana se puede dar en los cuatro primeros tratamientos, es decir que el lodo de la industria del papel enriquece el estiércol y viceversa, los dos primeros tratamientos alcanzaron los valores máximos de lombrices (77,43mm y 71,83mm respectivamente).

En resumen, la longitud de las lombrices *Eisenia foefida* tiene diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, se puede observar que en el tratamiento 1 (100% lodo de la industria del papel), se alcanza tallas mayores respecto a los demás tratamientos.

3.2.7. PESO FRESCO DE LAS LOMBRICES

Los resultados de peso fresco de la lombriz se efectuaron a los 90 días de sembradas las lombrices, fueron 10 individuos de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones, la evaluación en los diferentes tratamientos nos indican que no hubo diferencias significativas entre ellos.

Sin embargo, Carrión (1994) menciona que las tasas máximas de ganancia de peso se observan entre los 60 y 75 días de edad, siendo mejores los sustratos de estiércol siendo mejores los sustratos de estiércol de vacuno + cascarilla de cacao + pasto de elefante, así como el estiércol de vacuno + cascarilla de cacao + panca de maíz + hoja de bambú; explicable por las características adecuadas de proteína y fibra en estos sustratos.

La figura 17 muestra los pesos frescos de las lombrices (10 lombrices adultas) por tratamiento a los 120 días del sembrado.

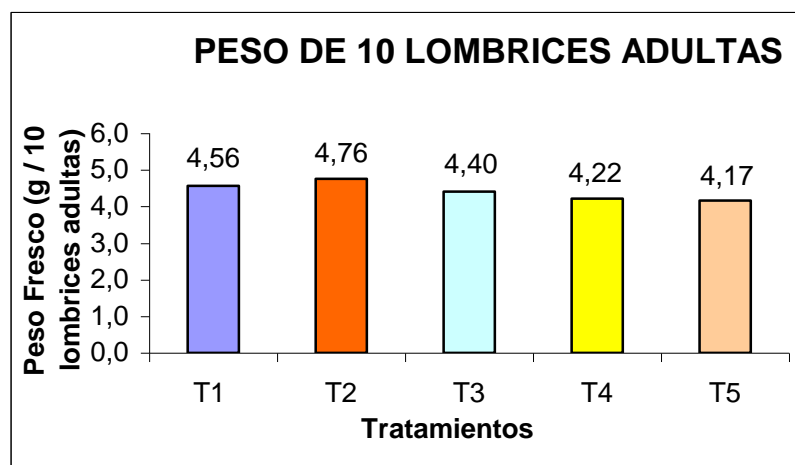


Fig. 17. Peso fresco de 10 lombrices adultas

CUADRO 44. ANÁLISIS DE VARIANZA DE PESO FRESCO EN LOMBRICES

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	0,72	0,18	3,14	0,06	N/S
Error	10	0,57	0,05			
Total	14	1,29				
C.V.	5,41					

El análisis de varianza realizado para el efecto de los diferentes sustratos alimenticios sobre el crecimiento de lombrices a los 90 días nos indica que entre los diferentes tratamientos no existe diferencia estadística significativa, presentando un coeficiente de variabilidad de 5,41%.

CUADRO 45. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios (g / 10 lombrices)	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	4,56	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	4,76	A
T ₃ (50% L + 50 E)	4,40	A
T ₄ (75% L + 25E)	4,22	A
T ₅ (100% E)	4,16	A

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol vacuno

La prueba de Tuckey nos indica que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, es decir que en todos los tratamientos las lombrices alcanzaron similares pesos.

3.2.8. PESO SECO DE LAS LOMBRICES

Los resultados para peso seco de la lombriz roja californiana a los 120 días de sembradas nos indican que no existen diferencias significativas entre los diferentes

tratamientos, se deduce que los sustratos utilizados no tienen influencia en el peso de las lombrices.

La figura 18 muestra los pesos secos de las lombrices (10 lombrices adultas) por tratamiento a los 120 días del sembrado.

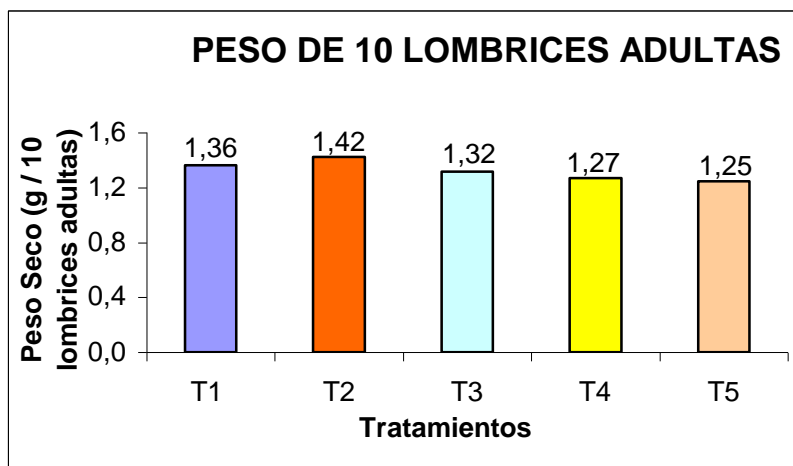


Fig. 18. Peso Seco de 10 lombrices adultas.

CUADRO 46. ANÁLISIS DE VARIANZA DE PESO SECO EN LOMBRICES

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	4	0,062	0,015	2,87	0,0801	N/S
Error	10	0,054	0,005			
Total	14	0,11				
C.V.	5,559					

El análisis de varianza para peso seco de lombrices a los 120 días nos indica que entre tratamientos no existe diferencia significativa.

