



MÁSTER EN INGENIERÍA DEL AGUA



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

PROYECTO FIN DE MASTER.



Título: Ensayo de Gestión de Lodos de depuradoras mediante Lombrices.

Presentado por: Rafael Almagro Castejón

Máster en Ingeniería del
AGUA







CAPITULO 1.- Introducción	4
CAPITULO 2 .- Conceptos	10
CAPITULO 3 .- Investigación	23
CAPITULO 4 .- Análisis de resultados	32
CAPITULO 5 .- Comparativas	38
CAPÍTULO 6 .- Conclusiones	XX
Referencias Bibliográficas	XX
Anexos	XX





CAPÍTULO 1.- Introducción

El agua es un bien escaso en el planeta y necesario para los seres vivos y por tanto para el hombre, pero no siempre se encuentra en las condiciones óptimas para su consumo, por ello se hacen necesarias una serie de técnicas y tratamientos para su correcta gestión para su uso y consumo.

En ingeniería ambiental el término **tratamiento de aguas** se define como conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de



abastecimiento, de proceso o residuales. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal estos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, aunque ambos comparten muchas operaciones.

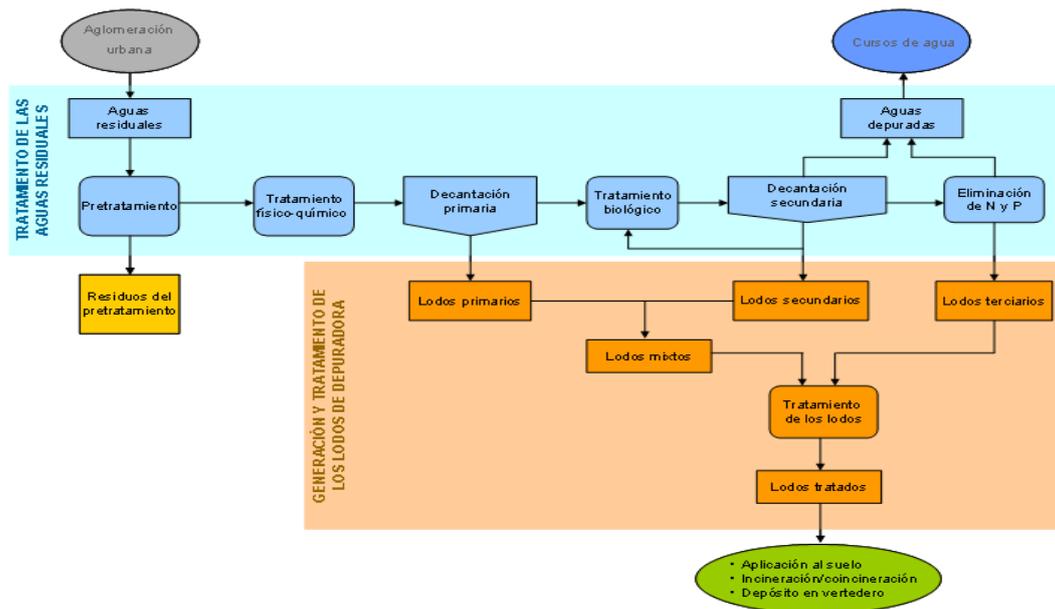
Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) son productores de lodos, el cual es considerado un residuo del proceso de tratamiento del agua, y como tales productores de residuos deben asegurar su correcta gestión, ésta puede realizarse directamente o encargarla a gestores autorizados, todo ello conforme a lo que establece la Ley 22/2011, de 28 julio, de residuos y suelos contaminados. La orientación de su gestión debe realizarse respetando los principios de la política de residuos relativos a la protección del medio ambiente y la salud humana y aplicando la jerarquía en las opciones de gestión, priorizando la prevención sobre el reciclado, otros tipos de valorización incluida la energética y quedando en último lugar el depósito en vertedero. En la actualidad las orientaciones sobre su gestión se recogen en el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR).

La prevención se refiere a la minimización de las cantidades generadas, a la disminución de la contaminación presente en los mismos y a la reducción de los impactos adversos sobre el medio ambiente. Se debe prestar atención preferente a la prevención de la contaminación en origen, es decir, a la disminución de la carga contaminante de las aguas residuales que llegan a las EDAR (cantidades de materia oxidable- en términos de DQO y DBO₅-, sólidos en suspensión y materias tóxicas, como metales pesados y contaminantes orgánicos, de manera que está implicado el sistema de saneamiento en su globalidad (desagües efectuados desde los hogares, otros



vertidos a la red municipal de colectores, existencia o no de redes separativas de pluviales, el mantenimiento de los colectores, etc.). Asimismo los tratamientos efectuados a lodos pueden incidir de forma significativa en la composición y cantidad de lodos tratados que deben ser objeto de gestión posterior.

El esquema básico de una depuradora que se resume a continuación puede observarse la complejidad del proceso convencional conjunto, y a su vez del sistema de tratamiento de los Fangos.



Basándonos en el conocimiento de los procesos básicos y tecnología convencional puesta en práctica en las plantas de tratamiento de las Aguas Residuales y de los tratamientos que llevan a cabo, una de las conclusiones que podemos destacar es la gran cantidad de residuos generados en forma principalmente de Lodos.



Estos lodos residuales como tal deben ser gestionados de forma correcta y conforme a legislación vigente, pero la gestión de este residuo es un proceso caro y complejo que origina una serie de gastos, en primer lugar, a modo de inversión previa en el dimensionamiento de las instalaciones necesarias para el tratamiento de los lodos, y en segundo lugar, unos gastos fijos derivados de los procesos necesarios para la transformación de estos lodos de la planta depuradora.

