



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“MEJORAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS DEL PROCESO
BIORREACTOR DE MEMBRANA (MBR) MEDIANTE LA TÉCNICA DEL
BOKASHI”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Arleth Edyra Hualpa Pinto

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio

Lima – Perú

2019

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°158-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 11 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Destiladores para la desalinización de agua de mar**, presentado por:

- **Dueñas Ruiz, Rosa Jazmin**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller en **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Destiladores para la desalinización de agua de mar** con N° de registro de la carrera: **036-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Franco Canziani Amico** como asesor y **Jaime Chacana Olivares** como co-asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

Mejoramiento de lodo deshidratado del proceso Biorreactor de Membrana (MBR) del proceso de lodos activados mediante la técnica del Bokashi

Arleth Edyra Hualpa Pinto¹; Luis Abraham Gomero Osorio¹

¹ Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales Panamericana Sur km 19, Lima 42, Perú.

Correo: arlethehp@gmail.com

RESUMEN

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de la industria alimentaria utilizan diferentes tecnologías, en las cuales destaca el proceso de Biorreactor de Membrana, procedimiento que genera lodos capaces de absorber diferentes fluctuaciones de carga orgánica e hidráulica, estos suelen ser un problema debido a su mal manejo como residuo. Actualmente son colocados en rellenos sanitarios generando grandes costos para las empresas o son incinerados ocasionando problemas a la salud de las personas; por lo tanto, una alternativa para reutilizar este residuo es ser empleado como materia prima para la elaboración de abono mediante la técnica del Bokashi. Esta técnica es más económica que el compost convencional debido a la utilización de materiales asequibles; además, el proceso dura tan solo 30 días en comparación con el procedimiento de compost convencional que dura 90 días. Es importante conocer las bases legales que regulan el uso y producción de los biosólidos y todos los factores que involucran al proceso del compostaje, puesto que si alguna falla la calidad no será la adecuada y el procedimiento no contará con las fases completas. Los factores más importantes son el pH y la temperatura; sin embargo, la temperatura es crucial para activar a microorganismos benéficos y empezar la descomposición. Ambos factores serán monitoreados paulatinamente con la finalidad de monitorear la evolución del experimento. Por otro lado, las alternativas de compostaje suelen ser altamente eficientes para la utilización de dicho residuo, llegando producir un abono orgánico de calidad, sin la necesidad de usar químicos ni agentes biológicos que aceleren y/o mejoren su producción; por lo que es una gran alternativa de aprovechamiento de residuos.

Palabras clave: Bokashi, biorreactor de membrana, lodos activados, PTAR, compostaje

ABSTRACT

The waste water treatment plants of the food industry use different technologies, which highlights the process of membrane bioreactor, a procedure that generates sludge capable of absorbing different fluctuations of organic load and Hydraulics, these are usually a problem due to their mishandling as waste. At present they are placed in landfills generating great costs for the companies or they are incinerated causing problems to the health of the people; therefore, an alternative to reuse this waste is to be used as raw material for the elaboration of fertilizer using the technique of Bokashi. This technique is more economical than conventional compost due to the use of affordable materials; In addition, the process lasts only 30 days compared to the conventional compost procedure that lasts 90 days. It is important to know the legal bases that govern the use and production of the biosolids and all the factors that involve the composting process, since if any failure the quality will not be the appropriate one and the procedure won't have the complete phases. The most important factors are pH and temperature; however, the temperature is crucial to activate beneficial microorganisms and begin decomposition. Both factors will be monitored gradually in order to monitor the evolution of the experiment. On the other hand, composting alternatives are usually highly efficient for the use of this waste, producing a quality organic fertilizer, without the need to use chemicals or biological agents that accelerate and/or improve their production; so it is a great alternative to use waste.

Key words: Bokashi, membrane bioreactor, activated sludge, Wastewater treatment, composting

REVISIÓN TEÓRICA

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA describe como aguas residuales a aquellas cuyas características originales son modificadas por actividades antrópicas, la calidad de estas aguas depende usar un tratamiento previo antes de ser utilizadas otra vez, ser vertidas a un cuerpo de agua o descargadas a la red pública y como aguas residuales industriales a las aguas resultantes de algún proceso productivo como actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. En el país existe

un 30 m³/s de aguas residuales domésticas generadas y actualmente solo se tratan 4,3 m³/s lo que simboliza el 14% del total, en consecuencia el 86% restante es depositado sin tratamiento alguno a los cuerpos de agua como: ríos, lagos, quebradas o mar. En Lima Metropolitana existen 5 plantas operadas por el Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima - SEDAPAL con tecnología de lodos activados. Debido a la gran diversidad la contaminación industrial tiene en común la contaminación de origen urbano, además de materia en suspensión, compuestos minerales, orgánicos, DBO y DQO (Sánchez, 2009). Entre los componentes principales de compuestos de tipo orgánico se encuentran: grasas, proteínas, hidratos de carbono, fibras, entre otros (Groppelli, 2017)