CUADRO 47. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS. TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
T ₁ (100% lodo)	1,423	A
T ₂ (75% L+ 25 E)	1,363	A
T ₃ (50% L + 50 E)	1,31	A
T ₄ (75% L + 25E)	1,26	A
T ₅ (100% E)	1,24	A

L: Lodo residual de la industria de papel

E: Estiércol

La prueba de Tuckey nos indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos.

Sin embargo Auxilia (2004), menciona que para incrementar el peso de la lombriz utilizando lodo residual como sustrato se debe realizar una mezcla con aproximadamente 20% desechos vegetales precompostados y molidos.

Por lo tanto, el peso seco de las lombrices alcanzan sus mayores valores en el T1 (100% lodo de la industria del papel) y T2 (75% lodo de la industria de papel + 25% de estiércol) no existiendo diferencia significativa entre ello, en tanto que en el resto de tratamiento se determinó valores por debajo de 1,32 g.

3.3. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AGRONÓMICA DE LOS ESTIÉRCOLES DE LOMBRIZ OBTENIDOS (Bioensayo 2. Crecimiento del maíz)

Se preparó mezclas con diferentes proporciones de estiércol de lombriz producida en cada uno de los tratamientos + arena lavada, (100%, 75%, 50%, 25%, 15% y 0% estiércol de lombriz), se incorporó estas mezclas a macetas de 1 kg, para sembrar 5 semillas de maíz en cada maceta, el número total de macetas fueron 20, las macetas se ubicaron en las instalaciones del Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible (CONSAS) de la Facultad de Agronomía, por un periodo de tres meses, fueron cosechadas antes de la floración para sus respectivas evaluaciones, este ensayo se realizó para evaluar si el

estiércol de la lombriz tiene un valor agronómico, si es que este producto puede ser utilizado como abono orgánico en plantas.

3.3.1. EFECTOS DEL ESTIERCOL DE LA LOMBRIZ SOBRE EL CRECIMIENTO DEL MAÍZ

Se evaluó el efecto de diferentes tipos de estiércoles producidas por la lombriz roja californiana en la producción de materia seca en plántulas, materia seca en raíz, altura de plántula, número de hojas, por maceta en sustratos con proporciones del 100%, 75%, 50%, 25% 15% y 0% de estiércol de lombriz.

El cuadro 48 muestra los efectos que produjeron los diferentes porcentajes de estiércol de lombriz aplicado en cinco tratamientos.

De acuerdo a los datos analizados por medio del programa estadístico SAS se ha determinado en materia seca de plántulas que los tratamientos C_1 , y C_2 son similares entre sí, por presentar promedios parecidos (4,6, 4,7), siendo C_2 el de mayor promedio de materia seca. De acuerdo a las pruebas de Tuckey se observa que no existe diferencia significativa entre los dos tratamientos (C_1 , y C_2) respecto a los efectos en la producción de materia seca de plántulas y en el porcentaje de humus utilizado.

Respecto a la materia seca de raíces se observa que el mayor promedio es del C_1 (6,0), según Tuckey el C_1 no presenta diferencia significativa con el C_2 , sin embargo muestra diferencia con el resto de tratamientos.

Con respecto al número de hojas se observa que los C_1 y C_2 presentan el mismo promedio (7,0), siendo los mas alto que el resto. En la prueba de Tuckey se muestra que no existe diferencia significativa entre todos los tratamientos.

Los resultados se muestran a continuación:

a. Efectos del estiércol de la lombriz sobre la altura de la planta de maíz

En el bioensayo de altura de planta el mayor promedio corresponde al C₁ (44,4) y con respecto a la prueba de Tuckey se observa que C₁, C₂ y C₃ no muestran diferencia significativa en tanto que con el resto si existe diferencia.

En la Fig. 19 se muestra las longitudes alcanzadas por las plantas, las medidas fueron tomadas desde el cuello de raíz hasta la hoja bandera.

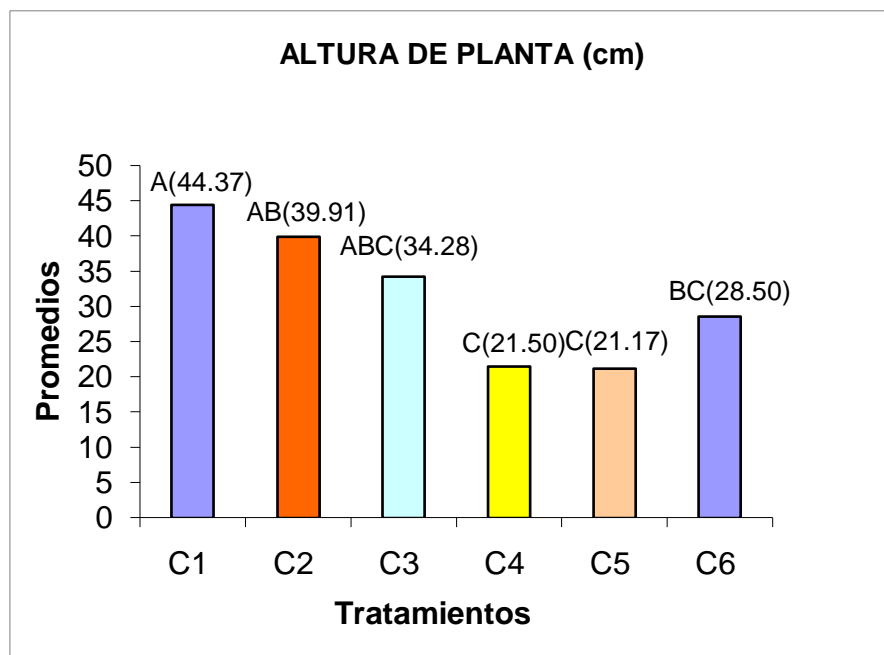


Fig. 19. Altura de planta (cm). Mediciones de altura de planta tomadas desde cuello de raíz hasta la hoja bandera

**CUADRO 48. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS TRATAMIENTOS
CORRESPONDIENTES A LA ALTURA DE PLANTA ANTES DE LA
FLORACIÓN**

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	5	1382,50	276,50	10,35	0,0005	**
Error	12	320,52	26,71			
Total	17	1703,02				
C.V.	16,33					

El análisis de varianza para medidas de altura de planta nos indica que entre tratamientos existe alta significación, es decir que el C₁ (100% estiércol de lombriz) y el tratamiento C₂ (75% estiércol de lombriz) alcanzaron los máximos valores.