Con este concepto surgió la idea de tratar de gestionar y atajar este problema mediante una gestión de esta gran cantidad de materia orgánica transportada en el agua bruta a la EDAR mediante el uso de Biotecnología., creando un sistema donde la actividad zootécnica nos permite el aprovechamiento de residuos con elevada concentración orgánica para elaborar humus y perfeccionar todos los sistemas de producción del sector primario dedicado a la alimentación humana y animal.

El proyecto busca exponer las posibilidades del uso de una técnica basada en el uso de lombrices para el tratamiento de estos lodos generados en los procesos de depuración de las aguas urbanas.

La Lombricultura podemos definirla como una biotecnología basada en el uso de la lombriz como medio para reciclar todo tipo de materia orgánica compostable (biodegradable microbianamente), obteniendo como fruto de este trabajo: humus, lombrices y huevos, y pudiendo llegar a obtener también otros subproductos: harina de lombriz, desecando y triturando las lombrices adultas.

Mediante el proceso descrito se pretenden obtener los siguientes beneficios:

a) Directamente una reducción de los gastos de explotación de la EDAR, basándonos en la reducción del gasto relativo al tratamiento de los lodos generados, ya que ellos podrían llegar a ser retirados íntegramente del ciclo, desde sus primeras etapas.





- b) La obtención del Humus, como resultado de la descomposición de los lodos por las lombrices.
- c) Indirectamente en un futuro próximo puede ser el medio más rápido y económico, junto con el compostaje industrial, para la recuperación de suelos contaminados y erosionados, debido a la actividad humana.
- d) Puede llegar a ser una alternativa fuente de ingresos para agricultores y ganaderos en zonas rurales más desfavorecidas.





MÁSTER EN INGENIERÍA DEL AGUA



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CAPÍTULO 2.- Conceptos



A.- LOS FANGOS

Se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable y depende de la carga de contaminación del agua residual inicial y de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo en las aguas residuales. Los tratamientos del agua concentran la contaminación presente en el agua, y por tanto, los lodos contienen amplia diversidad de materias suspendidas o disueltas. Algunas de ellas con valor agronómico (materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y en menor cantidad calcio (Ca), magnesio (Mg) y otros micronutrientes esenciales para las plantas), aunque también pueden aparecer otras con potencial contaminante como los metales pesados, entre ellos cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), los patógenos, y los contaminantes orgánicos.

En cuanto a los lodos usados para el estudio, y que servirán como base de alimentación del sistema, se caracterizan por los siguientes valores:

MUESTRA	MS%	MV%	pH
Fango primario	0,5	63,9	6,8
Fango espesado	3	71,8	6,2
Fangos a flotación	0,2	80,7	6,6
Fango flotado	2,6	84	7,2

Tabla 1.- Datos medios de análisis del mes de junio 2012. EDAR - El Coperó

El fango, por su elevada concentración de nutrientes y la elevada humedad (> 95%) nos permite cubrir dos (materia orgánica y humedad) de las cuatro



variables básicas para la actividad de las lombrices. El otro factor limitante para la actividad de las lombrices es el pH, el cual como puede verse en la tabla 1, no lo será en nuestro caso, dado que el fango aportado presenta valores adecuados para la actividad biológica.

B.- LAS LOMBRICES

La especie empleada es la Lombriz Roja Californiana, denominada así porque es en ese estado de E.E.U.U. donde se estudió por primera vez y se instalaron los primeros criaderos. Sin embargo hay referencias del Alto y Bajo Egipto en el que estas lombrices ya se usaban para mejorar la producción agrícola.

La lombriz californiana se alimenta de materia orgánica en fase de descomposición, así como de materia mineral del suelo.

La clasificación zoológica es:

- Reino: Animal
- Tipo: Anélido
- Clase: Oligoqueto
- Orden: Opisthopro
- Familia: Lumbricidae
- Género: Eisenia
- Especie: E. foetida

Destacamos la Eisenia foetida (Lombriz Roja de California) por ser la lombriz más conocida y empleada en más del 80% de los criaderos del mundo.

A continuación vamos a hacer una breve descripción de la lombriz:



Características morfológicas

Posee un cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral. Existe una porción de anillos engrosados en el tercio anterior de 5 mm. de longitud llamada clitelium (de color “blanquecino”) que aparece cuando las lombrices adultas van a copular y su función está relacionada con la reproducción.

Características internas.

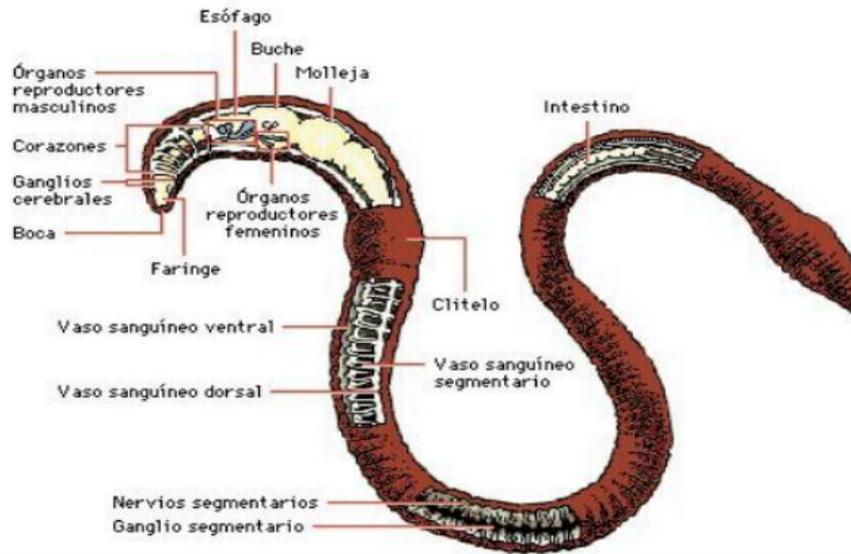
-Cutícula. Es una lámina muy delgada de color marrón brillante, quitinosa, fina y transparente.