1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

1.1 Lodo activado

La tecnología a utilizar en este proceso va a depender de varios factores, entre ellos la calidad que se desea obtener, el tamaño de la planta y los costos de operación. Dentro de este proceso se remueven contaminantes; por lo tanto, se produce diferentes subproductos, entre ellos los más importante son los lodos. Estos provienen de las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario, en consecuencia sus características dependerán del proceso de origen y del tratamiento que han recibido. Entonces, la masa y el volumen también dependen del proceso donde se produjeron. (Limón J, 2013)

Las aguas residuales constan de dos componentes: efluentes líquidos y sólidos. Hay dos formas de tratar las aguas residuales, la primera es a través de estanques dejando que las aguas se asienten y por consecuencia todo el material sólido se depositará en el fondo, luego en la parte superior que consta de remanentes es tratado con sustancias químicas. La segunda forma consta del uso de poblaciones bacterianas las cuales tienen como finalidad degradar la materia orgánica, esta forma también es conocida como tratamiento de lodos activados, a su vez plantea abastecer a los microorganismos de las aguas residuales de oxígeno para que puedan realizar su metabolismo. Dentro de los pasos básicos se incluye: tratamiento previo mediante la captura de objetos grandes, la deposición primaria o sedimentación la cual se da cuando las partículas sólidas se asientan y los contaminantes se adhieren; el tratamiento secundario o digestión

biológica es realizado con lodos activados o filtros de goteo para poder fomentar el crecimiento de microorganismos (Reynolds, 2002).

En la investigación realizada por Limón Macías (2013) se especifica que la estabilización de lodos es un proceso cuya ventaja es la reducción de volumen y masa de las aguas residuales, también posibilita el desaguado y la minimización de olores, organismos patógenos y atracción de vectores para lo cual se utilizan varios métodos, entre los más comunes tenemos: digestión aerobia, digestión anaerobia, adición de cal y composteo. En cuanto a este último es generalmente utilizado como mejorador de suelos o acondicionador, para realizar este proceso es necesario mano de obra y un área exclusiva designada para el procedimiento.

Los biosólidos y lodos que se generan en Plantas de Tratamiento de Agua Residual, suelen ser de masa compacta y en algunos casos tienen problemas en la etapa de fermentación, por la dificultad de aireación; por lo tanto, es importante utilizar materiales que proporcionen una disminución de humedad y aumento de porosidad. En cuanto a su composición estos subproductos son ricos en nitrógeno, pero suelen tener un déficit en fósforo y otros elementos básicos para el compost, por lo que los materiales de enmienda son importantes durante el proceso (Torres, 2005)

Por lo tanto, el fango al ser un residuo puede ser usado para el compostaje el cual se viene dando desde mediados de los setenta al ser una alternativa económica y segura ambientalmente para su estabilización y evaluación final. Durante el proceso sufre una degradación biológica alcanzando la estabilidad, cuando es un material adecuadamente compostado se comporta como un material tipo humus, es decir, sin características desagradables e higiénico. Dentro del proceso de compost la materia orgánica se descompone generando temperaturas entre 50 – 70°C destruyendo organismos patógenos entéricos (Metcalf y Eddy, 1995).

1.1. Proceso de Biorreactor de Membrana (MBR)

El fango proviene del Biorreactor de Membrana (MBR), esta tecnología es capaz de absorber diferencias y fluctuaciones de carga orgánica e hidráulica del sistema; además, es importante conocer la edad de los lodos para identificar a las bacterias nitrificantes de crecimiento lento (Caro, 2012). Las bacterias y virus

retenidas al utilizar la ultrafiltración se logra un efluente estéril, eliminando la necesidad de realizar otros procesos más costosos como desinfección adicionales; por lo tanto, la peligrosidad asociada los subproductos de la desinfección también es eliminada (Cicek, 1998). Esta tecnología propone reutilizar el efluente obtenido, con ayuda del módulo de ultrafiltración el cual cuenta con un rango específico de tamaño de poro que oscila entre 0,005 y 0,100 μm lo cual evita presencia de bacterias, virus, material coloidal y sólidos (Caro, 2012). En consecuencia, el producto puede ser reutilizado según un uso determinado o puede ser colocado en un proceso de osmosis inversa o electrodiálisis reversible.