CUADRO 49. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS: TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
C ₁ (100 % H)	44,37	A
C ₂ (75 L + 25A)	39,92	AB
C ₃ (50 L + 50 A)	34,28	ABC
C ₆ (100% A)	28,53	BC
C ₄ (25 L + 75 A)	21,50	C
C ₅ (15 L + 85 A)	21,17	C

H: estiércol producido con lodo
A: arena lavada

Esta prueba nos indica que los diferentes porcentajes de estiércoles de la lombriz roja californiana utilizados tienen efecto en el crecimiento del maíz, se observa que los valores máximos son de los tratamientos C₁ (100% estiércol de lombriz) y C₂ (75% estiércol de lombriz + 25 % arena).

Respecto al C₁, los valores de altura de planta obtenidos, muestra que C₁ (100% estiércol de lombriz) alcanza diferencia significativa con C₄ (25% estiércol de lombriz + 75% arena), C₅ (15% estiércol de lombriz + 85% arena) y C₆ (100% arena), mientras que con C₂ (75% estiércol de lombriz + 25% arena) y C₃ (50% estiércol de lombriz + 50% arena) no existe diferencia.

Respecto al C₂ (75% estiércol de lombriz + 25% arena) los valores de altura de planta, obtenidos para las plantas de maíz, muestra que con C₁ (100% estiércol de lombriz) y C₃ (50% estiércol de lombriz + 50% arena) no existe diferencia significativa, en tanto que alcanza diferencia significativa con C₄ (25% estiércol de lombriz + 75% arena), C₅ (15% estiércol de lombriz + 85% arena) y C₆ (100% arena).

Las plantas crecieron menos en C₃, C₄, C₅ y C₆, debido a la presencia de sales ocasionado por el estiércol vacuno que fue utilizado como insumo para la preparación del humus de lombriz

b. Efectos del estiércol de la lombriz sobre la materia seca de la planta de maíz

En la figura 20 se muestra que la materia seca de las plantas el mayor promedio corresponde al C₂ (4,6 g.) y con respecto a la prueba de Tuckey se observa que C₁, C₂ y C₃ no muestran diferencia significativa en tanto que con el resto si existe diferencia.

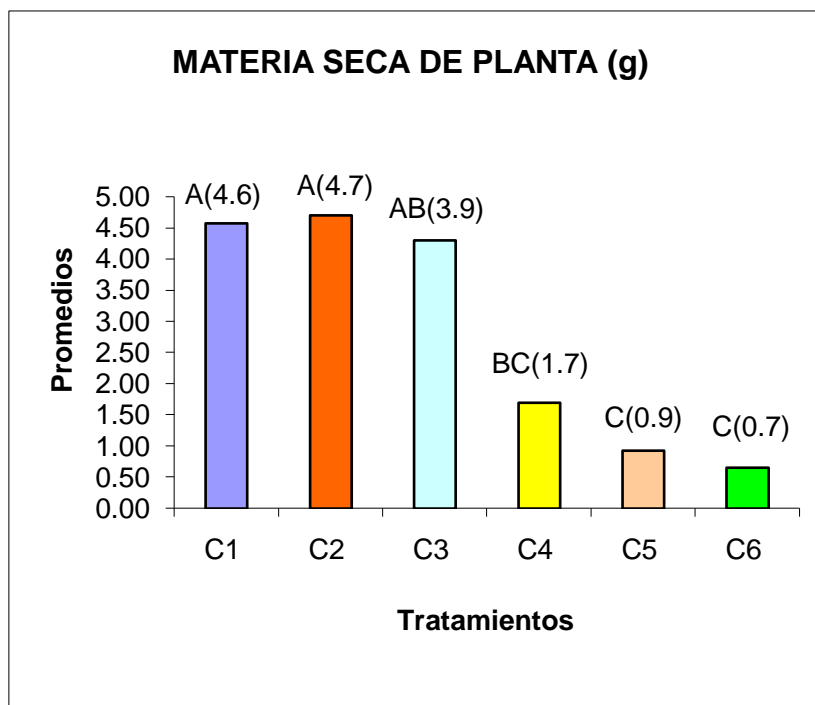


Fig. 20. Materia seca de planta (g). Peso en gramos de materia seca de plantas correspondientes a cada uno de los tratamientos antes de la floración.

**CUADRO 50. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS TRATAMIENTOS
CORRESPONDIENTES A LA MATERIA SECA DE PLANTA**

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	5	51,98	10,39	12,37	0,0002	**
Error	12	10,09	0,84			
Total	17	62,06				
C.V.	33,27					

El análisis de varianza para peso de materia seca de plantas nos indica que entre tratamientos existe alta significación, los tratamientos C₁ (100% estiércol de lombriz), C₂ (75% estiércol de lombriz + 25% de arena) y C₃ (50% estiércol de lombriz + 50% arena) son los tratamientos que alcanzaron máximos valores en materia seca.