-Epidermis. Situada debajo de la cutícula, es un epitelio simple con células glandulares que producen una secreción mucosa. Es la responsable de la formación de la cutícula y mantiene la humedad y flexibilidad de la misma.

-Capas musculares. Son dos, una circular externa y otra longitudinal interna.

-Peritoneo. Es una capa más interna y limita exteriormente con el celoma de la lombriz.





Esquema 2.- Anatomía de una lombriz

-Celoma. Es una cavidad que contiene líquido celómico y se extiende a lo largo del animal, dividida por los septos, actuando como esqueleto hidrostático.

-Aparato circulatorio. Formado por vasos sanguíneos. Las lombrices tienen dos vasos sanguíneos, uno dorsal y otro ventral. Posee también otros vasos y capilares que llevan la sangre a todo el cuerpo.

La sangre circula por un sistema cerrado constituido por cinco pares de corazones. **-Aparato respiratorio.** Es primitivo, el intercambio de oxígeno se produce a través de la pared del cuerpo.

-Sistema digestivo. En la parte superior de la apertura bucal se sitúa el prostomio con forma de labio. Las células del paladar son las encargadas de seleccionar el alimento que pasa posteriormente al esófago donde se localizan las glándulas calcíferas, las cuales segregan iones de calcio,



contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores de pH.

Posteriormente tenemos el buche , en el cual el alimento queda retenido para dirigirse al intestino.

-Aparato excretor. Formado por nefridios, dos para cada anillo. Las células internas son ciliadas y sus movimientos permiten retirar los desechos del celoma.

-Sistema nervioso. Es ganglionar. Posee un par de ganglios supraesofágicos, de los que parte una cadena ganglionar.

Hábitat.

Habita en los primeros 50 cm. del suelo y es muy susceptible a cambios climáticos (no tolera los excesos de frío-calor-humedad). Es fotofóbica, los rayos ultravioletas pueden perjudicarla gravemente. No es adecuado para su cría la extrema acidez o basicidad del medio, ni una incorrecta alimentación así como tampoco un una humedad mayor del 80% ni menor del 70% . También el exceso de individuos en el lecho de cría (sobrepoblación) no es bueno para la producción eficaz de humus y lombrices.

Cuando la lombriz cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona o chupa la tierra con la faringe evaginada o bulbo musculoso. Digiere de ella las partículas vegetales o animales en descomposición y vuelve a la superficie del terreno a expulsar por el ano el sobrante del material ingerido.

Ciclo de vida.



Son hermafroditas, no se autofecundan, por tanto es necesaria la cópula, la cual ocurre cada 7 o 10 días. Luego cada individuo coloca una cápsula (huevo en forma de pera de color amarillento de unos 2 mm) en la superficie del terreno. De la cual emergen de 2 a 6 lombrices después de un periodo de incubación de 14 a 21 días, dependiendo del tipo de alimentación y condiciones ambientales (pH, humedad y temperatura) de su cría.

Razones de su elección.

-Es muy prolífica, madurando sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida. Y su longevidad está próxima a los 16 años.

-Su capacidad reproductiva es muy elevada, la población puede duplicarse cada 45-60 días (adultos y lombrices jóvenes).

-En líneas generales teniendo en cuenta que la lombriz asimila el 40% de lo que come y excreta el 60% del material ingerido, la productividad real de humus de lombriz será el 50% de lo excretado ya que existe un 10% de pérdida debido a arrastres, lixiviados, etc.

-Se alimenta con mucha voracidad, consumiendo todo tipo de desechos agropecuarios (estiércoles, residuos agrícolas, etc.) y desechos orgánicos de la industria, sin embargo su alimento más frecuente es estiércol maduro de pH 7 a 7,5.

-Produce enormes cantidades de humus y de carne de lombriz por hectárea como ninguna otra actividad zootécnica lo logra.

-Se pueden obtener otros productos base para la industria farmacéutica. A partir del líquido celomático, se han producido antibióticos para uso



humano.

-Características como el no sangrar al producirse un corte de su cuerpo y ser totalmente inmune al medio contaminado en el cual vive, como la elevada capacidad de regeneración de sus tejidos, son motivos de investigación para la aplicación en el ser humano.

Condiciones ambientales para su desarrollo.

- Humedad.

Será del 70% para facilitar la ingestión de alimento y el deslizamiento a través del material.

Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz (cuando hay más del 70%) o su salida del lecho. Para medir la humedad se utiliza un higrómetro (mide la humedad exacta del lecho) o se realizan las técnicas manuales (prueba del puño y del vaso de yogurt).

Las lombrices toman el alimento chupándolo, por tanto la falta de humedad les imposibilita dicha operación.

El exceso de humedad origina empapamiento y una oxigenación deficiente.

Si se debe de regar los lechos hay que extremar el cuidado con las cantidades del riego, los tiempos del riego y la superficie de riego.

- Temperatura.

El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre 12-25° C; y para la formación de cocones entre 12 y 15° C.

Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se recurrirá a riegos más frecuentes, manteniendo los lechos libres de malas hierbas, procurando que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos.



Es recomendable crear sombra sobre los lechos de cría mediante plantas leñosas o parasoles (toldos).

- pH.

El pH óptimo es 7 para medirlo se utiliza normalmente tiras indicadoras de pH o un pHmetro.

- Riego.

Los sistemas de riego empleados son el manual y por aspersión.