En cuanto al deshidratador de lodos se utiliza una Centrifuga o un Decanter, estas máquinas tienen un rotor giratorio a grandes velocidades, se aceleran por fuerza centrífuga mediante sedimentación o decantación de fases, es decir faso sólida y líquida, según la densidad. Esta centrífuga cuenta con un tubo estacionario que se encuentra dentro de un eje conectado al espiral - transportador helicoidal giratorio, por el cual es alimentado. Después, es acelerado mediante ranuras de alimentación. Una vez dentro las fuerzas centrífugas descritas aprietan a los sólidos pesados, por consecuencia estos se sedimentan y la fase líquida llena la ranura y es vertida (DLC S.A, 2016).

2. Reseña institucional

Esmeralda Corp, SAC, es una empresa dedicada a la industria alimenticia fundada el 15 de marzo de 1982. Se enfoca en tres sectores: operación logística y almacenamiento, procesos industriales y comercialización de productos terminados. Dentro del enfoque de procesos industriales se desarrolla el procesamiento de productos agroindustriales, cárnicos e hidrobiológicos para el mercado local e internacional.

Como parte de su política ambiental está el minimizar o prevenir el posible impacto ambiental de su actividad en cumplimiento de la legislación vigente, a través del Sistema Integral de Gestión Medio Ambiental- SIGMA se implementa la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales la cual está en constante implementación y mejora. El objetivo de esta planta es tratar las aguas procedentes de las operaciones de la corporación y de las

empresas alojadas en ella, obteniendo agua de calidad de reúso. El tratamiento se realiza con metodología y tecnología de vanguardia lo que la convierte en la primera planta del país, en su género, y en Latinoamérica en lograr agua a nivel de reúso en sus procesos, se encuentra conformada por Unidades de Tratamiento y un Laboratorio de ensayos e investigaciones. Tienen como meta, calificar la PTAR con la ISO 14001 e implementar el Sistema Integral de Gestión Medio Ambiental-2014

3. Bases legales

La Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos determina el almacenamiento y gestión de los residuos sólidos con diferentes orígenes como: industrial, agropecuario, agroindustrial servicios de saneamiento, actividades de construcción, estos son normados, fiscalizados, evaluados y sancionados por las autoridades competentes, en cuanto al manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final; la Resolución Ministerial N° 128- 2017- VIVIENDA define a un biosólido como un subproducto dado por como consecuencia del afianzamiento de la parte orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, es importante conocer que las características microbiológicas, químicas y físicas contribuyan al reaprovechamiento del suelo como acondicionador; por otro lado, el lodo generado en la PTAR es la concentración de sólidos sedimentados del agua residual en forma de sedimento acuoso o pastoso, del reactor biológico o de un proceso terciario. Para el almacenamiento se debe tener en cuenta que solo se permite los lodos estabilizados y deshidratados en cantidades equivalentes a la producción de no más de siete días calendario. También se prohíbe abonar los lodos en los espacios públicos ya sea parques, vías, áreas protegidas o arqueológicas, playas, cuerpos de agua u otros bienes de uso público. Los biosólidos producidos a partir de la estabilización y/o higienización de los lodos provenientes de las PTAR pueden ser comercializados para su reaprovechamiento con fines agrícolas, forestales y otros. La clasificación, parámetros, tipos de aplicación, condiciones técnicas, prohibiciones y otras disposiciones para el reaprovechamiento de biosólidos son establecidos en la norma que apruebe el Ministerio de Vivienda, Construcción, y Saneamiento.

Según el DECRETO SUPREMO N° 015 2017 VIVIENDA, para que los lodos residuales puedan ser acondicionados al suelo tienen que ser declarados como biosólidos de Clase A (aplicable al suelo sin restricción sanitaria) el cual es designado para su utilización como mejorador de suelos y/o acondicionador en agricultura. Para ello deberán ser previamente estabilizados con una concentración de Materia orgánica (SV) \leq 60% de Materia seca (ST), cumplir con ciertos parámetros de toxicidad química (Zinc, Mercurio, Cadmio, Níquel, Cromo, Plomo, Cobre, Plomo y Mercurio) y no sobrepasar los parámetros de higienización (*Escherichia coli*, *Salmonella* sp., Huevos viables de Helmintos o Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización).