CUADRO 51. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS: TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0.05
C ₂ (75 L + 25A)	4,70	A
C ₁ (100% H)	4,56	A
C ₃ (50 L + 50 A)	3,90	AB
C ₄ (25 L + 75 A)	1,70	BC
C ₅ (15 L + 85 A)	0,93	C
C ₆ (100% A)	0,66	C

H: estiércol producido con lodo
A: arena lavada

La prueba de Tuckey a nivel 0.05 nos indica que existe diferencia significativa del C₁ (100% estiércol de lombriz) con respecto a C₄ (25% estiércol de lombriz + 75 arena), C₅ (15% estiércol de lombriz + 85% arena) y C₆ (100% arena), es decir el C₁ no presenta diferencia significativa con los tratamientos C₂ y C₃.

Las mejores producciones de materia seca se obtienen en los tres primeros tratamientos alcanzando valores de 4,7: 4,6: 3,90 gramos respectivamente.

Respecto al C₁(100% estiércol de lombriz), los valores de la materia seca obtenidos de las plantas de maíz muestra que C₁(100% estiércol de lombriz) alcanza diferencia significativa con C₄ (25% estiércol de lombriz + 75% arena), C₅ (15% estiércol de lombriz + 85% arena) y C₆, (100% arena),mientras que con C₂ (75% estiércol de lombriz + 25% arena) y C₃ (50% estiércol de lombriz + 50% arena) no existe diferencia significativa.

c. Efectos del estiércol de la lombriz sobre la materia seca de la raíz de la planta

En la figura 21 se muestra la materia seca de planta; el mayor promedio corresponde al C₁ (6,034) y con respecto a la prueba de Tuckey se observa que C₁, C₂ no muestran diferencia significativa en tanto que con el resto si existe diferencia.

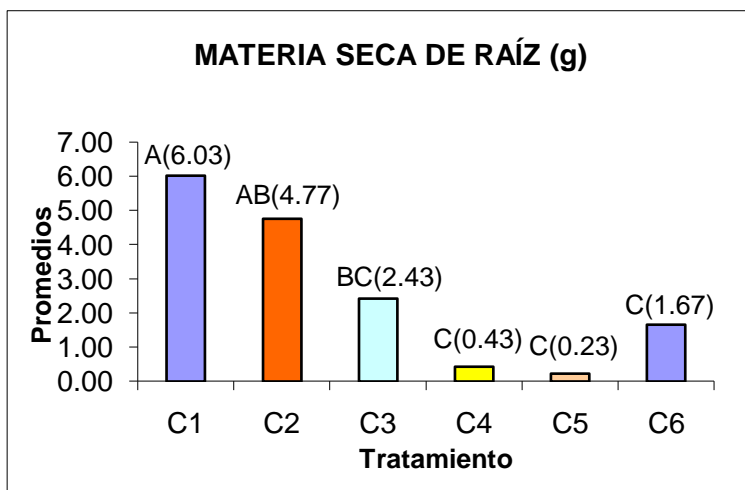


Fig.21. Materia seca de raíz (g). Peso en gramos de materia seca de raíces correspondientes a cada uno de los tratamientos antes de la floración.

**CUADRO 52. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS TRATAMIENTOS
CORRESPONDIENTES AL PESO SECO DE RAIZ**

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	5	83,03	16,61	13,20	0,0002	**
Error	12	15,10	1,26			
Total	17	98,13				
C.V.	43,24					

El análisis de varianza para peso de materia seca de raíces (<0,01), indica que entre tratamientos existe alta significación, las diferentes proporciones de estiércol de lombriz tienen efecto en la producción peso seco de raíz, siendo los tratamientos C₁ (100% estiércol de lombriz) y C₂ (75% estiércol de lombriz + 25% arena) los que alcanzaron máxima producción 6,03 y 4,7 respectivamente.

CUADRO 53. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS: TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
C ₁ (100 % H)	6,03	A
C ₂ (75 L + 25A)	4,76	AB
C ₃ (50 L + 50 A)	2,43	BC
C ₆ (100% A)	1,66	C
C ₄ (25 L + 75 A)	0,43	C
C ₅ (15 L+85A)	0,23	C

H: estiércol producido con lodo

A: arena lavada

La prueba de Tuckey a nivel 0,05, nos indica que existe diferencia significativa del C₁ (100% estiércol de lombriz) con respecto a C₃ (50% estiércol de lombriz + 50% arena), C₄ (25% estiércol de lombriz + 75% arena), C₅ (15% estiércol de lombriz + 85% arena) y C₆ (100% arena).

Respecto al C₁ (100% estiércol de lombriz), los valores de la materia seca obtenidos de las raíces muestra que C₁ (100% estiércol de lombriz) alcanza diferencia significativa con C₃ (50% estiércol de lombriz + 50% arena), C₄ (25% estiércol de lombriz

+ 75% arena), C₅ (15% estiércol de lombriz + 85% arena) y C₆ (100% arena), mientras que con C₂ (75% estiércol de lombriz + 25% arena) no existe diferencia significativa.

d. Efectos del estiércol de la lombriz sobre el número de hojas

**CUADRO 54. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS TRATAMIENTOS
CORRESPONDIENTES AL NÚMERO DE HOJAS**

F. de V.	GL	SC	CM	F. cal	Pr.> F	Sig
Tratamiento	5	7,16	1,43	2,72	0,07	N/S
Error	12	6,33	0,53			
Total	17	13,50				
C.V.	34,7					

El análisis de varianza para la evaluación del efecto de las diferentes proporciones de estiércol de lombriz en el número de hojas nos indica que entre los tratamientos no existe significación, es decir no las diferentes proporciones de estiércol de lombriz no tiene efecto en el número de hojas en el maíz.