Si el contenido de sales y de sodio en el agua de riego son muy elevados darán lugar a una disminución en el valor nutritivo del vermicompost.

Los encharcamientos deben evitarse, ya que un exceso de agua desplaza el aire del material y provoca fermentación anaeróbica. Por ello es recomendable establecer un sistema de drenaje.

- Aireación.

Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices.

Si la aireación no es la adecuada el consumo de alimento se reduce; además del apareamiento y reproducción debido a la compactación.

Producto final.

Sobre el producto final que podremos obtener del proceso, lo podemos denominar: LOMBRICOMPUESTO, VERMICOMPOST O HUMUS DE LOMBRIZ, y se caracteriza por las siguientes ventajas:



Es un fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción.

Su elevada solubilización, debido a la composición enzimática y bacteriana, proporciona una rápida asimilación por las raíces de las plantas. Produce un aumento del porte de las plantas, árboles y arbustos, y protege de enfermedades y cambios bruscos de humedad y temperatura durante el trasplante de los mismos.

El vermicompost contiene cuatro veces más nitrógeno, veinticinco veces más fósforo, y dos veces y media más potasio que el mismo peso del estiércol de bovino.

Los valores de la producción de lombricompost; siendo el promedio una lombriz adulta de un gramo de peso, que ingiere lo que pesa por día y excreta el 60% en forma de humus (0.6 gramos), de los cuales hay que asumir un 10% de pérdidas.

El humus de lombriz es de color negruzco, granulado, homogéneo y con un olor agradable a mantillo de bosque.

La lombriz recicla en su aparato digestivo toda la materia orgánica, comida y defecada, por otras lombrices.

El humus contiene un elevado porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos; pero éstos no se producen por el proceso digestivo de la lombriz sino por toda la actividad microbiana que ocurre durante el periodo de reposo dentro del lecho.

El humus de lombriz posee una elevada carga microbiana del orden de los 20 mil millones de grano seco, contribuyendo a la protección de la raíz de bacterias y nematodos sobre todo, para el cual está especialmente indicado.

Produce además hormonas como el ácido indol-acético y ácido giberélico, estimulando el crecimiento y las funciones vitales de las plantas.



El humus de lombriz es un fertilizante de primer orden, protege al suelo de la erosión, siendo un mejorador de las características físico-químicas del suelo, de su estructura (haciéndola más permeable al agua y al aire), aumentando la retención hídrica, regulando el incremento y la actividad de los nitratos del suelo, y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas de forma equilibrada (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y boro).

Absorbe los compuestos de reducción que se han formado en el terreno por compactación natural o artificial, su color oscuro contribuye a la absorción de energía calórica, neutraliza la presencia de contaminantes (insecticidas, herbicidas...) debido a su capacidad de absorción.

El humus de lombriz evita y combate la clorosis férrica, facilita la eficacia del trabajo mecánico en el campo, aumenta la resistencia a las heladas y favorece la formación de micorrizas.

La actividad residual del humus de lombriz se mantiene en el suelo hasta cinco años y al tener un pH neutro no presenta problemas de dosificación ni de fitotoxicidad, aún en aquellos casos en que se utiliza puro.

No debe enterrarse, pues sus bacterias requieren oxígeno. Si se aplica en el momento de la siembra favorece el desarrollo radicular, por otra parte, al hacer más esponjosa la tierra, disminuye la frecuencia de riego.

El humus de lombriz puede almacenarse durante mucho tiempo sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerlas bajo condiciones óptimas de humedad (40%).

En la siguiente tabla se muestra la composición del humus de lombriz:

Humedad → 30-60%



Ph → 6.8-7.2

Nitrógeno → 1-2.6%

Fósforo → 2-8%

Potasio → 1-2.5%

Calcio → 2-8%

Magnesio → 1-2.5%

Materia orgánica → 30-70%

Carbono orgánico → 14-30%

Ácidos fúlvicos → 14-30%

Ácidos húmicos → 2.8-5.8%

Sodio → 0.02%

Cobre → 0.05%

Hierro → 0.02%

Manganeso → 0.006%

Relación C/N → 10-11%





MÁSTER EN INGENIERÍA DEL AGUA



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CAPÍTULO 3.- Ensayos



El proyecto busca encontrar un diseño bajo unas condiciones óptimas para la alimentación, desarrollo y reproducción de las lombrices, basándonos para su sustento del fango originado en las primeras fases de los tratamientos de las plantas de tratamiento, para lo cual realizamos diferentes ensayos con poblaciones conocidas de lombrices, bajo condiciones de humedad y pH controladas.

Los primeros intentos buscaban el uso del fango como sustrato mismo donde desarrollar la población de lombrices, con lo cual se optó por fango primario espesado, con el cual se realizaron los siguientes ensayos:

ENSAYO NUMERO 1: Supervivencia en fango primario-espesado

MUESTRA	PESO	Nº LOMB ₀	Nº LOMB _f
1	4,4	30	0
2	4,4	30	0
3	4,4	30	0

Tabla 2.- Supervivencia de lombrices sobre Fangos espesados

Se colocaron 30 lombrices en cada una de las muestras de 4.400 gr de fango primario-espesado con el resultado de 0 individuos vivos en el medio. Con la curiosidad de haber observado la huida de las lombrices del medio al cabo de 24 horas.

La causa responsable de este fenómeno se debe a la elevada humedad del medio, que origina condiciones anaeróbicas que junto con una materia orgánica fresca provocan un medio inviable para el desarrollo vital de las lombrices. Además de generar unas condiciones ideales para el aumento de la temperatura interna en el fango y la aparición de reacciones de



fermentación que derivan en la generación de gases tóxicos para el desarrollo de la vida en su seno.

