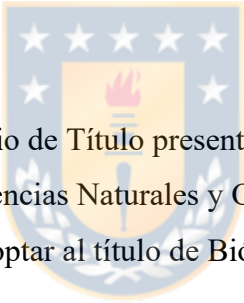




Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas



Análisis comparativo de humus de lombriz en criaderos de *Eisenia foetida*



Seminario de Título presentado a la
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Para optar al título de Bióloga

Claudia Belén Elizabeth Pinilla Yáñez

Concepción, Marzo 2022



Este Seminario de Título ha sido desarrollado en el Laboratorio de Semioquímica Aplicada, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción.



Prof. Guía

Dr. Narciso Aguilera Marín

Prof. Evaluadores

Dr. José Becerra Allende



Dra. Lubia M. Guedes

Prof. Coordinador Seminario de Título

Dr. Víctor Hernández Santander

Concepción, marzo 2022

AGRADECIMIENTOS

A pesar de la dificultad, quiero hacer parte de estos agradecimientos a todas aquellas personas que estuvieron durante este largo proceso.

A la Ilustre Municipalidad de Concepción y a la colaboración del Laboratorio de Semioquímica aplicada, por entregar el apoyo para realizar este proyecto.

Quiero agradecer a mi familia, especialmente a mi mamá, Claudia Yañez Mendoza y mis hermanas Rocío y Carolina, porque fueron quienes vieron el estrés, la frustración, las lágrimas y las alegrías de primera mano y siempre me apoyaron. A mis padrinos, Fabiola y Ricardo, que desde el primer día de universidad hicieron todo para apoyarme, prestándome libros, su casa y compañía para estudiar. Tío Ricardo, un abrazo al cielo, me hubiese gustado que estuvieras en este momento, pero sé que me acompañaste hasta lograrlo, gracias infinitas por ayudarme a llegar hasta acá.

También quiero agradecer a mis amigos, que dentro y fuera de la universidad son uno de mis pilares más importantes. A Alberto Jorquera, que a pesar de ser el mas duro de cabeza, ha sido el mejor amigo y compañero, el que más me retó y que agradezco tenerlo hasta el final de este proceso. A Solange Cruces, porque durante todos estos años formamos familia, tu amistad y apoyo incondicional me ayudaron en el día a día de todo este proceso. A Sergio Beltrán, porque estuvo presente en los momentos más importantes. A María Ignacia Concha, porque eres un regalo en mi vida y agradezco profundamente tu amistad. A Paola, Jairo y Camila, por ayudarme siempre, sobre todo en los momentos más difíciles. Cada uno de ustedes tienen mi eterna gratitud.

Agradezco a mi profesor Guía, Narciso Aguilera, por acompañarme y ayudarme a crecer durante este periodo final de formación y darme ánimos hasta lograrlo.

Fue un camino largo, pero quien soy en este momento es mejor que ayer y será mejor mañana.

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	6
INDICE DE TABLAS.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
COMPOSTAJE.....	10
ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	10
VERMICOMPOSTAJE.....	11
FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE VERMICOMPOST.....	12
FISIOLOGÍA DE LA LOMBRIZ Y SU PAPEL EN EL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE.....	14
PAPEL DEL VERMICOMPOST EN LA FERTILIDAD DEL SUELO.....	16
HIPOTESIS.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
MATERIALES Y METODOS.....	18
SITIO DE MUESTREO.....	18
PROCEDENCIA DE LAS LOMBRICES Y CRIADEROS.....	19
CARACTERÍSTICAS DE LOS ALIMENTOS.....	20
PERIODO DE PRODUCCIÓN Y MUESTREO.....	21
ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA POR CRIADERO.....	21
ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS.....	22
REGISTRO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS.....	22
RESULTADOS.....	22
ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA.....	22
RELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y PRODUCTIVIDAD.....	23
COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN C/N.....	25
COMPORTAMIENTO DE LOS MACRONUTRIENTES: P, K, CA, MG.....	25
COMPORTAMIENTO DE LOS MICRONUTRIENTES: FE, CU, B.....	26
COMPORTAMIENTO DE PH.....	26
COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).....	26
COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA (MO).....	26
DISCUSIÓN.....	28
RELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y PRODUCTIVIDAD DE LOS CRIADEROS.....	28
COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN C/N.....	29
COMPORTAMIENTO DE LOS MACRONUTRIENTES: P, K, CA, MG.....	30
COMPORTAMIENTO DE LOS MICRONUTRIENTES: FE, CU, B.....	31
COMPORTAMIENTO DEL PH.....	32
COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).....	33
COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA (MO).....	34
CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS.....	36
ANEXOS.....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los 10 criaderos ubicados en el Gran Concepción.....	15
Figura 2. Foto referencial de la estructura de los criaderos.....	16
Figura 3. Estados referenciales de los núcleos y cultivo de lombrices (<i>E. foetida</i>) de Geociclos para el inicio de los criaderos.....	16
Figura 4. Estados referenciales de los núcleos y cultivo de lombrices (<i>E. foetida</i>) de Geociclos para el inicio de los criaderos.....	16
Figura 5. Estados referenciales de los núcleos y cultivo de lombrices (<i>E. foetida</i>) de Geociclos para el inicio de los criaderos.....	16
Figura 6. Productividad de los criaderos en kg de humus por año.....	19
Figura 7. Temperatura media máxima y mínima del periodo de formación de humus y mes en que se realizó la toma de muestra en cada criadero.....	20
Figura 8. Humedad ambiental del periodo de formación de humus y mes en que se realizó la toma de muestra en cada criadero.....	21
Figura 9. (A) Valores de pH en cada criadero (B), Conductividad eléctrica en cada criadero medido en CE [dS/m], (C) Porcentaje de materia orgánica en cada criadero, (D) Valores de porcentaje de nitrógeno total, carbono orgánico y relación C/N en cada criadero.....	23
Figura 10. (A) Concentración Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) en ppm. (B) Concentración Boro (B) en ppm. (C) Concentración Fosforo (P) y Potasio (K) en ppm. (D) Concentración de Hierro (Fe) y Cobre (Cu) en ppm. Todas concentraciones en cada uno de los criaderos.....	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Información previa de cada criadero. Fecha de la toma de muestra, coordenada geográfica y estimación de kilogramos de humus al año.....	41
Tabla 2.- Elementos agregados en cada criadero.....	41
Tabla 3.- Resultados de laboratorio N%, C%, C/N, pH, CE, MO% en cada criadero.....	42
Tabla 4.- Resultados de Laboratorio en cada criadero para P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y B en ppm.....	43
Tabla 5.- Condiciones ambientales de la zona de muestreo.....	44
Tabla 6.- Estimación de humedad en cada criadero.....	44



Resumen

La contaminación por acumulación de residuos de distintos tipos es un tema que se menciona constantemente en busca de soluciones. Dentro de las alternativas de manejo, existe el compostaje y vermicompostaje de residuos orgánicos, en diferentes escalas, dando como resultado compost y humus de lombriz utilizados como abono y sustrato para suelos y cultivos. Para realizar vermicompostaje se utilizan diferentes especies de lombrices de cultivo y una de las más exitosas por alta capacidad reproductiva es *Eisenia foetida*. Para este estudio se realizó un muestreo en 10 criaderos particulares de lombrices ubicados en el Gran Concepción. Se utilizaron entre 100 y 500 g de humus de cada criadero, separándose la mayor cantidad de lombrices visibles y guardándose cada muestra en una bolsa plástica rotulada. Luego las muestras se refrigeraron hasta ser llevadas al laboratorio de Semioquímica aplicada (LSqA) de la Universidad de Concepción. A cada muestra se le determinó: pH, % MO, CE, relación C/N, además de una caracterización de concentraciones totales de C, N, K, Ca, Mg, P, Fe, Cu y B.



Abstract

Pollution by accumulation and waste of different types, is a topic that is constantly mentioned in search of solutions. Within the management alternatives, there is the composting and vermicomposting of organic waste, on different scales, resulting in compost and earthworm humus used as fertilizer and substrate for soils and crops. To carry out vermicomposting, different species of earthworms are used, and one of the most successful due to its high reproductive capacity is *Eisenia foetida*. For this study, a sampling was carried out in 10 private worm farms located in Concepción, taking between 100 and 500 g from each farm, separating the largest number of visible worms, keeping each sample in a labeled plastic bag. After taking the samples, they were refrigerated until they were taken to the Applied Semiochemistry Laboratory (LSqA) of the Universidad de Concepción. The following was determined for each sample: pH, % MO, CE, C/N ratio, in addition to a characterization of total concentrations of C, N, K, Ca, Mg, P, Fe, Cu and B.

INTRODUCCIÓN

La industrialización a gran escala, la urbanización y el crecimiento de la población han afectado la sana relación entre el ser humano y la naturaleza. Diversas actividades humanas generan enormes cantidades de desechos sólidos en todo el mundo y su manejo se ha convertido en un desafío técnico y ecológico para todos (Yadav 2011). La mayoría de los desechos se eliminan de una manera ecológicamente insostenible mediante la quema o el vertido al aire libre (Yadav 2011). Estos métodos de eliminación de desechos nocivos para el medio ambiente pueden provocar la pérdida de nutrientes presentes en los desechos y pérdidas económicas, mientras que transformar los residuos en materiales beneficiosos es una de las principales formas de reciclaje de recursos. (Yadav 2011).

En Chile, el inciso 25 del Art.3 de la Ley 20.920 Bases generales de Medio Ambiente, define como residuo a cualquier sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente (Diario Oficial 2016). El Ministerio de Medio Ambiente (MMA) indica que los residuos se clasifican según sus características en residuos peligrosos, residuos no peligrosos y residuos inertes y de acuerdo a su origen en residuos sólidos municipales y residuos industriales (IEMA 2020). De esta manera, es posible afirmar que los residuos tienen efectos negativos en el medio ambiente. Particularmente, los residuos no peligrosos o industriales pueden provocar contaminación del suelo, agua, aire, efectos negativos a flora y fauna; así como la generación de gases de efecto invernadero (IEMA 2020). En este contexto, el mayor reto a nivel mundial, respecto a la gestión de residuos orgánicos, consiste en el aprovechamiento y tratamiento eficaz de los restos alimentarios. Estos incluyen los residuos de la producción primaria (ganadería, agricultura y pesca), y también los que se generan durante el procesamiento y consumo de alimentos (Pradas 2020).

El MMA considera como parte de los residuos orgánicos domiciliarios los restos de comida o cáscaras de frutas, y representan más de la mitad de la basura que genera un hogar promedio en Chile (IEMA 2020). Actualmente, en el mundo se liberan grandes cantidades de desechos orgánicos originados principalmente de estiércol de vacuno no tratado, basuras domésticas, residuos de agroindustrias, entre otros. (Reynoso 2020). Es por ello, que la producción de

compost y vermicompost es una actividad alternativa para transformar diversos desechos sólidos en humus; el que es rico en macroelementos, microelementos y microorganismos (Reynoso 2020). De esta manera, la aplicación de humus al suelo mejora significativamente sus características físicas, químicas y biológicas; al tiempo que influye positivamente en la productividad y rendimiento de los cultivos agrícolas (Reynoso 2020).