Por otro lado, el protocolo de Monitoreo de Biosólidos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, bajo la Resolución Ministerial N° 093- 2018- VIVIENDA, se aplica a biosólidos producidos a partir de lodos o sustratos de lodos provenientes de una PTAR. Para fines de este estudio se indica que se deben tomar cinco muestras puntuales en un lapso de dos semanas, para el monitoreo del control de calidad de los lodos activados y ser analizados por un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad- INACAL. Este protocolo es una herramienta que ayuda a establecer los procedimientos y metodologías que debe cumplirse para determinar la calidad de los lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales- PTAR u otros sistemas de saneamiento incluye su disposición final o reaprovechamiento.

4. Métodos de compost

4.1. Compost convencional

Este procedimiento cumple con el empleo de varios residuos con el propósito de estabilizarlos, reducir el volumen y el saneamiento por inactivación térmica de patógenos. El objetivo de la estabilización es producir un material que no se fermente, que no produzca olores o atraiga bichos, el producto de compost puede ser beneficioso, proporcionando nutrientes para el crecimiento de las plantas, materia orgánica para la mejora del suelo y agentes para la supresión de enfermedades vegetales (Sundberg, 2005). El compostaje según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO genera la posibilidad de cambiar las características de los residuos orgánicos en

insumos agrícolas mediante la descomposición aerobia originando la mejora estructural del suelo y suministrando nutrientes.

Dentro de los beneficios del compost esta la facilitación de conglomerados en el suelo el cual permite una correcta aireación y humedad, puede actuar como fungicida o bactericida en muchos casos (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2014). Este proceso consta de varias etapas que deben cumplirse para que el producto, es decir, el abono sea considerado de calidad y se debe tomar en cuenta ciertos riesgos: la fitotoxicidad está relacionada al contenido de nitrógeno el cual se encuentra en forma de amonio este suele ser tóxico, tener en cuenta que la relación carbono/nitrógeno sea la adecuada, contenido de oxígeno radicular y el exceso de nitratos y amonio en plantas (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

4.2. Bokashi

Bokashi es un fertilizante orgánico, que se produce mediante la fermentación de la materia orgánica. Este nombre proviene de una palabra japonesa cuyo significado es materia orgánica fermentada. Contiene muchos nutrientes y sirve como un fertilizante de trabajo rápido, se puede comparar con fertilizante artificial como NPK (fertilizante que contiene nitrógeno, fósforo y potasio). Tradicionalmente, los agricultores japoneses usan Bokashi para mejorar la fertilidad del suelo y suministrar nutrientes a los cultivos.

Este proceso se realiza a través de la fermentación de materia orgánica al aire libre o en una situación cerrada. Al aire libre, la mezcla está en contacto con oxígeno del aire; esto se llama una situación aeróbica, la cual es comparable con el proceso normal de compostaje. Cuando la mezcla de fermentación se cierra del aire (por ejemplo, en bolsas de plástico) se llama situación anaeróbica.

Para la fermentación de la materia orgánica de Bokashi se necesita ingredientes especiales seleccionados (salvado de arroz, salvado de trigo, harina de pescado, etc.), junto con materiales de desecho orgánicos. Esta técnica ha sido desarrollada en Japón por el Prof. Teruo Higa.

El Doctor Teruo Higa, académico de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, estudió la tecnología de los microorganismos eficaces- EM los cuales tienen como principio fundamental la inclusión de microorganismos benéficos con la finalidad de optimizar las

características del suelo y así eliminar la putrefacción de microbios aumentando la eficacia en el uso de materia orgánica por las plantas. Por lo tanto, el Bokashi es el abono orgánico fermentado por EM (EMPROTEC, 2012)

Un aspecto importante en la preparación de Bokashi es agregar microorganismos efectivos (EM). Esta es una mezcla preparada artificialmente de microorganismos útiles del suelo los cuales se asientan en el suelo y expulsan a los microorganismos dañinos. Mejora la efectividad de la materia orgánica en el suelo y la fertilidad del suelo. Si no se puede usar la mezcla EM, también es posible usar tierra limpia; preferiblemente suelo fresco, húmedo de un bosque. Este suelo contiene una gran cantidad de microorganismos y muy probablemente no está contaminado con productos químicos. Aunque esto no será tan efectivo como el EM seleccionado artificialmente, aún puede darle un resultado adecuado.