ENSAYO NUMERO 2: Supervivencia en fango mixto

MUESTRA	PESO kg	Nº LOMB _o	Nº LOMB _f	% MIXTO
1	2	20	19	60
2	2	20	40	40
3	2	20	2	20

Tabla 3.- Supervivencia de lombrices en fango-mixto

Puesto que el fango primario-espesado, como se vio en el primer ensayo no era viable para la vida, se realizó una mezcla con una mixtura de turba y sustrato al 50%, con los resultados indicados en la tabla 3.

Aquí se puede comprobar las preferencias de las lombrices, en primer lugar, con respecto al ensayo número 1, y en segundo lugar, dentro del mismo ensayo podemos apreciar la clara preferencia por el mixto-40% sobre las otras dos muestras, aunque cabe indicar que la huida y consiguiente aumento de la población en la mezcla mixto-40% vino provocada por el rechazo de los individuos presentes en la mezcla mixto-20%, debido a que la disposición espacial de las muestras solo permitía el acceso a ésta. Con el tercer ensayo, posteriormente, pudo comprobarse que las diferencias entre las preferencias de las lombrices entre el mixto-40% y mixto-60% eran inapreciables.

Otro elemento destacable de este ensayo es la aparición de los primeros cocones en el medio lo cual ya nos hacía indicar que las condiciones del mismo empezaban a ser idóneas para el organismo.



El principal problema de esta opción es conseguir una mezcla lo suficientemente homogénea entre el fango y la mezcla de sustratos, ya que las características del fango desecado, con una elevada plasticidad, hacía muy complicado un resultado homogéneo. Esto hace que aunque los resultados del muestreo hagan ver la aceptación por parte de las lombrices de las muestras mixto-40% y mixto-60%, se pudo comprobar que los individuos presentes en estas muestras no se encontraban inmersos en la porción de fango, sino concentrados en el sustrato, por lo que pensar en estas muestras como sustrato de vida para las lombrices fuera desechada.

ENSAYO 3: Fango primario-espesado-maduro

El ensayo consistió en dejar secar al aire libre durante unas semanas el fango primario-espesado, para tratar de oxidar la materia orgánica y ver si así era viable para las lombrices.

El resultado fue un fango, que por su características físicas, no presentaba cualidades que permitieran el desarrollo de las lombrices en él, con el desarrollo de una costra superficial que impedía el acceso de las lombrices.

La incapacidad de encontrar un fango primario puro aceptable por las lombrices, obligó a buscar una alternativa, la cual siguiera aportando ventajas al sistema. Se tomaron 3 nuevos tipos de muestras:

- Fango primario (de purga de los decantadores)
- Fango biológico de destino a flotador
- Fango biológico de salida de flotador (flotado)

ENSAYO 4: Supervivencia en fango biológico-espesado



Con el fango biológico-flotado se actuó con las mismas consideraciones que con el fango primario-espesado, obteniendo idénticos resultados: las lombrices que permanecían en el medio morían y el resto huía.

De igual forma se busco llevar el fango a su desecación total, y se obtuvieron los mismos resultados, una costra que hacía inviable, por sus características físicas el desarrollo de nuestras obreras.

A partir de aquí se comprueba que no es viable el uso de fango como medio de desarrollo de las lombrices, con lo cual se comienza el estudio de la evolución de éstas en un sustrato que sirva únicamente como soporte vital y al que nosotros iremos añadiendo el alimento por medio del fango.

ENSAYO 5: Fango primario y biológico como alimento

A partir de aquí lo que se pretende es utilizar el fango como base alimenticia para las lombrices, olvidando el concepto de soporte, que como se ha demostrado en los ensayos expuestos, no es viable con el fango extraíble de las primeras etapas del tratamiento de aguas de una EDAR. Esto nos llevo a la considerar otros tipos de fangos con los cuales trabajar, de ahí que las opciones que nos quedaban eran las dos restantes, previo paso por las digestiones que se llevan a cabo en le línea de fango de la planta y que originan una disminución sustancial de la cantidad de materia orgánica transportada por los mismos, *Fango primario*, proveniente de la purga de los decantadores primarios, y el *Fango biológico*, de la purga del reactor biológico y que va con destino a el espesamiento en el flotador.

(Las características de ambos vienen recogidas en la tabla 1)

Los primeros ensayos pretendían ver el nivel de aceptación de estos fangos por las lombrices. Dichos ensayos se basaron en aportar cantidades de estos fangos en diferentes puntos de las camas de lombrices y ver si al cabo del tiempo estas se habían trasladado en busca de alimento, y el resultado de los mismos dieron como positivo dicha aceptación. Habiéndose observado



tanto desplazamientos horizontales como verticales dentro de la cama, siempre hacia las zonas de una mayor humedad y hacia el fango.

Como sustrato-medio donde se desarrollaran las lombrices se busco un material fácil de conseguir y barato, que nos asegurara unas condiciones que no afectaran al desarrollo de las lombrices, las cuales solo tuvieran que preocuparse de ir en busca del fango-alimento que se aportaría. Dicho material elegido fue una base formada por sustrato agrícola, con las siguientes características:

- turba + cal + abono (N-P-K)
- $KCl < 2,0 \text{ g/l}$
- pH 5,0-6,5
- 80-270 mg/l N
- 80-270 mg/l P_2O_5
- 150-400 mg/l K_2O

En una bandeja de 70x37x15 cm³ llenamos un volumen de 67x35x11 cm³ de sustrato, dividido en dos zonas, que alimentaríamos cada una de ellas con uno de los fangos. Las dos parcelas estaban separado por una maya, permitiendo el libre paso de las lombrices entre ambas.