COMPOSTAJE

Se denomina compostaje al proceso de degradación biológica llevado a cabo por diferentes comunidades microbianas que transforman, en condiciones aerobias, unos sustratos orgánicos sólidos en un producto final humificado y estable, que mejora las características físico-químicas y fertilidad del suelo, entre otras (Villar *et al.* 2016; Sánchez *et al.* 2017; Azim *et al.* 2018). El compostaje es uno de los procedimientos a los que se recurre con mayor frecuencia por su eficacia en la erradicación y el aprovechamiento de los residuos mencionados anteriormente (Sánchez *et al.* 2017).

Durante el proceso de compostaje, intervienen múltiples factores, tanto bióticos como abióticos, que afectan al producto final o compost, como son la concentración de oxígeno, el grado de humedad, la formulación y composición del material de partida, el pH o la temperatura (Partenen *et al.* 2010). El compostaje convencional o termófilo se basa en la sucesión de cuatro etapas principales, durante las que intervienen diferentes poblaciones microbianas de las cuales, se obtiene el compost, cuya calidad depende del grado de madurez y estabilidad de mismo (Ryckeboer *et al.* 2003; Insam & Bertoldi 2007; Villar *et al.* 2016; Sánchez *et al.* 2017; Azim *et al.* 2018).

ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

El compostaje se compone de tres etapas: fase mesófila, fase termófila y fase de enfriamiento o mesófila. En la fase mesófila comienza la degradación de sustratos fácilmente degradables y actúan hongos y bacterias (Pradas 2020). En esta etapa aumenta el metabolismo microbiano y con ello aumenta la temperatura que puede llegar a los 45°C (Pradas 2020). En este punto comienza la fase termófila donde por el aumento de la actividad microbiana la temperatura

aumenta hasta alcanzar 65°C, momento en el cual las poblaciones mesófilas (como los hongos), son sustituidas progresivamente por comunidades microbianas termófilas (bacterias y actinomicetos termófilos) (Pradas 2020). En esta fase tiene lugar la degradación de polímeros vegetales complejos, como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Además, en dicha etapa se produce la higienización del compost, ya que la temperatura elimina fitopatógenos, patógenos humanos y larvas de insectos (Pradas 2020). Una vez que se han descompuesto la mayoría de los sustratos presentes durante la fase termófila, la temperatura del compost desciende y las comunidades mesófilas vuelven a colonizar la pila; a lo que se denomina fase de enfriamiento. Por último, la materia orgánica resultante de las etapas previas se estabiliza dando lugar al humus, conocida como fase de maduración. (Pradas 2020)

A lo largo de las últimas décadas, y debido a la gestión ineficaz de residuos urbanos (principalmente, residuos alimentarios comerciales o domésticos), los sistemas de compostaje han evolucionado y han adaptado prácticas que han permitido aprovechar tales desechos orgánicos de forma más eficiente. En este contexto, el vermicompostaje es uno de los sistemas de compostaje que más se ha impulsado en la actualidad. (Pradas 2020).



VERMICOMPOSTAJE

El vermicompostaje, también denominado lombricompostaje, se basa en la descomposición de la materia orgánica presente en los residuos, bajo condiciones mesófilas, por la acción combinada de las lombrices de tierra y los microorganismos (Singh *et al.* 2013; Medina-Sauza *et al.* 2019; Olle 2019; Singh *et al.* 2020). Se ha observado que, durante el tratamiento de residuos alimentarios, los procesos de vermicompostaje reducen significativamente el contenido de compuestos orgánicos biodegradables, lo que genera un producto final mucho más estable (Singh *et al.* 2013). Además, la liberación de CO₂ es mucho menor que en el compostaje convencional, por lo que el vermicompostaje es un proceso más ecológico (Singh *et al.* 2013). Como ya se ha dicho, el vermicompost tiene una influencia favorable sobre la productividad de los cultivos, debido a la mejoría que el mismo induce en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, de esta manera, con la aplicación sistemática de

humus de lombriz, se pueden recuperar suelos poco productivos y deteriorados (Medina-Sauza *et al.* 2019; Olle 2019; Singh *et al.* 2020).

FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE VERMICOMPOST

La transformación de la materia orgánica se realiza por acción de lombrices y microorganismos, lo que ocurre en condiciones aerobias (Somarriba & Guzmán 2004). La duración depende del tipo y características del proceso, de los residuos que se incluyen para el proceso de vermicompostaje, la densidad de lombrices inoculadas; así como también factores como la humedad, que se debe mantener del 75% a 80%, ya que bajo el 70% las condiciones son desfavorables y bajo de 55% son niveles mortales para las lombrices. (Somarriba & Guzmán 2004).

Generalmente con el aporte diario de restos húmedos de cocina se logra mantener el nivel de humedad. Si por el contrario el proceso de vermicompostaje está demasiado húmedo puede ser un inconveniente y dificultar la respiración de las lombrices (Somarriba & Guzmán 2004). La temperatura se debe mantener en un rango ideal entre 15°C a 24°C que corresponden al óptimo reproductivo para las lombrices, por lo que fomenta el crecimiento de la población y el éxito del cultivo (Somarriba & Guzmán 2004). El rango óptimo de pH debe fluctuar entre 6,5 y 7,5; aunque las lombrices pueden desarrollarse apropiadamente cuando el pH oscila entre 5 y 8 (Somarriba & Guzmán 2004).

Los procesos de compostaje y vermicompostaje corresponden a sistemas aerobios, por lo que el rendimiento del oxígeno es esencial (Somarriba & Guzmán 2004). La combinación de oxígeno dependerá del material, la textura, la humedad, la frecuencia de retorno y la presencia o ausencia de ventilación del sistema de cultivo. Otro factor que puede influir es la concentración de metales pesados, ya que en casos donde estos estén presentes en los residuos orgánicos, pueden alterar el metabolismo de las lombrices, por lo que se podría afectar la calidad del vermicompost producido. (Somarriba & Guzmán 2004).

Las lombrices son importantes recursos en la producción de abono orgánico para la fertilización del suelo, por lo que constituyen una contribución significativa para impulsar los modelos de agricultura sostenible (Raty & Huhta 2004). Las lombrices son participantes activos que regulan las características físicas de los suelos, la actividad de las sustancias

orgánicas del medio y el desarrollo de la vegetación. De esta manera, las lombrices poseen una gran facultad de alterar los elementos orgánicos, reutilizar alimentos y reformar el suelo, junto a otras especies descomponedoras (Raty & Huhta 2004).

De las diferentes especies de lombrices, la que más se utiliza para labores de lombricultura son las rojas californianas (*Eisenia foétida*), por su elevado nivel de desarrollo, resistencia a los agentes medioambientales, óptima productividad y fácil manejo (Arce & Mori 2020). La especie de lombriz y el tipo de alimentación influirá notablemente en el modelo de producción y en el producto final o humus (Santamaría-Romero & Ferrera-Cerrato 2002). Entre los sustratos utilizados en la producción de vermicompost, destacan los de origen animal (estiércoles de vaca, patos, caballos, cerdos, aves de corral, conejo), vegetal (restos de poda, restos de pastos) y los residuos urbanos de tipo orgánico (biosólidos y desperdicios de restaurantes y supermercados) (Castillo *et al.* 2000; Gunady & Edwards 2003; Moreno 2005).

A diferencia del compostaje termófilo, todo el proceso de vermicompostaje se lleva a cabo en condiciones mesófilas. Específicamente, a temperaturas óptimas entre los 35 y los 45°C, de modo que no se observan cambios de temperatura significativos entre una fase y otra. El proceso de vermicompostaje se puede resumir en las siguientes etapas: La **fase de pre-compostaje inicial** en donde por la naturaleza detritívora de las lombrices y antes de su incorporación al sistema de vermicompostaje, es necesario que los residuos orgánicos aportados inicialmente sufran una etapa previa de biodegradación. Esta fase dura aproximadamente unos 15 días. En el transcurso de ese tiempo, se descomponen los compuestos más fácilmente degradables, así como las sustancias volátiles, siendo estas últimas tóxicas para las lombrices. Luego sigue la **fase activa o mesófila** en donde una vez que el material de partida adquiere un alto grado de descomposición, puede ser procesado mecánicamente y de forma posterior, ingerido por las lombrices. La materia orgánica triturada pasa a lo largo del tubo digestivo de la lombriz, de forma que las enzimas digestivas secretadas y la microbiota asociada pueden actuar y continuar la descomposición de esta. Finalmente la fase **de maduración** en donde este material parcialmente digerido, denominado *vermicast*, es excretado al medio externo, donde será sometido, durante un período de tiempo variable, a un proceso de maduración y estabilización por la actividad microbiana, obteniéndose el vermicompost como producto final. Durante esta

transformación es fundamental que los niveles de nutrientes presentes en el *vermicast* sean reducidos considerablemente, ya que las concentraciones son tan elevadas que pueden ser nocivas para los cultivos que vayan a ser tratados con vermicompost. Asimismo, cuando se alcanza la fase de maduración, las lombrices migran hacia las capas superiores más frescas de la vermicompostera, donde se encuentra la materia orgánica recién suministrada, iniciándose de nuevo el proceso (Aira *et al.* 2007; Garg & Gupta 2009; Domínguez *et al.* 2010; Gómez-Brandón *et al.* 2011; Pathma & Sakthivel 2012; Gómez-Brandón & Domínguez 2014; Olle 2019).

La composición química del vermicompost es similar a la turba, de forma que contiene una concentración notable de nutrientes asimilables por las plantas, como calcio, nitratos, fosfatos, magnesio, potasio, etc (Pradas 2020). Por otro lado, el vermicompost reúne una serie de propiedades físicas y químicas que aportan mejoras notables en la estructura y la fertilidad de los suelos. Algunas de estas propiedades son buena porosidad, capacidad de retención de agua, aireación, pH neutro y elevada capacidad de intercambio catiónico. Asimismo, este incremento en la productividad agrícola de los suelos tratados con vermicompost se debe, en gran medida, a la actuación de las comunidades microbianas presentes en el mismo. Estos microorganismos promueven el crecimiento de las plantas y la germinación de semillas mediante la liberación de citoquinas, auxinas y sustancias húmicas; también presentan una actividad antibiótica significativa, lo que previene la aparición de diversas enfermedades fitosanitarias (Eatsman 1999; Atiyeh *et al.* 2000a; Castillo *et al.* 2000; Pereira & Zezzi-arruda 2003; Moreno 2005).