CUADRO 55. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS: TUCKEY

Tratamientos	Promedios	Tuckey: 0,05
C ₁ (100 % H)	7,0	A
C ₂ (75 L + 25A)	7,0	A
C ₃ (50 L + 50 A)	6,6	A
C ₄ (25 L + 75 A)	5,5	A
C ₅ (15 L + 85 A)	5,6	A
C ₆ (100% A)	6,0	A

H: estiércol producido con lodo
A: arena lavada

La prueba de Tuckey (<0,01), nos indica que no existe diferencia significativa en los tratamientos con las diferentes proporciones de estiércol de lombriz en el número de hojas.

Teniendo en cuenta los promedios obtenidos para cada una de las variables analizadas (materia seca de planta, raíz, altura de planta etc.), se puede concluir que el C₁ (100% estiércol de lombriz) y C₂ (75% estiércol de lombriz + 25% arena) corresponderían a los más eficientes.

3.4. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL ESTIÉRCOL DE LOMBRIZ

3.4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ESTIÉRCOL DE LOMBRIZ EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

El cuadro 56 muestra los resultados obtenidos en el laboratorio de análisis de suelo, plantas, aguas y fertilizantes de la UNALM.

La figura 22 resume los porcentajes de los elementos N, P, K determinados en el análisis fisicoquímico del humus.

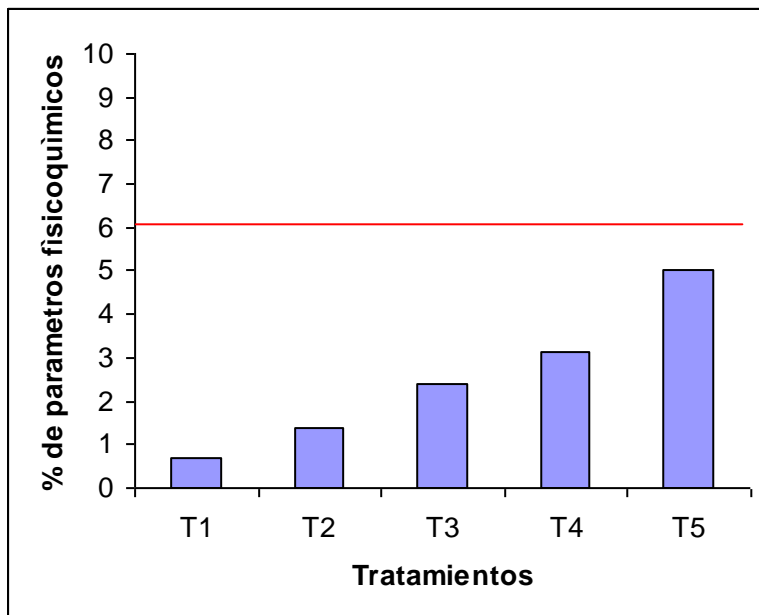


Fig.22. Porcentaje de los elementos N,P,K, determinados en el análisis fisicoquímico del estiércol de lombriz.

**CUADRO 56. VALORES OBTENIDOS EN LOS ANÁLISIS
FISICOQUIMICOS DEL ESTIERCOL DE LA
LOMBRIZ (*Eisenia foetida*)**

TRATAMIENTOS	pH	C.E	N (%)	P2O5 (%)	K2O (%)	TOTAL NPK	CALIDAD
T1	7,74	5,44	0,48	0,13	0,07	0,68	E
T2	8,12	7,74	0,62	0,48	0,3	1,40	E
T3	7,94	11,07	1,04	0,94	0,4	2,38	E
T4	8,19	15,78	1,18	1,28	0,66	3,12	E
T5	8,21	19,27	1,68	1,54	1,8	5,02	E

F: Fertilizante orgánico

E: Enmienda orgánica

En lo relacionado a N, P, K se observa una tendencia a incrementarse en cada uno de los tratamientos respectivamente. Según la Norma Española 1991 considera que para poder usar un producto obtenido (compost) como abono orgánico este deberá tener una suma de estos tres elementos que sea mayor o igual a 6%, si la suma es menor al valor antes referido entonces este producto se considerara solamente como enmienda orgánica . En este sentido se observa que en nuestros resultados ninguno de los tratamientos llegan a este nivel mencionado.

Es necesario mencionar que el conocer a estos macro nutrientes nos permite obtener plantas con un mejor desarrollo de hojas y tallos y lograr mejores etapas de desarrollo de los vegetales.

En relación a los valores resultantes del análisis fisicoquímico de los productos obtenidos en los diferentes tratamientos se puede afirmar que: el T1 (100% estiércol de lombriz) es el que mejor pH, conductividad eléctrica mostró, en tanto que T2 (75% estiércol de lombriz + 25% arena), T3 (50% estiércol de lombriz + 50% arena), T4 (25% estiércol de lombriz + 75% arena) y T5 (15% estiércol de lombriz + 85% arena) mostraron un mayor porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, P₂O₅ y K₂O.

CONCLUSIONES

- 4.1. De acuerdo a los resultados obtenidos, la lombricultura permite el reciclaje de lodos residuales de industria del papel, dándole a este residuo un valor agregado, de tal manera que puede utilizarse como enmienda orgánica del suelo.
- 4.2. El tratamiento T1 (100% lodo residual) fue el que permitió el mayor desarrollo de las lombrices.
- 4.3. La cantidad de lombrices generadas se incrementó hasta los 75 días, alcanzando el valor aproximado de 6780 individuos, para posteriormente disminuir hasta alcanzar valores de casi 0 a los 120 días, debido a que no se siguió aplicando sustrato.
- 4.4. Los mejores resultados en el humus producido, se obtuvieron en la mezcla que utilizó 100% de lodo residual, seguida por la mezcla que combinó 75% de lodo + 25% de estiércol, no se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos.
- 4.5. No se recomienda aplicar más del 25% de estiércol vacuno debido al incremento de sales en el humus producido.
- 4.6. Los porcentajes de NPK obtenidos en el humus de los diferentes tratamientos, están por debajo del valor mínimo (6% NPK) para ser considerados como fertilizantes, según la Norma Española B.O.E. 146-1991. Por tanto, el estiércol de lombriz solo se podrá utilizar como enmienda orgánica.
- 4.7. Los efectos que se obtuvieron de la aplicación del humus de lombriz en los cultivos de maíz fueron el incremento en la altura y masa de las plantas, siendo el tratamiento con 100% de humus el que presentó los mayores valores (44 cm y 5g.), seguido por la mezcla que combinó 75% humus + 25% arena (40 cm y 5g).