Con el ensayo se buscaban los siguientes objetivos principales:

- I) Encontrar si existía alguna predilección, por parte de las lombrices, entre el *Fango Biológico* y el *Primario*
- II) Obtener muestras de Humus a partir de lombrices alimentadas por ambos tipos de fango, y así poder conocer los rendimientos de esta acción



La densidad de población introducida fue de 50 lombrices/parcela, las cuales con el paso del tiempo nos permitirían observar la tasa de crecimiento de la población.

Los factores a tener en cuenta para el ensayo eran la temperatura, el pH y la humedad. En nuestro caso, dado que el experimento se desarrolló en su gran mayor parte en verano, se buscó colocar la cama en un lugar sombreado y ventilado, evitando así los efectos de las altas temperaturas de la época; sobre el pH, dado que los valores medios de los fangos de que disponíamos (pH Biolog = 6,6; pH Primar = 6,8) y del sustrato usado como cama (pH Sust = 6,5), eran levemente inferiores al valor óptimo para el desarrollo de las lombrices (pH óptimo = 7) no se consideró como un factor muy limitante y necesario de modificar para la actividad de las mismas; la humedad, a parte de ser el factor que más nos podría afectar a la actividad, sería el elemento a tener en cuenta para la alimentación de las mismas, ya que mediante su medición con un higrómetro, nos determinaría el momento en el cual realizar el aporte de fango, siempre tratando de mantener esta en 70-80%.

En la tabla siguiente puede verse como fue la evolución de la humedad en ambas parcelas de el experimento. Puede comprobarse que los aportes solo se llevaban a cabo para mantener los niveles óptimos de humedad entorno al 70-80%, ya que aportes mayores suponen problemas en el medio donde las lombrices se desarrollan: aumento excesivo de la temperatura, asfixia y encharcamiento, y puesto que en el experimento no se disponía de sistema de drenaje, había que evitar los excesos de aporte.



Medidas	humedad %	días de medida	días de aporte
1	65	29/05/12	29/05/12
2	75	06/06/12	
3	65	12/06/12	12/06/12
4	85	13/06/12	
5	65	09/07/12	09/07/12
6	80	18/07/12	
7	70	25/07/12	25/07/12
8	70	31/07/12	31/07/12
9	65	07/08/12	07/08/12
10	70	12/08/12	12/08/12
11	70	17/08/12	17/08/12
12	75	21/08/12	21/08/12
13	80	29/08/12	29/08/12

HUMEDAD DE LAS CAMAS

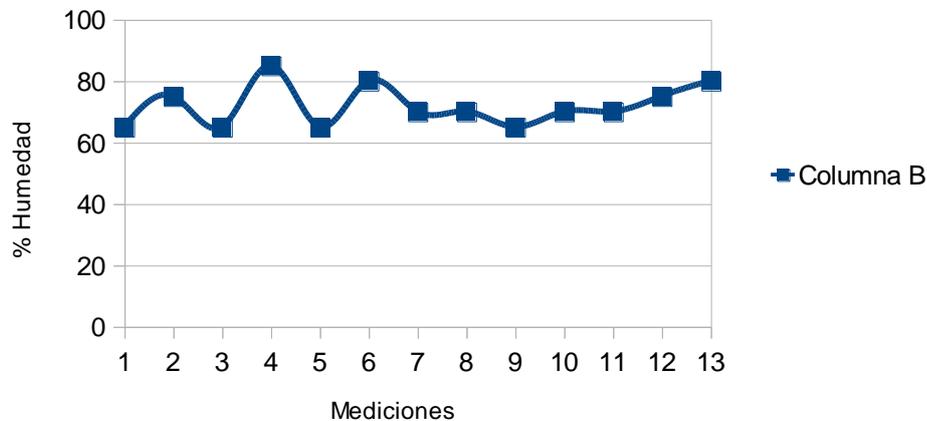


Tabla 4: Control de la humedad.

Gráfico 1: Variación de la humedad (%)

Cada una de estas aportaciones de fango ascendía a un volumen de 1,5 litros por aportación, con un periodo medio de riego de 5 días, lo cual permitía aportar la humedad requerida al medio y a la vez la materia orgánica que usarían las lombrices.





Como puede observarse el experimento se prolongo durante 3 meses, trascurrido dicho tiempo se realizo el levantamiento del experimento y de las parcelas, el conteo de la población de lombrices y la toma de muestras y análisis de ambas parcelas para conocer los rendimientos obtenidos.

CAPITULO 4.- Análisis de resultados



POBLACIÓN DE LOMBRICES

Transcurrido el periodo de estudio del ensayo se realizó la recogida de datos de las parcelas para un análisis de la población, obteniendo los siguientes resultados.

Se realizó una calicata en cada una de las parcelas de dimensiones 14x14x11 cm³, y se realizó el conteo de las lombrices encontradas en dichas muestras, teniendo en consideración las proporciones de lombrices adultas y jóvenes encontradas. Así se obtuvieron los resultados indicados en la tabla resumen:

	F. PRIMARIO	F. BIOLÓGICO	
Pobl. Inicial	50	50	Lombrices
Vol. muestreo	2153	2153	cm ³
Pobl. Muestra	184	183	Lombrices
Densidad poblac	85,34	84,87	Lombrices/Litro
Densidad poblac	85340	84870	Lombrices/m ³

	Lomb Jóvenes	Lomb. Adultas
F. PRIMARIO	46	138
F. BIOLÓGICO	52	131

Tabla 5: Análisis población de lombrices de la muestra



La población de lombrices en la muestra se multiplico considerablemente en 3 meses, pasando de las iniciales 50 lombrices en cada uno de los campos a más de 1000 lombrices/campo al final del experimento.