FISIOLOGÍA DE LA LOMBRIZ Y SU PAPEL EN EL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE

Las lombrices de tierra (familia Lumbricidae) son anélidos oligoquetos del orden Crassicitellata. Actualmente, se han descrito más de 8.000 especies de oligoquetos, de los cuales la mitad son lombrices de tierra (Reynolds & Wetzel 2016). Pueden ingerir hasta el 90% de su peso al día, excretando el 60% en forma de humus (Hickman *et al.* 1998). Teniendo esto en cuenta, las lombrices de tierra se consideran reactores naturales ya que mejoran la estructura del suelo al ingerir (engullir) partículas y hojarasca (Katheem *et al.* 2014). Asimismo, otra característica destacable de estos oligoquetos es la producción de

grandes cantidades de moco, rico en carbohidratos y sustancias similares a proteínas, que envuelve y lubrica la cutícula de la lombriz, lo que evita daños por rozamiento y facilita su desplazamiento a través del suelo (Zhang *et al.* 2009). Sin embargo, varios autores señalan que esta secreción mucosa no solo ayuda a la movilidad de la lombriz, sino que también posee numerosas propiedades que mejoran la productividad del suelo y favorecen la descomposición de la materia orgánica, por tanto, sirve como fuente de nutrientes para las plantas, acelera la mineralización y la humificación, y modifica la estructura de la población bacteriana (Zhang *et al.* 2009; Zhang *et al.* 2016; Huang & Xia 2017).

Las lombrices son capaces de movilizar y reciclar la materia orgánica presente en el suelo, además, estimulan y aumentan la actividad biológica del suelo mediante la ingestión y fragmentación de la materia orgánica presente en el mismo, lo que proporciona una mayor superficie de contacto para los microorganismos (Lavelle 1998; Katheem *et al.* 2014). El paso del sustrato a través del aparato digestivo de la lombriz implica, primero, una acción mecánica que comienza con el proceso de ingestión en el extremo anterior, seguido de su transporte a través del sistema digestivo hasta el intestino, en el que tiene lugar la digestión. Este proceso implica la secreción de varias enzimas y moco dentro del intestino, y culmina con la digestión y descomposición de los sustratos ingeridos directamente o con ayuda de microorganismos residentes en el intestino (Sinha 2009).

Las enzimas que participan en la digestión que se lleva a cabo en el intestino de las lombrices son producidas tanto por la propia lombriz como por su microbiota intestinal, si bien se considera que la mayor parte de esta actividad enzimática es de origen microbiano (Indira & Lakshmi, 2007; Katheem *et al.*, 2014). Entre las enzimas que participan en el proceso se encuentran las siguientes: amilasas, celulasas, nitrato reductasas, fosfatasa ácida y alcalina, entre otras. Dichas enzimas se encargan de degradar las moléculas complejas en compuestos simples, lo que ayuda a la descomposición y humificación de la materia orgánica (Indira & Lakshmi, 2007; Katheem *et al.*, 2014). Estas enzimas también contribuyen a mantener el pH estable en el interior del intestino, ya que son activas en un rango muy estrecho de pH. Además, al ser excretadas al exterior como parte del humus, favorecen la presencia de microorganismos en el mismo (Katheem *et al.*, 2014).

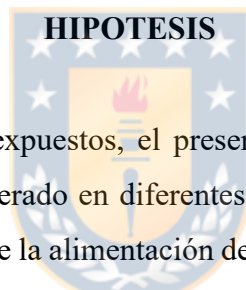
En el proceso de vermicompostaje, las especies más utilizadas presentan características como que son fáciles de cultivar, muestran un alto rendimiento en cuanto a descomposición de la materia orgánica, alta tolerancia a cambios ambientales, preferencia por alimentarse de restos orgánicos y bajo nivel de exigencia en cuanto al tipo de residuos que aceptan como alimento, además de ser especies de crecimiento rápido cuyos huevos tienen periodos de incubación cortos (Garg & Gupta 2009; Pattnaik *et al.* 2010).

PAPEL DEL VERMICOMPOST EN LA FERTILIDAD DEL SUELO

Además de los aportes mencionados relativos al papel del vermicompost en la mejoría de las propiedades del suelo, también contribuye a que las plantas cultivadas sean menos afectadas por diferentes patógenos (Singh *et al.* 2008). Esto es posible debido a que plantas bien nutridas tienen menos probabilidades de ser afectadas por patógenos fitotóxicos. De esta manera, las plantas pueden incrementar los rendimientos agrícolas de forma significativa (Singh *et al.* 2008).

La influencia del vermicompost sobre el crecimiento y la productividad de las plantas se ha descrito desde hace muchos años; diferentes autores coinciden en que la misma se basa en la presencia de micro y macronutrientes, vitaminas, enzimas, hormonas (Sinha *et al.* 2009; Makulec 2002); así como una mayor área superficial (micrositios) que mejora la relación aire-agua del suelo y, como consecuencia, la fertilidad biológica del suelo mediante la adición de microorganismos beneficiosos (Marinari *et al.* 2000). Además, el moco excretado a través del canal digestivo de las lombrices estimula el antagonismo y la competencia entre diversas poblaciones microbianas (Edwards & Bohlen 1996). Del mismo modo, también acelera la descomposición de la materia orgánica formada por sustancias húmicas estabilizadas que atrapan fitohormonas solubles (Edwards & Arancon, 2004), nutrientes en altas concentraciones (Atiyeh *et al.* 2000b) e, incluso, metales pesados, lo que protege a la planta de efectos fitotóxicos (Domínguez & Edwards, 2004). De ahí su aplicación en una amplia gama de cultivos, entre los que se incluyen las plantas ornamentales, tanto en condiciones de campo como de invernadero (Atiyeh *et al.* 2000b). Por tanto, como sugieren algunos autores, la lombriz actúa como acondicionador del suelo (Albanell *et al.* 1988) y como fertilizante de liberación lenta (Atiyeh *et al.* 2000c).

Los aportes del vermicompost o humus de lombriz, también se reflejan en la relación carbono-nitrógeno de un suelo o sustrato, mejorándose este indicador de manera significativa. Dicha relación consiste en un índice de la calidad del sustrato orgánico del suelo. Indica la tasa de nitrógeno disponible para las plantas; valores altos implican que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales; en cambio, valores entre 10 y 14 corresponden a una mineralización y ruptura de tejidos rápida, ya que la actividad microbiana se estimula, hay nutrientes suficientes para los microorganismos y para los vegetales (Gamarra *et al.* 2018). Además, la Relación C/N de bacterias y hongos del suelo es menor a 15, lo que implica que con valores bajos de C/N los microorganismos serán más eficientes en la descomposición de la materia orgánica (Gamarra *et al.* 2018).



De acuerdo con los antecedentes expuestos, el presente estudio evaluará la composición química del humus de lombriz generado en diferentes criaderos de vermicompostaje, para determinar la relación existente entre la alimentación de las lombrices y la calidad del humus obtenido en los diferentes criaderos. Por ello, se hipotetiza que la temperatura, humedad, acidez y composición química del sustrato que se utiliza para alimentar la lombriz *E. foetida*, se relacionarán directamente con la calidad de humus que se genera en los criaderos.

Objetivo general

Determinar la influencia de factores ambientales y alimenticios sobre la productividad y calidad del humus en sistemas de vermicompostaje basados en la crianza de la lombriz roja californiana (*E. foetida*).

Objetivos específicos

- 1) Dilucidar las fuentes y características de los materiales orgánicos alimenticios que se aplican en los diferentes criaderos de *E. foetida*.

- 2) Determinar la dinámica productiva de *E. foetida* en función de las fuentes alimenticias y el del ambiente físico y químico del criadero.
- 3) Determinar la composición química del humus producido en diferentes criaderos de *E. foetida*.

MATERIALES Y METODOS

SITIO DE MUESTREO

El presente estudio se realizó en la ciudad de Concepción, Chile. Se evaluaron 10 criaderos ubicados en el gran Concepción, distribuidos en diferentes zonas (Figura 1). Cada criadero corresponde a un domicilio particular en donde se establecieron los criaderos.

Esta zona geográfica presenta clima mediterráneo templado, con estacionalidad marcada, donde el periodo más lluvioso se registra históricamente en invierno y el verano es el periodo más seco.



Figura 1. Distribución de los 10 criaderos ubicados en el Gran Concepción.

PROCEDENCIA DE LAS LOMBRICES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS CRIADEROS

Todos los criaderos evaluados tuvieron las mismas características físicas, especificadas en la descripción del equipo o vermicompostador. Estos equipos fueron entregados por la empresa distribuidora Geociclos. Cada vermicompostador (criadero) tiene Capacidad de 100 L, 3 bandejas de trabajo con capacidad aproximada de 30 L c/u, 1 bandeja colectora de líquidos de 30 L, llave para extraer fácilmente el lixiviado, 4 patas para la instalación y tapa. El componente completo es de color negro, con medidas de 75 cm de alto, 57 cm de largo y 75 cm de ancho.

Cada uno de estos vermicompostadores se inició con un nido o núcleo de lombrices californianas (*E. foetida*) también facilitado desde la empresa Geociclos quienes realizan cultivo intensivo de dichas lombrices.



Figura 2. Foto referencial de la estructura de los criaderos.



Figura 3



Figura 4



Figura 5

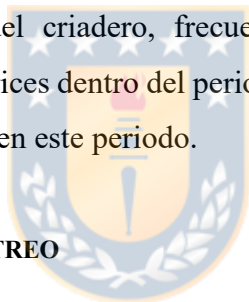
Figuras 3, 4 y 5. Estados referenciales de los núcleos y cultivo de lombrices (*E. foetida*) de Geociclos para el inicio de los criaderos.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ALIMENTOS

Los sustratos o alimentos ingresados a cada criadero se realizaron de forma diferente en cada uno dependiendo del criador. Se realizó una encuesta descriptiva a cada criador para tener un estimado del tipo de sustrato que se le ingresa a cada criadero estudiado, estos datos se registraron como se indica en la Tabla 2.

Se consultó la presencia o ausencia de elementos como cartón, papel blanco, hojas secas, aserrín, virutas y ramas de madera, restos de frutas y verduras, te, café o yerba mate, cítricos y comidas procesadas, el detalle de esto se representa en la tabla 2. También se consultó por la descripción de los elementos más abundantes al momento de ingresar a cada criadero para alimentación.

La mantención de los criaderos también fue evaluada para precisar las condiciones en las que estuvieron los criaderos en el periodo previo al muestreo. Entre las condiciones evaluadas se encuentra la exposición de luz del criadero, frecuencia de alimentación y aireación, estimación de la población de lombrices dentro del periodo de producción y estimación de la condición de humedad del criadero en este periodo.



PERIODO DE PRODUCCIÓN Y MUESTREO

Para escoger los criaderos a evaluar se realizó un barrido entre los criaderos registrados en la base de datos del Programa de Compostaje de la Municipalidad de Concepción. Se contactó a una porción de los criadores a cargo, para realizar un análisis descriptivo de las condiciones de cada criadero hasta encontrar aquellos que tuvieran las características adecuadas para el periodo de cosecha de humus, periodo en el que se tomó una muestra del producto.