RECOMENDACIONES

Se debe continuar realizando más trabajos de investigación respecto al uso agronómico del lodo del papel en otros tipos de sustratos a fin de conocer su eficiencia.

Hacer un análisis económico de costo/beneficio del tratamiento del lodo de papel mediante la lombricultura a fin de determinar la conveniencia económica de su implementación.

Realizar nuevos diseños experimentales destinados a probar el beneficio del lodo del papel en las diferentes estaciones del año.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALIAGA, J. 1989. Industrialización en Lombricultura. Ediciones Omega. Chile. 15 p.
2. AUXILIA, M. 2004. Utilización de la lombricultura en la transformación de lodo residual de una empresa productora de papel en abono orgánico (humus). Forjando el Ambiente que Compartimos. San Juan, Puerto Rico. www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/mallia.pdf. 8 p.
3. BECERRA R. 1994. Evaluación del efecto de tres niveles y cinco tipos de estiércol en el desarrollo de la lombriz. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía. 115 p.
4. BOUCHE, M. 1985. Los gusanos de tierra. Mundo científico. México. Vol 4(0): 954-963.
5. BERQUIET, A. 1987. El humus de lombriz, copias mimeografiadas. Editorial Savak. Chile. 12 p.
6. CARDOSO, L. y RAMIREZ, E. 2000. Vermiestabilización de lodos residuales y lirio acuático. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental. www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-161.pdf. 6 p.
7. CARDOSO, L. y RAMIREZ, A. 2002. Identificación de sistemas de tratamiento de lodos residuales. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, segunda parte. México. www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/lodosresiduales.pdf. 57 p.
8. CARDOSO, L. y TOMASINI, C. 2002. Características y efectos de residuos peligrosos. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, segunda parte. México. www.conagua.gob.mx/CONAGUA/Noticias/residuos_peligrosos.pdf. 38 p.
9. CARRION, S. 1990. Efecto de mezclas del sustrato en el crecimiento y producción de humus de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), en Tingo Maria. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria. 107 p.

10. CARTER, C. 1999. Lombricultura, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. 38 p.
11. CORDOVA, E. 2007. Evaluación de parámetros físicos y biológicos para el compostaje de los lodos residuales de la industria del papel. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 232 p.
12. FALCON, E. 2005. Producción de compost a partir de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti de SEDALIB S.A. – Trujillo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 113 p.
13. FERRUZZI, C. 1988. Manual de Lombricultura. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 139 p.
14. KIMURA, R. 2005. Evaluación de los efectos del producto “ENZYMPLUS” (activador biológico) en la elaboración de Compost utilizando dos tipos de estiércol (vacuno, ovino). Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae. Escuela de Post Grado-Especialidad de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 180 p.
15. LEEGE, P.B. 1997. y THOMPSON, W.H. Test Method for the examination of composting and compost. Maryland, USA.
16. LUÉVANO G.A. y VELÁSQUEZ G.N. 2001. Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: de problema ambiental a excelente recurso. Revista Mexicana de Agronegocios. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Vol. 9. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/141/14100905.pdf>. Accesado en Mayo 02 2008.
17. GARDINER, M.S. 1978. Biología de los Invertebrados. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 905 p.

18. GROSS, A. 1975. 1975. Abonos y Guía Práctica de la Fertilización. Editorial Mundi Prens. Madrid, España. 526 p.
19. HEEDERIK, D. 1998. Fábricas de papel reciclado. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Vol. 72. www.insht.es/InshWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/Tomo3/72.pdf. Accesado en Noviembre 15 2006.
20. LAVERACK, M. 1963. La fisiología de lombrices. The MacMillian Company. New York. 250 p.
21. LIZARRAGA, A. T. 1991. Biología de la lombriz de tierra y de la lombriz doméstica roja californiana *Eisenia foetida* Separata I Curso Técnicas de manejo de una planta de lombricultura. Jauja. 20 p.
22. MARSHALL, A.J. 1985. Zoología: invertebrados. Editorial Reverté. Barcelona, España. 979 p.
23. MICHEL, C. y DEVILLEZ, J. 1978. Digestion. Physiology of earthworm. MacMillan Academic Press. 720 p.
24. PAJUELO, D. 2006. Reciclaje de Lodos Residuales de la industria de Papel mediante la técnica de compostaje. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias. 97 p.
25. RED PANAMERICANA DE MANEJO AMBIENTAL DE RESIDUOS – REPAMAR – CEPIS. 1999. Manejo Ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento. www.cepis.org.pe/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html.
26. RINCON, S. 1988. La Lombriz de Tierra. Esso. Colombia. 35(1):18-25.

27. SANTELICES, S.M. Morfología de la Lombriz. Lombricultura Pachamama S.A.
www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/lombriz/MORFOLOGIADELALOMBRIZ.pdf. Accesado en Mayo 01 2009.