De los muestreos se puede apreciar unas cantidades prácticamente idénticas de individuos, al igual que una gran similitud en las distintas proporciones de individuos jóvenes y adultos, pero cabe destacar que hay una diferencia entre ambas muestras: en el fango primario la población de muestreo presentaba una gran diferenciación, de edad y tamaño, entre los individuos adultos y los jóvenes, mientras que en el fango biológico las lombrices eran de tamaño y edades mas parejos. Es decir como dato esclarecedor podemos indicar que las lombrices de mayor edad y tamaño se desplazan, pudiendo decir que prefieren, hacia el fango primario. Con esto podríamos identificar un desplazamiento de las lombrices con la edad adulta hacia el fango primario, lo cual esclarecería el porque de la gran cantidad y diferencia de tamaño entre las lombrices jóvenes encontradas en este fango primario, ya que serían las recién salidas de los cocones puestos por estas adultas. Mientras que las lombrices jóvenes (recién nacidas) tienen relativamente poca capacidad de movimiento, estas aparecerán ahí donde hayan sido depositados los cocones, pero una vez alcanza una determinada edad y tamaño, se desplazan hasta la zona del fango biológico, de ahí la mayor concentración de lombrices de edades intermedias y de tamaños más parejos en esta parte de la muestra.

A la vista de los resultados obtenidos sobre la población y considerando los valores del medio donde se ha desarrollado el experimento, hay que destacar el valor del pH de los fangos y del sustrato utilizado, que estan ligeramente por debajo del óptimo para las lombrices, esto puede ser causa de habernos limitado la población de individuos.



CAPACIDAD DEL SISTEMA

La capacidad del sistema la vamos a definir como la cantidad de fango que pueden consumir las lombrices de una cama al día.

Para poder conocerla debemos saber la cantidad de alimento que consumen diariamente las lombrices y el índice de conversión de este alimento para transformarlo en humus.

- El peso medio de una lombriz adulta ronda 0,8 – 1,2 gr.
- En nuestro experimento consideramos una densidad de 85340 lombrices/m³ en el fango primario y 84870 lombrices/m³ en el fango biológico.
- Las lombrices, como se indicó en el CAPÍTULO 2: en líneas generales la lombriz asimila el 40% de lo que come y excreta el 60% del material ingerido, podemos considerarle una la productividad real de humus de lombriz del 50% de lo excretado ya que existe un 10% de pérdida debido a arrastres y lixiviados.

Así con estos datos podemos asumir una capacidad del sistema de 85,34 kg fango primario/m³ de suelo y 84,87 fango biológico/m³ de suelo, al día.

Esto nos supone, dado los valores indicados de %MV en la Tabla 1, una capacidad de trabajo del sistema de 133,55 l/m³ y 105,16 l/m³ y día, de fango primario y biológico respectivamente.



DISEÑO DE LAS APORTACIONES

Como ya se ha indicado en el ensayo los aportes eran de 1,5 litros de fango en cada una de las subcamas, cada una de unos 13 litros de sustrato, lo que equivale a 115,38 litros fango/m³ suelo, considerando que las aportaciones tenían un periodo medio de riego de 5 días, esto nos indica una dosis diaria de riego de 23,76 litros de fango/m³ de suelo, bajo estas condiciones pudo comprobarse que originaba encharcamientos en el fondo de la cama en los momentos del aporte, dado que se trataban de aportaciones en una monodosis, a manta y en un momento puntual. Pero realizando un diseño de las aportaciones del fango de un modo mas escalonado, que cubra las cantidades necesarias para alimentar a la población de lombrices adecuado a las condiciones necesarias respecto a la humedad del terreno, que eviten valores por debajo del 70% requerido por las lombrices, reduciremos los posibles problemas derivados de los encharcamientos, como pudo comprobarse en el experimento a poco que se espaciaron levemente las aportaciones realizadas.

Hay que tener en cuenta el valor de la cantidad de agua perdida por evapotranspiración, lo cual nos determina la cantidad máxima de agua a aportar sin que se produzca la saturación del medio. En nuestras condiciones el valor máximo de agua aplicable es del orden de 7,024 mm agua/m², con lo cual además del motivo expuesto con anterioridad a los encharcamientos en los estratos inferiores del ensayo, se añade otra causa más para ello y es: Riego > ETP.

Este problema se soluciona de la siguiente forma:

Considerando que las lombrices se concentran en los primeros 50cm del suelo y que nuestra dosis experimental de riego diaria 23,76 litros de



fango/m³ de suelo, si reducimos el fondo de los cajones a 0,5m de profundidad podremos multiplicar por dos la superficie de evaporación manteniendo el volumen de suelo sobre el que aplicar el riego con el fango, incluso podremos ampliar esta dosis, si usamos la consideración de no regar con dosis mayores a el valor de evaporación del suelo como factor límite para evitar encharcamientos y excesos de humedad. Así nuestras camas sería de dimensiones 2x2x0,5 m³. Así la dosis aplicable al terreno usando como factor limite las evapotranspiración pasa a ser 14,048 l/m².

Los resultados obtenidos con el ensayo nos lleva a plantearnos dos opciones de manejo de las explotación:

PRIMERA.- Mantener el manejo realizado hasta ahora considerando los nuevos caudales aplicables a la superficie, teniendo en cuenta el factor límite de la evaporación, para evitar los problemas derivados de la humedad excesiva en las camas.

SEGUNDA.- Asumir la la densidad de lombrices que tenemos en las camas y aportarle la alimentación según el concepto de la capacidad de asimilación de alimento de las lombrices como factor que nos determina el volumen de fango a aplicar. Esta solución nos obligaría a un sistema de drenaje para evacuar el exceso de agua sobrante para evitar el exceso de humedad, y nos ocasionaría la necesidad de recircular este agua drenada.