A cada criador se le consultó el periodo que lleva cada criadero en funcionamiento, estado de degradación del sustrato ya incorporado y registros fotográficos para asegurar que estuvieran en dichas condiciones. Una vez confirmada la presencia de humus de lombriz en cada criadero se procedió a realizar la toma de muestras correspondiente.

El inicio de la recolección de las muestras de estudio fue en octubre de 2020 y las siguientes en el mes de abril y mayo de 2021 como se indica en la Tabla 1. La recolección de muestras en cada criadero se realizó tomándose una porción de humus de entre 100 y 500 g, en la

bandeja que presentó el mayor grado de descomposición de materia orgánica. En el proceso se retiró la mayor cantidad de lombrices adultas y juveniles visibles. Una vez tomada la muestra de humus de lombriz, se guardó cada una de las muestras en una bolsa plástica transparente, rotulada y se conservó refrigerada hasta el momento en que todas fueron enviadas al laboratorio para su posterior análisis.

ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA POR CRIADERO

Para la estimación de la capacidad productiva de cada criadero se consultó a cada criador por la cantidad de bandejas de humus que se logró cosechar en el último año. Las bandejas tienen una capacidad para 33 kg de residuos o sustratos, los que se transforman en 3 kg aproximados de humus al final del periodo de degradación. Por lo que la estimación se consideró a partir de estos 3 kg por cosecha de bandeja de humus en un año.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS

A cada muestra se le determinó: pH, en una suspensión de suelo: agua (1:2 p/v) (Jackson 1976); contenido de materia orgánica (MO) y C orgánico, por el método de Walkley-Black (Jackson 1976); para conductividad eléctrica (CE) se utilizó el método de extracto 1:5 y determinación por conductivimetría (Sadzawka *et al.* 2006). El N total se determinó por el método de Kjeldahl (Bremner 1965) y la relación C/N por la NMX-AA-67-1985 (DOF 1992), como un índice determinado por el contenido de C orgánico y N total, el cual es considerado como un indicador de la mineralización de la MO.

La Determinación de Ca, Mg y K fue realizada por extracción con solución de acetato de amonio 1mol/L a pH 7,0 y determinación por espectrofotometría de absorción y emisión atómica, con lantano (Sadzawka *et al.* 2006). Para la determinación de P se realizó una extracción con solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L a pH 8,5 y determinación colorimétrica del azul de molibdeno (Sadzawka *et al.* 2006). Para B se realizó la extracción con solución de CaCl₂ 0,01 mol/L a ebullición y determinación colorimétrica con azometina-h (Sadzawka *et al.* 2006). El Fe y el Cu se determinó según lo descrito por Sadzawka *et al.* (2005).

REGISTRO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

Como no se pudo realizar la medición de parámetros *in situ* en cada criadero, se consideraron para este estudio las temperaturas medias ambientales (máximas y mínimas) mensuales desde tres meses previos a cada fecha de muestreo. De esta manera, se pudo estimar las temperaturas aproximadas en las que se mantuvo el criadero. Los datos climáticos de la zona de muestreo se obtuvieron de los registros nacionales de Meteochile, de la estación meteorológica Carriel Sur, de acuerdo con los valores indicados en la Tabla 4.

RESULTADOS

ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA

Con los datos entregados por la empresa Geociclos y los valores luego de consultar a los criadores, se pudo estimar la productividad de sus criaderos (en bandejas por año), obteniéndose los resultados que se muestran en la Fig. 6.

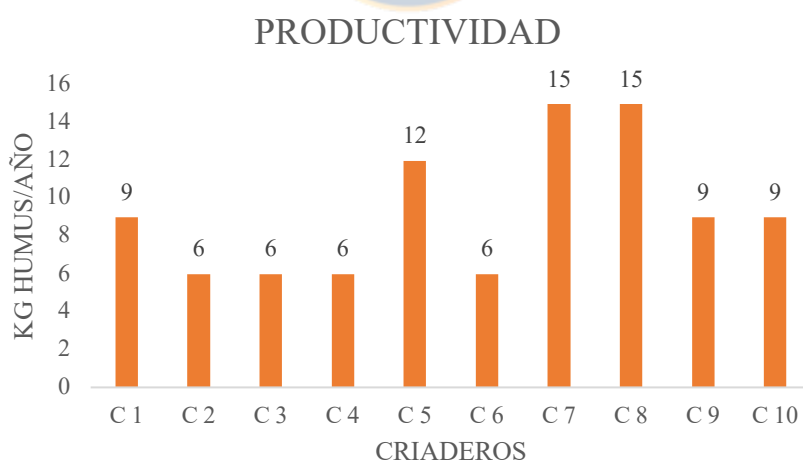


Figura 6 . Productividad de los criaderos en kg de humus por año.

Los criaderos con mayor productividad equivalente en kilogramos de vermicompost por año son C7 y C8, ambos con un valor de 15 kg/año. Le sigue en productividad C5, con un valor de 12 kg/año. Luego los criaderos C1, C9 y C10 presentaron un valor de productividad medio

correspondiente a 9 kg/año de vermicompost. Los criaderos C2, C3, C4 y C6 presentan el mismo valor de productividad con un aproximado de 6 kg/año de vermicompost, considerándose los valores menores de productividad de entre los 10 criaderos.

RELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y PRODUCTIVIDAD

Según las fechas indicadas de cada muestreo, el rango de temperatura media máxima ambiental del periodo de muestreo fue entre 14 y 24°C y la temperatura media mínima fue entre 5,7 y 11,3°C (Fig.7). Las muestras fueron tomadas en tres meses diferentes, con temperaturas medias dentro del mismo rango.

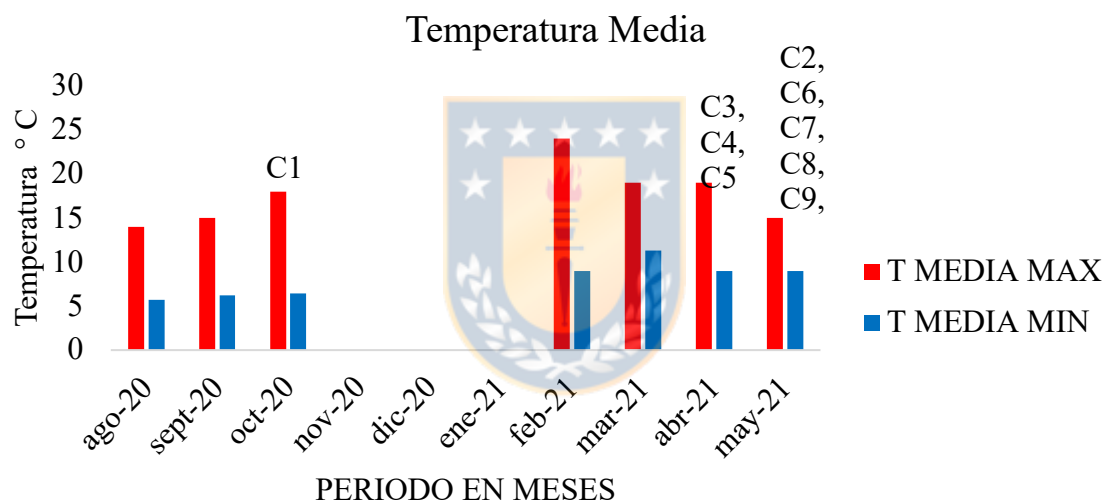


Figura 7. Temperatura media máxima y mínima del periodo de formación de humus y mes en que se realizó la toma de muestra en cada criadero.

En el caso de la humedad ambiental los valores fluctuaron entre 69% y 85% (Fig. 8), condiciones normales para la época en que fueron realizados los muestreos (Tabla 5).

Además, con los datos suministrados por cada criador se realizó una estimación de humedad de cada criadero, en donde C1 indicó humedad baja (0-30% aprox.), C3, C5 y C9 humedad media (30-60% aprox), C2, C6 y C10 humedad alta (60-100% aprox) y C4, C7 y C8 indicaron que la humedad fue variable durante el periodo de descomposición.

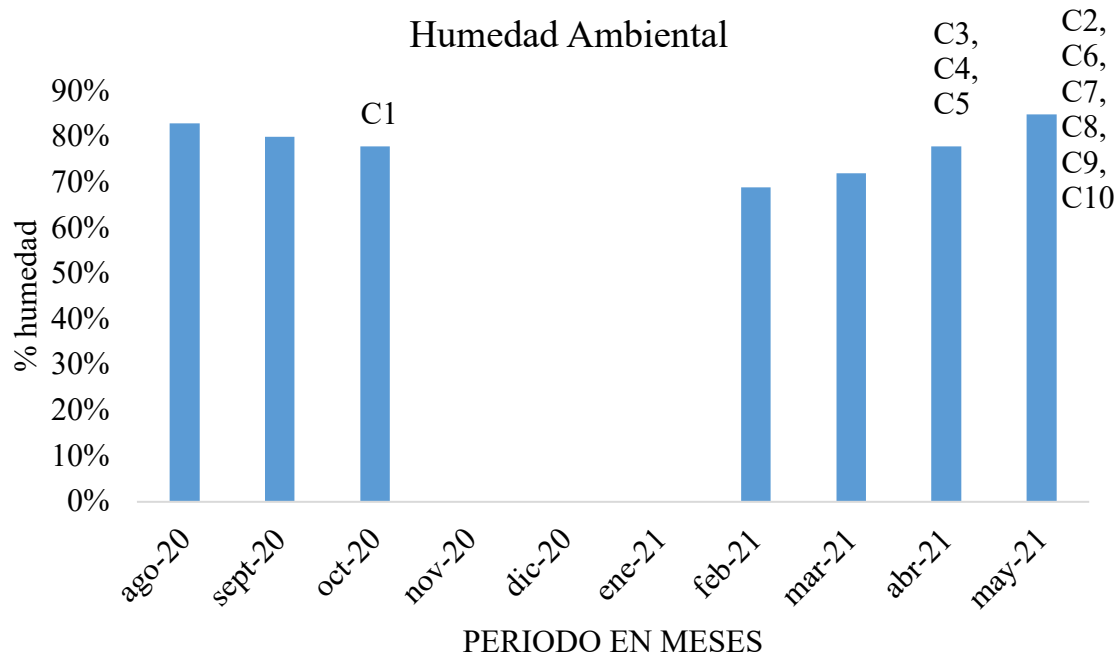


Figura 8. Humedad ambiental del periodo de formación de humus y mes en que se realizó la toma de muestra en cada criadero.

COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN C/N

De los 10 criaderos, el valor más alto de C/N fue exhibido por C10 con 21,8 y el valor más bajo se obtuvo en C3 con 12,4. Los valores del resto de criaderos variaron entre 13 y 18 de relación C/N (Fig. 10D)

COMPORTAMIENTO DE LOS MACRONUTRIENTES: P, K, Ca, Mg

Con relación al P, C3 tuvo el valor más bajo con 0,55 ppm mientras que el más alto se detectó en C10 con 5,20 ppm. El resto de los valores varían entre 0,61 y 1,79 ppm. Todas las muestras de los diferentes criaderos mostraron de K superiores a 2 ppm, debido a la sensibilidad del equipo no se detectan precisiones superiores a dicho valor (Fig.10C).