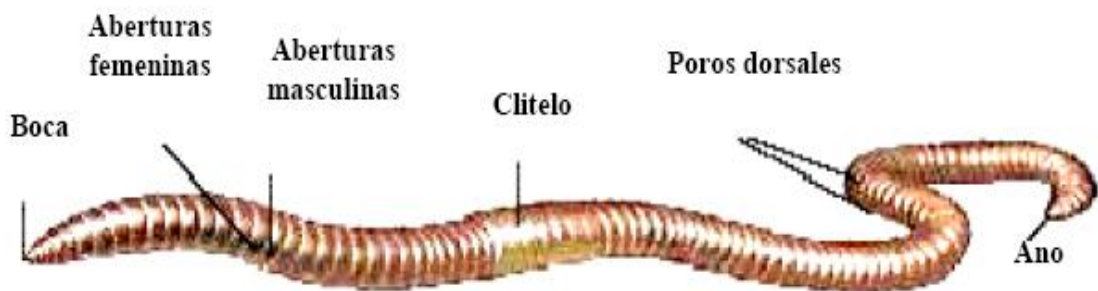
28. SCHULDT, M., RUMI, A. y GUTIÉRREZ, D. 2005. Determinación de “edades” (clases) en poblaciones de *Eisenia foetida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobilógicas. Revista del Museo de La Plata (serial on line). 17(170): 1-10. disponible en Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad de La Plata (www.fcnym.unlp.edu.ar). Accesado en 07 de noviembre del 2006.

ANEXOS

ANEXO I

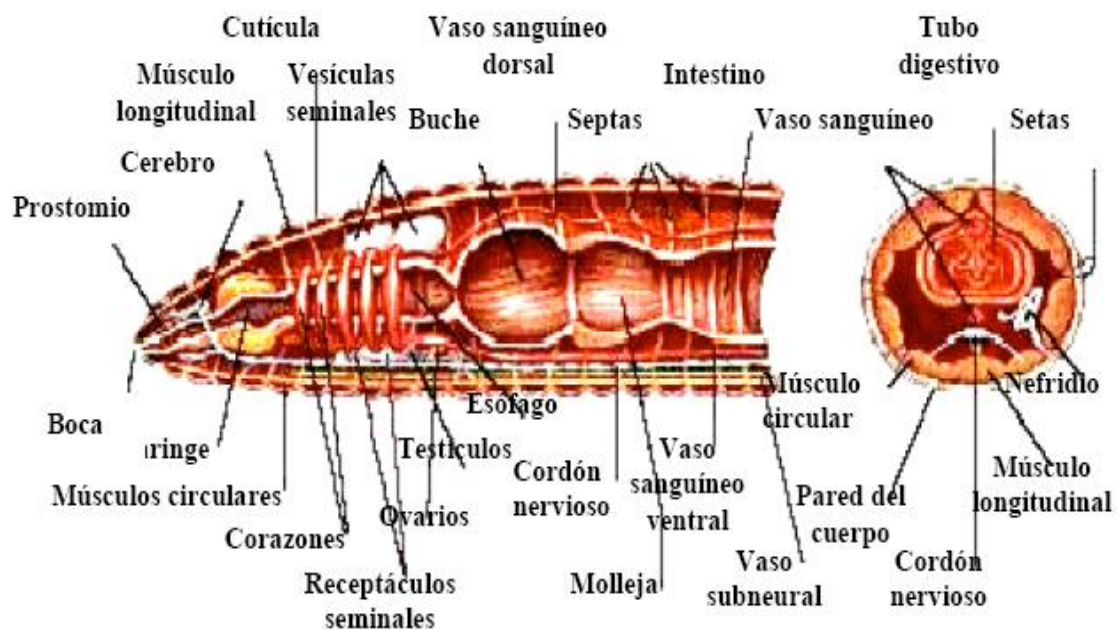
MORFOLOGIA DE *Eisenia foetida*

Figura 1. Anatomía externa de la lombriz de tierra.



Fuente: Edwards y Bohlen. 1996, modificado por Cuevas, 2002.

Figura 2. Anatomía interna de la lombriz de tierra.



Fuente: Edwards y Bohlen. 1996, modificado por Cuevas 2002.

Fotografía de *Eisenia foetida*



ANEXO II
RESULTADOS FISICOQUÍMICOS DEL HUMUS OBTENIDO EN LOS
DIFERENTES TRATAMIENTOS



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : RAQUEL JUAREZ
 PROCEDENCIA : LIMA/LIMA/LA MOLINA
 MUESTRA DE : COMPOST
 REFERENCIA : H.R. 14774
 FECHA : 18/06/07

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
0266	T1	7.74	5.44	18.00	0.48	0.13	0.07
0267	T2	8.12	7.74	22.20	0.62	0.48	0.30
0268	T3	7.94	11.07	24.10	1.04	0.94	0.40
0269	T4	8.19	15.78	25.50	1.18	1.28	0.66
0270	T5	8.21	19.27	25.80	1.68	1.54	1.80

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
0266	T1	24.36	0.65	Seco	0.15
0267	T2	18.83	0.66	Seco	0.24
0268	T3	14.13	0.87	Seco	0.15
0269	T4	11.43	1.05	Seco	0.17
0270	T5	4.31	1.48	Seco	0.30

/ndf



Ing. Rubén Bazán Tapia
 Jefe de Laboratorio

ANEXO III
RESULTADOS DEL CENSO DE LOMBRICES

PRIMER CENSO (60 días)