MÁSTER EN INGENIERÍA DEL AGUA



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CAPITULO 5 .- Comparativas





CAPÍTULO 6 .- Conclusiones

Bibliografía





- Web Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.
- Manuales de Lombricultura.
- www.magrama.gob.es
- Manuales de Fitotecnia
- www.cedex.es





MÁSTER EN INGENIERÍA DEL AGUA



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Anexos



1.- CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

– Método Thornthwaite: $ETP = 16 (10T/I)^a$

ETP (mm)

I: índice calórico, constante para la región dada y $I = \sum i$, donde i es función de la temperatura media normal mensual [$i: (t/5)^{1,514}$].

T: temperatura media mensual (no normal) en °C

a: exponente empírico, función de I

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$



Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
Tmed mensual	10,6	12,2	14,7	16,4	19,7	23,9
T/5	2,12	2,44	2,94	3,28	3,94	4,78
Indice calor mensual (i)	3,1194102399	3,8592969574	5,1177357564	6,0399452148	7,9722568041	10,682031036

julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
27,4	27,2	24	19,6	14,8	11,8
5,48	5,44	4,8	3,92	2,96	2,36
13,137531355	12,992619925	10,749771513	7,9110677803	5,1705370034	3,6693469051

$I = \sum i$	90,42155049
--------------	-------------

ETP _{correc}	$16[(10^*T)/I]^a$
-----------------------	-------------------

a	1,9813921252
---	--------------

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
$(10^*T)/I$	1,1722869098	1,3492358773	1,625718639	1,813726917	2,1786841625	2,6431752022
$[(10^*T)/I]^a$	1,3701977706	1,8103189721	2,6191698564	3,2533615008	4,678379803	6,8611519188
ETP _{correc}	21,9231643292	28,9651035531	41,9067177028	52,0537840128	74,8540768475	109,7784307

julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
3,0302510686	3,0081324477	2,6542345127	2,167624852	1,6367779495	1,3049986354
8,9949329914	8,8653077996	6,9181500071	4,631442672	2,8422240052	1,6946064599
143,91892786	141,84492479	110,69040011	74,103082753	45,475584083	27,113703358



ETP	$ETP_{scorrec} * (N/12) * (d/30)$
-----	-----------------------------------

Latitud de sevilla-s.pablo	37,41
----------------------------	-------

N(nº max horas de sol)	9,6	10,6	11,7	13	14,1	14,6
N/12	0,8	0,8833333333	0,975	1,0833333333	1,175	1,2166666667
d(días del mes)	31	28	31	30	31	30
d/30	1,0333333333	0,9333333333	1,0333333333	1	1,0333333333	1
ETP (mm/mes)	18,1231491788	23,8801187071	42,2210180856	56,3915993472	90,8853249723	133,56375735

14,4	13,5	12,2	11	9,9	9,4
1,2	1,125	1,0166666667	0,9166666667	0,825	0,7833333333
31	31	30	31	30	31
1,0333333333	1,0333333333	1	1,0333333333	1	1,0333333333
178,45947055	164,89472507	112,53524012	70,192086718	37,517356869	21,947036552



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
ETP (mm/mes)	18,1231491788	23,8801187071	42,2210180856	56,3915993472	90,8853249723	133,56375735
ETP (mm/día)	0,5846177154	0,8528613824	1,3619683253	1,8797199782	2,9317846765	4,4521252451

julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
178,45947055	164,89472507	112,53524012	70,192086718	37,517356869	21,947036552
5,7567571145	5,3191846798	3,7511746705	2,2642608619	1,2505785623	0,707968921

Coefficientes Andalucía

Advención (Kad)	0,87
Climático (Kvc)	1,2

Clima árido

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio
ETP (mm/mes)	18,9205677427	24,9308439302	44,0787428813	58,8728297185	94,8842792711	139,44056268	186,31168725
ETP (mm/día)	0,6103408949	0,8903872832	1,4218949317	1,9624276573	3,0607832023	4,6480187559	6,0100544275

agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
172,15009298	117,48679068	73,280538534	39,168120571	22,91270616
5,5532288057	3,916226356	2,3638883398	1,305604019	0,7391195535

– Método Blaney-Criddle: $ET_0 = [(0,4572 t) + 833] * i$

ET₀ (mm)



t → Temperatura media mensual

i → % diario medio de horas de sol

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
t (°C)	10,6	12,2	14,7	16,4	19,7	23,9
i (%)	6,9	6,8	8,3	8,8	9,8	9,9
ET ₀ (mm/mes)	90,916608	94,573312	124,921972	139,287104	169,901032	190,645092

julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
27,4	27,2	24,5	19,6	14,8	11,8
10	9,4	8,3	7,8	6,8	6,7
208,5728	195,198896	162,11062	134,870736	102,656608	91,957232

Coefficientes Andalucía

Advención (Kad)	0,87
Climático (Kvc)	1,2

Clima árido

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
ET ₀ (mm/mes)	94,916938752	98,734537728	130,418538768	145,415736576	177,376677408	199,03347605
ET ₀ (mm/día)	3,0618367339	3,5262334903	4,2070496377	4,8471912192	5,7218283035	6,6344492016

julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
217,7500032	203,78764742	169,24348728	140,80504838	107,17349875	96,003350208
7,0241936516	6,5737950782	5,641449576	4,542098335	3,5724499584	3,0968822648





Entre ambos métodos vemos que es en julio los meses donde se dan las mayores necesidades hídricas con lo cual haremos el cálculo de los aportes para esos meses, y así asegurarnos las condiciones necesarias para el desarrollo idóneo de las lombrices en las camas.

ET → 7,024 mm/día ; 217, 75 mm/mes.