El criadero C1 registró menor contenido de Ca con 80,75 ppm, y el valor más alto lo presentó C10 con 359,73 ppm. El resto de los valores en los diferentes criaderos variaron entre 154,78 ppm y 313,60 ppm.

La mayor concentración de Mg se detectó en el criadero C1 con un valor de 509,97 ppm y el contenido más bajo se obtuvo en C6 con un valor de 48.06 ppm. El resto de los valores fluctuaron entre 62,79 y 124,49 ppm. (Fig. 10A).

COMPORTAMIENTO DE LOS MICRONUTRIENTES: Fe, Cu, B

El criadero C1 exhibió la mayor concentración de Fe (0,28 ppm), le continuó C8 con 0,91 ppm. El resto de los criaderos presentaron valores de <0,01 ppm; como se indicó anteriormente, debido a la sensibilidad de medición del equipo, cuando hay ciertas concentraciones muy altas o bajas, el mismo no ofrece datos precisos o específicos. De igual manera, el mayor contenido de cobre se detectó en el criadero C4 (0,36 ppm), y los más bajos los presentaron C1, C8 y C10 con un valor <0,01 ppm (Fig.10D). En cuanto al contenido de B, las concentraciones más altas se encontraron en C8 (180,10 ppm) y las menores en C1 (41,94 ppm). En el resto de los criaderos las concentraciones de B fluctuaron entre 42,58 ppm y 156,58 ppm (Fig. 10.B).



COMPORTAMIENTO DE pH

El análisis de las muestras de cada criadero arrojó que el mayor pH registrado lo presentó C7 con un valor de 9,61 mientras C3 mostró el pH más bajo (7,42). El resto de los valores de pH registrados osciló entre 7,94 y 9,21 (Fig. 9A).

COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

El criadero C7 registró los valores más altos de CE (8,17 dS/m); mientras que el valor más bajo lo presentó C6 con 2,50 dS/m. El resto de los valores varían entre los 2,86 y 7,14 dS/m (Fig. 9.B)

COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA (MO)

Los mayores contenidos de MO se determinaron en C9 con 47,35%, mientras que el valor más bajo se encontró en C10 (18,84%). En el resto de las muestras la MO varió entre 25,93% y 44,30% (Fig. 9C).

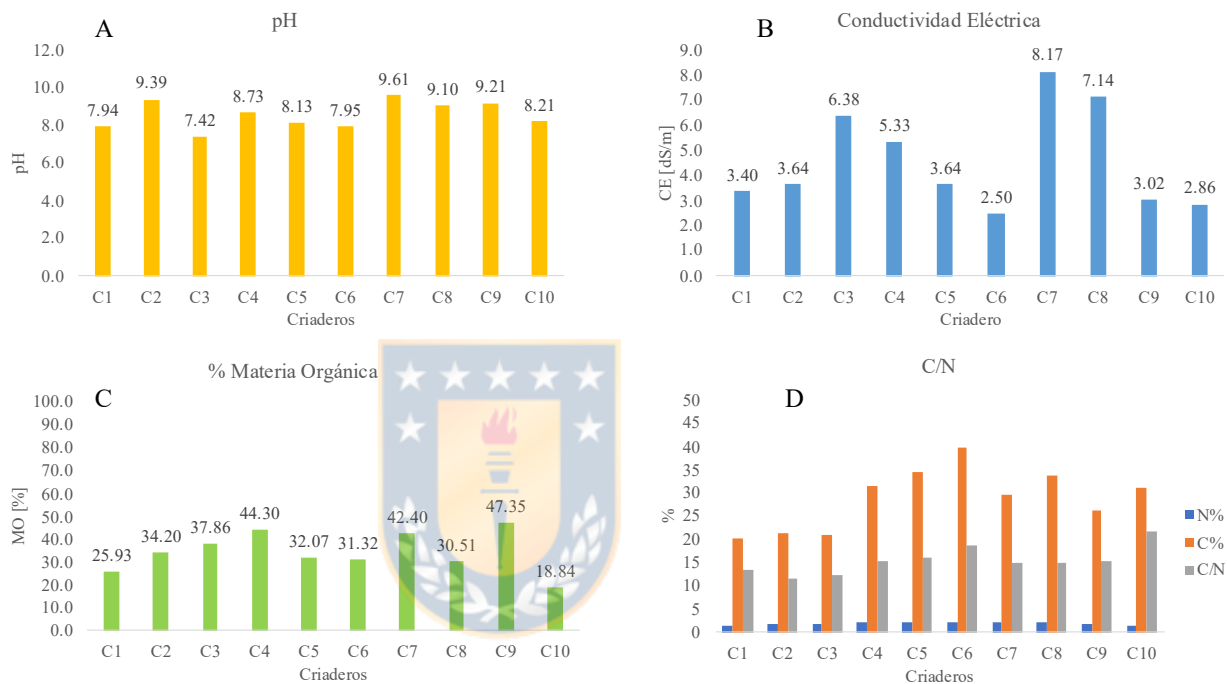


Figura 9 (A) Valores de pH en cada criadero (B), Conductividad eléctrica en cada criadero medido en CE [dS/m], (C) Porcentaje de materia orgánica en cada criadero, (D) Valores de porcentaje de nitrógeno total, carbono orgánico y relación C/N en cada criadero.

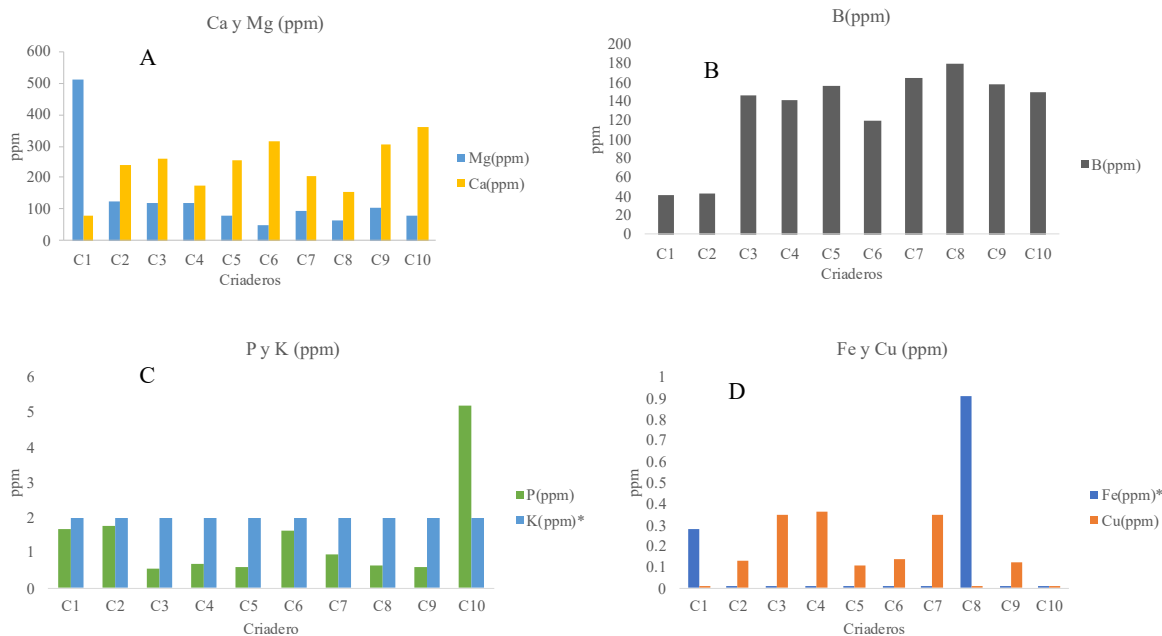
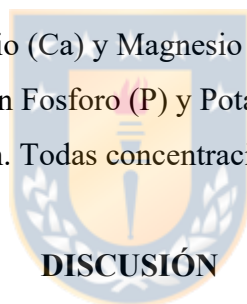


Figura 10. (A) Concentración Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) en ppm. **(B)** Concentración Boro (B) en ppm. **(C)** Concentración Fósforo (P) y Potasio (K) en ppm. **(D)** Concentración de Hierro (Fe) y Cobre (Cu) en ppm. Todas concentraciones en cada uno de los criaderos.



En consideración al gran problema que significa la contaminación ambiental actualmente, la disposición de diferentes tipos de residuos, tanto orgánicos de distintas fuentes y las consecuencias de estos, es impostergable reflexionar sobre la importancia de aprovechar los residuos domésticos en la producción del humus como aporte en la solución de estas problemáticas.

RELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y PRODUCTIVIDAD DE LOS CRIADEROS

Con respecto a las temperaturas ambientales utilizadas como referencia para este estudio, no se encuentra un patrón que coincida entre las condiciones de temperatura, con el nivel de productividad de humus por año. Los criaderos con mayor productividad fueron muestreados en la misma fecha junto con otros cuatro criaderos, que no presentan la misma productividad,

sino niveles más bajos como es el caso de C7 y C8 que presentaron los valores más altos (15 kg/año) y que fueron muestreados en mayo-2021, mes donde se registró una temperatura media de 15,8°C, misma fecha en que se realizó la toma de muestra de C6 que es uno de los criaderos con los valores más bajo de productividad (6 kg/año). Lo mismo se observó en el caso de C3 y C4, ambos criaderos con los valores más bajos de productividad (6 kg/año), las muestras de estos criaderos fueron tomadas en abril-2021, donde se registró 14° C como temperatura media, misma fecha donde se realizó la toma de muestra de C5, criadero con el segundo valor más alto de productividad (12 kg/año).

Un factor importante para la mantención de las lombrices es la temperatura, que afecta en el proceso de reproducción, producción (vermicompost) y fertilidad de los huevecillos. Una temperatura entre 18 a 25° C es razonada óptima, esta estimula a un máximo rendimiento de las producciones (Geler 2002). La temperatura óptima es la más la cercana a la corporal (19°C). Según los datos la producción de lombriz en camas no debe estar expuesta a los rayos ultravioleta ni al frío nocturno (Caños 2008), esto si se condice con los resultados de productividad, ya que según la información entregada por los criadores; C2, C3 y C4 fueron los criaderos expuestos a ambientes lumínicos mixtos, es decir en algún periodo estuvieron expuestos a radiación solar, por ende, también expuestos a la intemperie y las temperaturas más bajas, sobretodo nocturnas. Estos criaderos fueron el 75% de los criaderos con más baja productividad (6 kg/año), exceptuando C6, que también presenta el mismo valor de productividad pero que no presenta las mismas condiciones de mantención. Los problemas de mantención con respecto a la temperatura, se hacen visibles al bajar a 15°C, las lombrices ingresan en un estado de latencia, reduciéndose metabolismo. Se frena la reproducción, su crecimiento y la producción de vermicompost; los huevecillos no eclosionan (Sinchiguano 2015), esto se expresa en una menor población de lombrices en cada criadero, que, según la estimación entregada por los criadores, coincide con que en los periodos de menor temperatura (otoño, invierno) la cantidad estimada de lombrices disminuye considerablemente.