En la tabla 1 se muestra el numero total de individuos por estadio de desarrollo

**TABLA 1. CONTEO DE INDIVIDUOS A LOS 60 DÍAS DE
SEMBRADOS (300cm³)**

		T1	T2	T3	T4	T5
A	<i>Cocones</i>	11	12	3	5	2
	<i>Juveniles</i>	10	13	5	2	2
	<i>Preclitelados</i>	20	18	8	7	5
	<i>Clitelados</i>	23	22	8	10	7
B	<i>Cocones</i>	19	12	3	2	2
	<i>Juveniles</i>	12	11	3	4	1
	<i>Preclitelados</i>	10	15	9	17	4
	<i>Clitelados</i>	25	23	16	17	6
C	<i>Cocones</i>	10	9	7	4	1
	<i>Juveniles</i>	10	9	5	3	1
	<i>Preclitelados</i>	18	13	19	11	3
	<i>Clitelados</i>	20	20	23	14	6
	Σ	188	177	109	96	40
	Promedio	15,7	14,8	9,1	8	3,3
	DS	5,7	4,9	6,7	5,6	2,2
	C.V	36,4	33,0	73,5	70,5	65,6

En la tabla 1 se muestran los resultados del conteo de individuos del Censo 1 por tratamientos a los 60 días de sembrado. T1 presenta el mayor número de individuos (188), seguido de T2 (177). En el resto de tratamientos se observa un número de individuos por debajo de 110 lo que indicaría que estos tratamientos no favorecen un mayor desarrollo de los individuos en sus diferentes estadios.

SEGUNDO CENSO (90 DÍAS)

En la tabla 2 se muestra el número total de individuos por estadio de desarrollo

**TABLA 2. CONTEO DE INDIVIDUOS A LOS 90 DÍAS DE SEMBRADOS
(300cm³)**

		T1	T2	T3	T4	T5
a	<i>Cocones</i>	15	10	5	3	1
	<i>Juveniles</i>	17	11	6	2	1
	<i>Preclitelados</i>	21	15	10	6	4
	<i>Clitelados</i>	27	18	9	7	5
b	<i>Cocones</i>	26	8	7	4	4
	<i>Juveniles</i>	15	10	5	5	4
	<i>Preclitelados</i>	20	17	14	6	2
	<i>Clitelados</i>	27	23	11	7	8
c	<i>Cocones</i>	13	8	4	2	1
	<i>Juveniles</i>	10	8	4	4	1
	<i>Preclitelados</i>	18	14	12	7	4
	<i>Clitelados</i>	24	21	15	12	10
	Σ	233	163	102	65	45
	Promedio	19,4	13,6	8,5	5,4	3,8
	DS	5,7	5,2	3,9	2,8	2,9
	C.V	29,4	38,6	45,8	51,3	77,2

En la tabla 2 se muestran los resultados del conteo de individuos del Censo 2 por tratamientos a los 90 días de sembrado. T1 presenta el mayor número de individuos (233), seguido de T2 (163). En el resto de tratamientos se observa un número de individuos por debajo de 102 lo que indicaría que estos tratamientos no favorecen un mayor desarrollo de los individuos en sus diferentes estadios.

TERCER CENSO (120 DÍAS)

En la tabla 3 se muestra el número total de individuos por estadio de desarrollo.

TABLA 3. CONTEO DE INDIVIDUOS A LOS 120 DÍAS DE SEMBRADOS (300cm³)

		T1	T2	T3	T4	T5
A	<i>Cocones</i>	0	0	0	0	0
	<i>Juveniles</i>	0	0	0	0	0
	<i>Preclitelados</i>	7	5	4	3	4
	<i>Clitelados</i>	5	8	5	3	3
B	<i>Cocones</i>	0	0	0	0	0
	<i>Juveniles</i>	0	0	0	0	0
	<i>Preclitelados</i>	6	2	5	6	2
	<i>Clitelados</i>	6	5	3	4	1
C	<i>Cocones</i>	0	0	0	0	0
	<i>Juveniles</i>	0	0	0	0	0
	<i>Preclitelados</i>	4	5	6	7	4
	<i>Clitelados</i>	6	7	3	7	2
	Σ	34	32	26	30	16
	Promedio	2,8	2,7	2,2	2,5	1,3
	DS	3,0	3,1	2,4	2,9	1,6
	C.V (%)	107,3	116,8	111,0	116,3	121,1

En la tabla 3 se muestran los resultados del conteo de individuos del Censo 3 por tratamientos a los 120 días de sembrado. T1 presenta el mayor número de individuos (34), seguido de T2 (32). T3 y T4 presenta 26 y 30 respectivamente; en tanto T5 es el tratamiento con el menor numero (16).

TABLA 4. MEDIDAS DE LONGITUD, EN ESTADÍO ADULTO (mm)

	T1	T2	T3	T4	T5
(a)	75	72	65	47	42
	93	62	71	78	45
	71	64	58	58	56
	68	59	63	94	51
	100	49	80	71	53
	87	68	83	62	63
	72	60	78	68	59
	99	57	71	79	58
	84	70	58	96	46
	92	65	55	59	41
<i>Promedio</i>	84	63	68	71	51
(b)	63	83	60	72	40
	61	76	89	61	59
	65	82	80	74	44
	81	64	81	71	49
	90	79	60	94	49
	78	68	78	63	58
	60	84	72	68	56
	87	85	71	83	57
	74	63	56	74	40
	57	84	63	79	42
<i>Promedio</i>	72	77	71	74	49
(c)	56	77	55	59	56
	80	62	73	85	60
	71	68	81	70	76
	84	95	55	82	44
	104	85	72	58	63
	72	80	80	71	46
	93	62	78	54	54
	72	74	70	59	57
	62	73	81	61	57
	72	85	68	52	62
<i>Promedio</i>	77	76	71	65	58
Promedio	77	72	70	70	53
Sumatoria	2555	2371	2316	2312	1741
Desvest	12.82	10.47	9.51	12.14	8.24
C.V.(%)	16.56	14.58	13.56	17.32	15.62