En el caso de la humedad ambiental, en la zona de muestreo, durante todo el periodo considerado se mantiene en rangos de 69% a 83%. La literatura indica que la humedad directa del criadero es un factor determinante en la mantención de los cultivos de lombrices. Geler (2002) manifiesta que la reproducción tiene una relación directa con la humedad. Se

considera que es la misma es óptima cuando oscila entre 70 y 80%. Niveles mayores a 85%, inducen una fase de latencia donde se ve perjudicada la producción de vermicompost y la proliferación. Por debajo del 55% de humedad se produce la muerte de la lombriz.

Este parámetro tampoco fue medido *in situ*, por lo que se consideró una estimación por parte de cada uno de los criadores a cargo de la mantención de los cultivos. De esta manera, la humedad que de los criaderos es una consecuencia directa del manejo que los criadores realizan en sus unidades productivas de lombricultura y producción de humus.

COMPORTAMIENTO DE LA RELACIÓN C/N

Acosta *et al.* (2004), señalan que relaciones de C/N superiores a 30 producen altos niveles de oxidación de carbono y, por lo tanto, pérdida del material; este parámetro se ha empleado para evaluar la estabilidad de la materia orgánica, considerando que su valor cambia conforme lo hace la edad del residuo, desecho o materia orgánica.

Según indican Gamarra *et al.* (2018) cuando la Relación C/N es de 10 a 14, se favorece la proliferación de microorganismos descomponedores de la materia orgánica, porque cuentan con suficiente carbono para utilizarlo como fuente de energía y nitrógeno para sintetizar sus proteínas, lo que estimula la mineralización de dicho elemento para ser aprovechado por los componentes vegetales del sistema. Estos valores coinciden con los criaderos C1 (13,29), C2 (11,48) y C3 (12,4) por lo que indican una relación C/N favorable. El resto de los criaderos reveló relaciones más altas, entre 15 y 21.8, que, aunque es mayor a lo indicado anteriormente, considera niveles menores a 30, por lo que no habría alta oxidación de carbono con la aplicación de esos productos al suelo. Al comparar estos resultados con la NCH2880, todos los valores están en el rango de compost aceptable tipo A y B y por debajo de 50.

COMPORTAMIENTO DE LOS MACRONUTRIENTES: P, K, Ca, Mg

En el sistema suelo-planta, el 90 % del fósforo está en el suelo y menos del 10 % se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90 % es utilizable por los vegetales (Fernández 2007). La mayoría del fósforo de los ecosistemas terrestres se

encuentra localizado en el suelo, generalmente su contenido varía entre 100 a 3000 mg de P/kg; entre un 15 y un 80% de dicho contenido está en formas orgánicas (Po), dependiendo de la naturaleza del material de donde proviene, el grado de precipitación, las pérdidas de este, entre otros (Rincón et. Al, 2012). La cantidad de fósforo en la solución del suelo suele estar en torno a 0,05 ppm, concentración muy baja en comparación con el adsorbido por las superficies activas del suelo: de 102 a 103 veces menos (Fernández 2007).

De acuerdo con lo anterior, los resultados de la concentración de fósforo en las muestras de cada criadero (0,55 y 5,20 ppm), corresponde a valores por sobre la encontrada en el suelo de forma natural. De esta manera, se puede considerar que la utilización de este humus constituye un aporte relevante para restituir los contenidos de fósforo en suelos o sustratos destinados al cultivo de plantas, y de esta manera evitar daños por deficiencias de este macronutriente.

Con respecto al potasio, varias investigaciones confirmaron que el sistema agrícola, no tiene otra vía de ingreso natural para el balance de K que la reposición primaria, proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, siendo preponderante la participación de la fracción arcilla. Los minerales arcillosos son la fuente principal de K en el suelo (Sardi y Debreczeni, 1992; Buhman, 1993). El K de la solución del suelo está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma inmediata, pero las cantidades presentes son muy pequeñas, apenas una mínima porción del K total del suelo se encuentra en esta forma (Conti 2000)

Con base en las diferencias en su biodisponibilidad, el K del suelo se divide en cuatro fracciones: soluble; intercambiable; no intercambiable, pero potencialmente disponible para las plantas; y la presente en la matriz mineral o estructural. El K soluble es el más disponible para las plantas (Sparks y Huang, 1985; Mutscher, 1997). De acuerdo con los resultados de esta investigación, las concentraciones presentes en cada una de las muestras de humus de los criaderos revelaron valores <2 ppm por lo que sabemos que está continuamente presente en las muestras de humus, pero con valores de concentración muy bajos; esto implica que la fracción de K soluble sea aún menor.

En el caso del calcio, suele ser el catión más abundante en el complejo de cambio del suelo, pero la proporción utilizable depende del grado de saturación. En general, para regiones templadas y húmedas, el calcio intercambiable es unas diez veces más abundante que el

potasio cambiante (Monge *et al.* 1994). El calcio no toma parte directamente en las reacciones de transferencia de protones involucradas en buffers del pH, pero aporta la carga catiónica de estas reacciones. También es el catión complementario en formulaciones de potencial químico para muchos otros iones en los suelos. La presencia de carbonato de calcio en suelos calcáreos asegura una muy alta capacidad de tampón (Bache 1984).

La distribución del Mg en suelos puede considerarse de la misma forma que la distribución de K y se dividen en formas no intercambiables, intercambiables y solubles. Estas tres formas están en equilibrio (Mengel *et al.* 2000). En este contexto, los valores de Ca y Mg en las muestras de todos los criaderos mostraron las mayores concentraciones, respecto al resto de los macronutrientes evaluados. Esto indica que el humus de las muestras presenta una gran capacidad de buffer para el suelo por su concentración de calcio.

COMPORTAMIENTO DE LOS MICRONUTRIENTES: Fe, Cu, B

El hierro, presente en forma de óxido en el suelo, es importante, ya que no existe prácticamente un suelo donde no esté presente, aunque sea en pequeñas cantidades (Besoain 1985). La reserva total en el suelo es del orden de 0,7 a 55%; sin embargo, el hierro intercambiable oscila entre 1 y 1000 mg kg⁻¹ y el soluble entre < 0.1 y 25 mg L⁻¹ (Castellanos *et al.* 2000). Según los resultados obtenidos en el presente estudio, solo C1 y C8 contarían con Fe disponible, ya que el resto de los criaderos presenta valor < 0,01 (no hay dato específico debido a la sensibilidad del equipo de medición).

Con respecto al cobre, se ha determinado que una concentración de dicho micronutriente en tejidos de 40 mg kg⁻¹ puede provocar efectos tóxicos sobre la reproducción de lombrices (Maxwell 1968). Lo más frecuente es que los rangos de Cu en los suelos oscilen entre 10-50 mg kg⁻¹. Tales concentraciones son superiores a las determinadas en los criaderos, cuyo valor más alto es de 0,36 en C4, por lo que se puede considerar que las concentraciones detectadas en cada criadero corresponden a valores traza (Maxwell 1968).

El papel de la materia orgánica en la distribución de B entre las fases líquida y sólida de los suelos aún no se comprende por completo. Se ha observado deficiencia de B en suelos con alto contenido de materia orgánica. Se ha demostrado que esta deficiencia está relacionada con la alta afinidad de la materia orgánica por el B. Se ha observado que la adsorción de B

por los suelos es menor en pH ácido a casi neutro, pero puede ser más importante en suelos con pH alto en presencia de materia orgánica (Yermiyahu *et al.*2001).

Los suelos constituyen la fuente de B para las plantas. Estos pueden ser de dos tipos: aquellos con bajo contenido ($<10 \mu\text{g g}^{-1}$) o alto contenido ($10\text{-}100 \mu\text{g g}^{-1}$) (Malavé 2005). De acuerdo con estos valores, todos los criaderos presentaron alto contenido de B, ya que la concentración más baja fue de 41,94 ppm en C1 y la más alta de 180,10 ppm en C8. Además, estos valores son comparables con los que indica la norma de compost. La misma indica que el producto aceptado debe contener $<200 \text{ mg/kg}$ de masa en base seca (NCH2880 2003).

COMPORTAMIENTO DEL pH

El pH es uno de los indicadores que se pueden medir para conocer la calidad del humus. Según Osorio (2012), el rango de valor de pH está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes para las plantas. El mencionado autor indica, que en suelos de pH bajo (<5.5) la presencia de algunos iones restringe la solubilidad y disponibilidad de fosfato, sulfato y molibdato; así como también se restringe la nitrificación y la descomposición de la MO del suelo. Este efecto es más severo si el pH es aún más bajo.

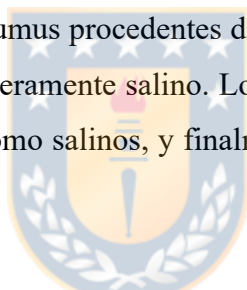
De todos los criaderos, el humus de C3 mostró un pH ligeramente alcalino (7,4). Esto podría influir en la disponibilidad del P para las plantas. En un estudio similar, Yadav (2011) indicó que el pH de todas las combinaciones de alimentos para las lombrices disminuyó de alcalino (7,2–8,1) a ligeramente ácido (6,4–6,8), lo que no coincide con lo obtenido de los criaderos del presente estudio, ya que todos los valores medidos son superiores al pH neutro. Otros científicos han informado observaciones similares para el proceso de vermicompostaje. Khwairakpam y Bhargava (2009) encontraron una disminución en el pH durante el vermicompostaje de lodos de depuradora. La diferencia en el pH de diferentes mezclas de residuos fue atribuidos a la diferencia en las características fisicoquímicas de residuos utilizados en el proceso. Ndegwa y Thompson (2000) informaron que el cambio en los valores de pH puede deberse a la mineralización de N y P y la conversión del material orgánico en ácidos orgánicos intermedios. Pramanik *et al.* (2007) han postulado que la descomposición de la materia orgánica conduce a la formación de amonio y ácidos húmicos. De acuerdo a esto, los valores registrados de las muestras de cada criadero indican que

probablemente la descomposición de las muestras no haya estado completa y que el periodo de cultivo debe alargarse hasta obtener el producto estabilizado. De acuerdo a los resultados de todos los criaderos, el pH se mantuvo en niveles de pH alcalino (7,4-8,0) o muy alcalino (>8); rango propuesto por Osorio (2012).

COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La salinidad del suelo se determina mediante la conductividad eléctrica de una solución de suelo (agua + suelo) o en extracto de saturación a una temperatura determinada. La solución del suelo contiene siempre sales solubles en mayor o menor proporción, pero si la cantidad de éstas aumenta y alcanzan un límite, la vegetación no puede sobrevivir (Condori 2016). Según Condori (2016), los suelos se pueden clasificar según su CE en no salino (<2 dS/m), ligeramente salino (2-4 dS/m), salino (4-8 dS/m) y muy salino (>8 dS/m).

De acuerdo con estos valores, los humus procedentes de los criaderos C1, C2, C5, C6, C9 y C10 estarían considerados como ligeramente salino. Los humus originados de los criaderos C3, C4 y C8 quedan clasificados como salinos, y finalmente C7 sería el único criadero con clasificación muy salino.



COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA (MO)

Se conoce como materia orgánica del suelo (MO) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell 1999). Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera 2000). La materia orgánica se encuentra constituida por una variedad importante de compuestos de complejidad variable en un continuo estado de transformación, lo que depende de la época de muestreo y las condiciones edafoclimáticas (Galantini 2008), así como al tipo de residuo orgánico que se aplique al suelo. Los procesos de humificación y mineralización a los que está sometida son los factores que influyen en la migración de las fracciones de carbono y nutrientes solubles en el perfil del suelo y su posible retención por la fracción orgánica y/o por la fracción mineral del suelo (Corvasce 2006).

Al incorporar MO se incrementa la estructuración de los agregados del suelo, es una reserva de macro y micronutrientes, debido a que presenta características de adsorción e intercambio, además de proporcionar energía a los microorganismos e inferir en la movilidad de los elementos para formar complejos (Romanya et al. 2007). La presencia de un mayor porcentaje de MO, como en C9 (47,35%) y C4 (44,30%), puede garantizar un agregado importante para la mantención del suelo, y generar beneficios al momento del cultivo de diferentes tipos de plantas, ya que podría generar un ambiente beneficioso para la población de microorganismos encargados de la degradación de la MO, mineralización y movilidad de los nutrientes en el suelo (Soto-Mora et al. 2016).

Los resultados presentan que la MO de los criaderos varía entre 18,84 (C10) y 47,35 (C9). I comparamos estos valores con los presentados en la NCH2880, C10 registra un nivel de MO muy bajo (<25%), el resto de los criaderos están con niveles aceptables para compost tipo B (>25%) y C9 es el único con MO mayor al 45% para comparación con compost tipo A; lo anterior indica que según los niveles presentes de MO, los productos obtenidos de cada criadero, exceptuando C10, están en niveles aceptable para ser utilizados directamente como fertilizante orgánico para suelos y cultivos (NCH2880).



CONCLUSIONES

Se determinó que el tipo de residuos ingresados a cada uno de los criaderos es similar, pero el manejo de cada uno de ellos genera diferencias en la producción.

La temperatura ambiental se relaciona directamente con la población de lombrices en cada criadero, pero no es un factor determinante para la productividad, como es el caso de la exposición a luminosidad, ya que los criaderos expuestos a la luz si presentaron menor rendimiento productivo.

Se detectó alta variabilidad de los valores trazas de K y Fe en algunos criaderos y concentraciones altas de Ca, Mg y B.

Para un siguiente estudio es necesario evaluaciones *in situ* y de forma continua a lo largo del proceso, para revisar la evolución del proceso a lo largo del tiempo, sobre todo en el caso del pH y temperatura. De esta manera, se podrá establecer la variación de estas variables durante la transformación de los residuos.

La manipulación de cada criadero al ser realizada por personas diferentes pudo tener gran influencia en los resultados, por lo que en un estudio posterior se deberá estandarizar al máximo las condiciones de manejo, para que los resultados sean más precisos.

REFERENCIAS

1. Acosta, Y., J. Paolini, y E. Benítez. 2004. Índice de humificación y prueba de toxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. *Rev. Fac. Agron.* 21(4): 185-194
2. Aira, M., Monroy, F., and Domínguez, J. 2007. *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Lumbricidae) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Microb Ecol*, 54, 662–671.
3. Aguilera, S.M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.
4. Albanell, E., Plaixats, J., Cabrero, T. 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biol Fertil Soils* 6:266–269.
5. Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. 2000a. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44: 579-590.
6. Arce Antinori, Hugo Angel, Mori Alván, Martha Silvana. “Efecto de tres tipos de dieta alimenticia para “Lombriz roja californiana” *Eisenia foétida* a partir de residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de humus – 2020”. Tesis Universidad Cesar Vallejo.
7. Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Metzger, J.D. 2000b. Influence of earthworm- processed pig manure on the growth and yield of green house tomatoes. *Bioresour Technol* 75:175–180.
8. Atiyeh, R.M., Dominguez, J., Subler, S., Edwards, C.A. 2000c. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44:709–724.
9. Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., Alami, I.T. 2018. Composting parameters and compost quality: a literatura review. *Org Agr*, 8, 141-158

10. Bache, B. W. (1984). The role of calcium in buffering soils. *Plant, Cell and Environment*, 7(6), 391–395.
11. Besoain, E. 1985. *Minerales de arcillas de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
12. Bremner J. “Total nitrogen”. In: C. A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part. 2 Agronomy 9*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, 1965, pp. 1149-1178.
13. Caños, L. 2008. *Humus de lombriz, una alternativa para producir abonos orgánicos limpios*. Mexico: ASC.
14. Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2a ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.
15. Castillo, A.E., Quarín, S. H. and Iglesias, M. C. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborado a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica (Chile)*. 60(1): 74-79.
16. Central Finland Pedobiologia. 2004. 48: 283-291.10.1016/j.pedobi.2004.02.002
17. Cerón L., Aristizábal F. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos *Revista Colombiana de Biotecnología*, Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia. vol. XIV, núm. 1, julio, 2012, pp. 285-295
18. Condori, B. M. A.. 2016. Estudio de niveles de boro y arsénico en suelo agrícola en el distrito de Cocachacra, Valle del Tambo. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Naturales y Formales. Arequipa. Perú.
19. Conti, M. E. (2000). *Materia Orgánica del Suelo*. Scoppa (Ed.), Principios de edafología 2da ed. pp. 67-86. Editorial Facultad de Agronomía
20. Corvasce M., A. Zsolnay, V. D’Orazio, R. López, T. Miano. “Characterization of water extractable organic matter in a Deep soil profile”, *Chemosphere* vol. 62, pp. 1583-1590, 2006.
21. DOF, Diario Oficial de la Federación - NMX-AA-67-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de la relación carbono/nitrógeno. 6 de Noviembre de 1992. 2 pp. 1992.
22. Domínguez, J., Aira, M., and Gómez-Brandón, M. 2010. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes. In: Insam, H., Franke-Whittle, I., and Goberna, M., (Eds.), *Microbes at work: From wastes to resources*, 93–114.
23. Dominguez, J., Edwards, C.A. 2004. Vermicomposting organic wastes: A review. In: Shakir Hanna SH, Mikhail WZA (eds) *Soil Zoology for sustainable Development in the 21st century*. Cairo, 369–395.
24. Eastman, B. R. 1999. Achieving pathogen stabilization using vermicomposting. *BioCycle*. 62-64.
25. Edwards, C.A., Arancon, N.Q. 2004. Vermicomposts suppress plant pest and disease attacks. *BioCycle* 45:51– 53.
26. Edwards, C.A., Bohlen, P.J. 1996. *Biology and Ecology of earthworms*. Chapman and Hall, London, 426.

27. Edwards, C.A., Dominguez, J., Arancon, N.Q. 2004. The influence of vermicomposts on pest and diseases. In: Shakir Hanna SH, Mikhail WZA (eds) Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st century. Cairo, 397–418.
28. Epstein, E. 1997. The Science of Composting. Pennsylvania, US. Technomic Publishing. 483 p.
29. Fernández, M. T. Fosforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba. vol. XLI, núm. 2, 2007, pp. 51-57
30. Foth, H.D.; Ellis, B.G.. 1997. Soil Fertility. 2 edition. CRC Press. Florida, US. 290 p.
31. Galantini J. y L. Suñer, “Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina”, Agriscientia, vol. XXV, pp. 41-55, 2008.
32. Gamarra C. C., Diaz M. I., Vera M., Galeano M., Cabrera A. J.. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. Facultad de ciencias agrarias. Universidad de asunción. Revista mexicana de ciencias forestales. Vol 9. N46.
33. Garg, V. K. and Gupta, R. 2009. Vermicomposting of Agro-Industrial Processing Waste. 432-454.
34. Geler, A. 2002. Compostadores - Experto en lombricultura. Cami, Ral Valencia Esp. Disponible en: http://www.compostadores.com/repositorio/Lombricultura_castnl.pdf
35. Gómez-Brandón, M., Aira, M., Lores, M., and Domínguez, J. 2011. Epigeic earthworms exert a bottleneck effect on microbial communities through gut associated processes. PLoS One, 6, 1–9.
36. Gunadi, B. and Edwards, C.A., 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity, and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). Pedobiologia, 47.
37. Hickman, C.P., Roberts, L.S. and Larson, A. 1998. Principios integrales de zoología 14ª edición. Mcgraw-hill (ed). Interamericana
38. Huang, K. and Xia, H. 2017. Role of earthworms' mucus in vermicomposting system: Biodegradation tests based on humification and microbial activity. Science of the Total Environment, 610–611.
39. Indira and Lakshmi. 2007. Comparative studies on the digestive enzymes in the gut of earthworms, *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fétida*. Indian Journal of Biotechnology, 6: 567-569
40. Insam, H. and de Bertoldi, M. 2007. Microbiology of the composting process. Compost science and tecnologia; 8: 25-48.
41. J. Romanyà, P. Rovira, B. Duguy, R. Vallejo, and A. Rubio. “C sequestration issues in the Mediterranean soils, in: Greenhousegas Budget of Soils under Changing Climate and Land Use (Burnout)”, edited by: Jandl, R. and Olsson, M., BFW, pp. 15–22, 2007.
42. Jackson M. “Análisis químico de suelos”. Trad. al español por M. J. Beltrán. 3ª edición. Omega. Barcelona, España. 1976.

43. Katheem Kiyasudeen S., Jessy, R. S. and Ibrahim, M. H. 2014. Earthworm's gut as reactor in vermicomposting process: A mini review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4: 2250 - 3153.
44. Khwairakpam M., Bhargava R. 2009. Vermitechnology for sewage sludge recycling. *J. Hazard. Mater.*, 161 (2009), pp. 948-954
45. Lavelle, P. 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biolo. Fertil. Soils*, 6: 237-251
46. Ley N° 20.920. *Diario Oficial de la República de Chile*. 01 de julio de 2016. <https://www.diariooficial.interior.gob.cl/sociedades-web/>
47. Makulec, G. 2002. The role of *Lumbricus rubellus* Hoffm. In determining biotic and abiotic properties of peat soils. *Pol J Ecol* 50:301–339.
48. Malavé, A. 2005. Los suelos como Fuente de boro para las plantas. *Revista UDO Agrícola* 5(1): 10-26.
49. Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresour technol* 72:9–17.
50. Maxwell, J.; *Rock and mineral analysis*, Pergamon Press: Oxford, 1968.
51. Medina-Sauza, R. M., Alvarez-Jimenez, M., Delhal, A., Reverchon, F., Blouin, M., Guerrero-Analco, J. A., Cerdán, C. R., Guevara, R. Villain, L., Barois, I. 2019. Earthworms building up soil microbiota, a review. *Front environ SCI*, 7(81), 1-20.
52. Mengel K., Kirkby E. A. (2000). *Principios de la nutrición vegetal*. Instituto internacional del potasio. Basilea, Suiza. 597pp
53. Ministerio de Medio Ambiente (2020). *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
54. Monge E., Val J., Sanz M., Blanco A., y Montañes L. 1994. El calcio nutriente para plantas. *Bitter pit en manzano*. -departamento de nutrición vegetal y Departamento de Pomología. Estacion experimental de Aula Dei. Zaragoza. Pp 80-92.
55. Moreno Reséndez, A. 2005. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies horticolas y ornamentales.
56. Mutscher, H. 1997. *Measurement and Assessment of Soil Potassium*. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 102 p.
57. Ndegwa P.M., Thompson S.A. Effect of C-to-N ratio on vermicomposting of Biosolids. *Bioresour. Technol.*, 75 (1) (2000), pp. 7-12
58. Olle, M. 2019. Review: Vermicompost, its importance and benefit in agriculture. *J Agric Sci*, 2, 93-98.
59. Partanen, P., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P. and Romandschuk, M. 2010. Bacterial diversity at diferents stages of the composting process. *BMC Microbiology*, 10:94.
60. Pathma, J., and Sakthivel, N. 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *SpringerPlus*, 26: 1-19.
61. Pereira, M. G. and Zezzi-Arruda, M. A. 2003. Vermicompost as a natural adsorbent material: characterization and potencialities for cadmium adsorption. *J. Braz. Chem. Soc.*, 14(1): 39- 47.
62. Pradas, A. (2020). Tratamiento de residuos orgánicos mediante vermicompostaje: Interacciones lombriz-microorganismo y aplicaciones biotecnológicas del

- vermicompost. Universidad de la laguna, Sección de Biología. Tenerife: Universidad de la laguna.
63. Pramanik P., Ghosh G.K., Ghosal P.K., Banik P.. Changes in Organic-C, N, P and K and enzyme activities in vermicomposts of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresour. Technol.*, 98 (2007), pp. 2485-2494.
 64. Rätty, M., & Huhta, V. (2004). Earthworm communities in birch stands with different origin in central Finland. *Pedobiologia*, 48(3), 283–291.
 65. Reynolds, J., Wetzel, M., 2016. *Nomenclatura Oligochaetologica—A catalogue of names, descriptions and type specimens of the Oligochaeta*. New Brunswick Museum Monographic Series (Natural Science), 9.
 66. Reynoso Peña, J. D. (2020). *Elaboración de vermicompost con estiercol*. Universidad de Huanuco. Huanuco. Perú.
 67. Ricardo José Somarriba Reyes, F. G. (2004). *Guía de Lombricultura*. Managua, Nicaragua: Universidad nacional agraria.
 68. Rosell, R.A. 1999. *Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos*. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.
 69. Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., et al. 2003. A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Ann Microbiol*, 53: 349–410.
 70. Sadzawka R., A., M.A. Carrasco R., R. Grez Z. y M.L. Mora G. 2005. *Métodos de análisis de compost*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N° 30, Santiago, Chile, 142 p.
 71. Sadzawka R., A., M.A. Carrasco R., R. Grez Z., M.L. Mora G., H. Flores P. y A. Neaman. 2006. *Métodos de análisis de recomendados para los suelos de Chile*. Revision 2006. Instituto de investigacione Agropecuarias, Serie Actas INIA N°34, Santiago, Chile, 164p.
 72. Santamaría-Romero, S., and Ferrera-Cerrato, R. 2002. Dinamica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos organicos. *Terra*, 20:303-310.
 73. Sinchiguano, L. A. Fuentes de alimentación de la Lombriz Roja Californiana (*Eusenia foétida*) en la producción de humus, *Mocache* 2014. 2015. Universidad tecnica estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias,
 74. Singh, A., Karmegam, N., Singh, G.S., Bhadauria, T., Chang, S.W., Awasthi, M.K., Sudhakar, S., Arunachalam, K.D., Biruntha, M., Ravindran, B. 2020. Earthworms and vermicompost: an eco-friendly approach for repaying nature’s debt. *Environ Geochem Health*, 42, 1617-1642.
 75. Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., Patil, R.T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresour Technol* 99:8507–8511.
 76. Singh, S., Khwairakpam, M., Tripathi, C.N. 2013. A comparative study between composting and vermicomposting for recycling food wastes. *Int J Environ Waste Manage*, 12, 231-242.
 77. Sinha, R.K., Herat, S., Valani, D., Chauhan, K. 2009. Vermiculture and sustainable agriculture. *Am-Euras J Agric and Environ Sci*, IDOSI Publication 5:1–55

78. Sipes BS, Arakaki AS, Schmitt DP, Hamasaki RT (1999) Root-knot nematode management in tropical cropping systems with organic products. *J Sustain Agr* 15:69–76.
79. Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., Santos, H., Ortiz-Ortiz, E., García-Gallegos, E., En, M., Ambientales, C., De Agrobiología, F., & De Odontología, F. (s/f). 2016. Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.
80. Sparks, D. L., and P. M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: *Potassium in Agriculture*. R. D. Munson (ed). Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. pp: 201-276.
81. Stevenson, F.J. 1986. *Cycles of Soil*. John Wiley. United States. 380 p.
82. Villar, I., Alves, D. and Mato, S. 2016. Seafood processing sludge composting: changes to microbial communities and physico-chemical parameters of static treatment versus for turning during the maturation stage. *Plos one*, 11 (12): E0168590.
83. Yadav, A. (2011). Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 102, 2874–2880.
84. Yermiyahu, U., Keren, R., & Chen, Y. (2001). Effect of Composted Organic Matter on Boron Uptake by Plants. *Soil Science Society of America Journal*, 65(5), 1436.
85. Zhang, S., Hu, F. and Li, H., 2009. Effects of earthworm mucus and amino acids on cadmium subcellular distribution and chemical forms in tomato seedlings. *Bioresour. Technol.* 100: 4041–4046.



ANEXOS

Tabla 1.- Información previa de cada criadero. Fecha de la toma de muestra, coordenada geográfica y estimación de kilogramos de humus al año.

	FECHA TOMA DE MUESTRA	COORDENADA	HUMUS/AÑO (kg)
C1	05-10-2020	36°49'20.5"S 73°03'19.1"W	9
C2	26-05-2021	36°48'00.5"S 73°02'22.1"W	6
C3	06-04-2021	36°48'01.7"S 73°02'27.5"W	6
C4	06-04-2021	36°47'36.2"S 73°03'22.5"W	6
C5	05-04-2021	36°56'31.1"S 73°01'18.9"W	12
C6	26-05-2021	36°48'46.3"S 73°04'42.9"W	6
C7	28-05-2021	36°48'06.8"S 73°02'48.7"W	15
C8	26-05-2021	36°49'20.7"S 73°02'13.1"W	15
C9	26-05-2021	36°49'32.0"S 73°01'50.1"W	9
C10	26-05-2021	36°47'55.5"S 73°02'02.1"W	9

Tabla 2.- Elementos agregados en cada criadero.

	CARTON	PAPEL BLANCO	PAPEL O CARTON CON TINTA O PINTURA	HOJAS SECAS	ASERRIN	VIRUTAS DE MADERA	RAMAS DE MADERA	RESTOS DE VERDURAS	RESTOS DE FRUTAS	TE, CAFÉ O YERBA MATE	CITRICOS	COMIDAS PROCESADAS
C1	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
C2	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
C3	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
C4	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
C5	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
C6	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
C7	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
C8	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO
C9	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO
C10	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 3.- Resultados de laboratorio N%, C%, C/N, pH, CE, MO% en cada criadero.

Código muestra	TIPO DE MUESTRA	N (%)	C (%)	C/N	pH	CE(dS/m)	MO (%)
C1	HUMUS	1,52	20,200	13,289	7,94	3,40	25,93
C2	HUMUS	1,185	21,467	18,116	9,39	3,64	34,20
C3	HUMUS	1,701	21,097	12,402	7,42	6,38	37,86
C4	HUMUS	2,042	31,476	15,414	8,73	5,33	44,30
C5	HUMUS	2,151	34,680	16,123	8,13	3,64	32,07
C6	HUMUS	2,114	39,730	18,794	7,95	2,50	31,32

C7	HUMUS	1,977	29,716	15,031	9,61	8,17	42,40
C8	HUMUS	2,258	33,915	15,020	9,10	7,14	30,51
C9	HUMUS	1,722	26,090	15,151	9,21	3,02	47,35
C10	HUMUS	1,431	31,226	21,821	8,21	2,86	18,84

TABLA 4.- Resultados de Laboratorio en cada criadero para P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y B en ppm.

CÓDIGO MUESTRA	P(ppm)	K(ppm)	Ca(ppm)	Mg(ppm)	Fe(ppm)	Cu(ppm)	B(ppm)
C1	1,68	> 2	80,75	509,97	0,28	<0,01	41,94
C2	1,79	> 2	237,47	124,49	<0,01	0,13	42,58
C3	0,55	> 2	258,64	117,37	<0,01	0,35	147,39
C4	0,68	> 2	172,32	121,60	<0,01	0,36	141,74
C5	0,62	> 2	253,57	81,30	<0,01	0,11	157,58
C6	1,62	> 2	313,60	48,06	<0,01	0,14	119,92
C7	0,96	> 2	202,80	92,79	<0,01	0,35	165,58
C8	0,63	> 2	154,78	62,79	0,91	<0,01	180,10
C9	0,61	> 2	304,27	102,47	<0,01	0,12	158,71
C10	5,20	> 2	359,73	78,20	<0,01	<0,01	150,20

TABLA 5.- Condiciones ambientales de la zona de muestreo.

T MEDIA/ MES	T MEDIA MAX (°C)	T MEDIA MIN (°C)	T MEDIA (°C)	HUMEDAD (%)
AGO-20	14	5.7	9.9	83%
SEPT-20	15	6.2	10.9	80%
OCT-20	18	6.4	11.8	78%
FEB-21	24	9	16	69%
MAR-21	19	11.3	15.8	72%
ABR-21	19	9	14	78%
MAY-21	15	9	12.2	85%

TABLA 6.- Estimación de humedad en cada criadero.

	BAJA (0-30%)	MEDIA (30-60%)	ALTA (60-100%)	VARIABLE
C1	x			
C2			x	
C3		x		
C4				x
C5		x		
C6			x	
C7				x
C8				x
C9		x		
C10			x	