5. Factores importantes en el proceso de compostaje

5.1. Temperatura

Se debe tomar en cuenta que el material será colocado en pilas; por lo tanto, si cuenta con condiciones adecuadas la actividad microbiana comenzará sin problemas. Al inicio todos los materiales implicados tienen la misma temperatura, pero para que los microorganismos puedan crecer es necesario el aumento de temperatura. Dentro de la actividad microbiana este factor es el más específico, por lo tanto es fundamental para el control del compostaje (Liang y McClendon 2003; Miyatake y Iwabuchi, 2006). Si se cuenta con una mezcla ideal dentro de 14 horas la temperatura debe ser de 50 °C, si se incrementa y llega a 70 °C debe ser enfriada con volteos periódicos; puesto que muchos microorganismos benéficos no se desarrollan a esta temperatura (Picado y Añasco, 2005). Al hablar de la temperatura ideal se debe tomar en cuenta cuando la actividad suele ser mayor y efectiva es para microorganismos mesófilos entre 15 – 40°C y para termófilos entre 40- 70 °C (Suler y Finstein, 1977)

Por lo tanto, es importante la evolución de la temperatura durante este proceso, puesto que, si existen algunas variaciones de este factor las actividades más afectadas en comparación con el pH, relación C/N, diferencias de humedad, sería la actividad microbiana (Bueno, Díaz y Cabrera, 2015), cuadro 1.

Cuadro 1

Parámetros de temperatura óptimos para el compostaje

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Temperaturas bajas: t° ambiente <35°C	Poca humedad	Los microorganismos bajan su actividad metabólica por la falta de humedad en consecuencia las temperaturas varían decaen	Se debe humedecer el material o agregar material fresco como frutas o verduras
	Insuficiente material	El material no es suficiente o la forma de la pila no es la adecuada	Agregar más material
	Mala relación C:N	Este factor está relacionado al material, entonces los microorganismos carecen de N para producir enzimas, finalmente el aumento de temperatura se ve retardado hasta por una semana	Agregar estiércol u otro material alto en nitrógeno
Temperaturas altas: t° ambiente >70°C	Humedad y ventilación poco suficiente	Ocurren cuando la temperatura incrementa y frena el procedimiento de descomposición, aún puede ocurrir la actividad microbiana pero no es la necesaria para activar microorganismos mesófilos y terminar el proceso	Controlar el volteo y verificar la humedad que debe oscilar entre un 55 a 60%, además adicionar material con alto contenido de carbono y de lenta degradación

Nota. Recuperado de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Copyright 2013 por FAO.

5.2. pH

El potencial de hidrogeno, más conocido como pH, influye directamente en el proceso esto se debe a la acción sobre el procedimiento microbianos y su dinámica. Esta variable es muy utilizada en el estudio de evolución del compostaje. Sin embargo, en evaluación a nivel laboratorio se extrajo la parte acuosa de las muestras

tomadas de las pilas para determinar una aproximación al “in situ” (Sundberg, Smars, Jonsson, 2004). Si se realiza un seguimiento al pH podemos obtener medidas indirectas del control de aireación de la mezcla, porque si se llegará a crear condiciones anaeróbicas ácidos orgánicos se liberan provocando un descenso del pH (Pinto y Mayorga, 2015).

El pH dependerá de los materiales de origen, por lo tanto, oscila entre 4.5 a 8.5 en cada fase del proceso. Dando lugar a la acidificación en los primeros estadios del proceso para que los ácidos orgánicos se formen. Después en la parte termófila se observa que el pH se incrementa en consecuencia de la conversión del amonio en amoniaco y posteriormente se alcaliniza resultando en una estabilización con valores contiguos al neutro. Este factor es el que determina la supervivencia de microorganismos y a los grupos con pH óptimos de multiplicación y crecimiento. Se debe tener en cuenta que a un pH de 6.0 a 7.5 existe mayor actividad bacteriana, mientras que en un rango de 5.5 – 8.0 se lleva a cabo la mayor actividad fúngica; por lo tanto, el rango ideal es de 5,8 a 7,2. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013), cuadro 2.

Cuadro 2

Parámetros de pH óptimos para el compostaje

pH	Causas asociadas		Soluciones
< 4.5	Ácidos orgánicos en abundancia	El resultado del uso de frutas, restos de cocina y/o vegetales es la acidificación del medio.	Incrementar el material rico en nitrógeno para obtener una óptima relación C:N
4.5 – 8.5 rango ideal			
> 8.5	Exceso de Nitrógeno	El material de origen consta de un exceso de nitrógeno, el cual en relación con la humedad y temperaturas altas causa alcalinización del medio debido a la	Se adiciona material seco con gran contenido de carbono: hojas secas, aserrín, rastrojo

		producción de amonio	
--	--	----------------------	--

Nota. Recuperado de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Copyrighth 2013 por FAO.

5.3. Aireación

Según el desarrollo del procedimiento de compostaje es importante afirmar la presencia de oxígeno, puesto que los microorganismos que forman parte de él son aerobios. Parte de la metodología indica a las pilas de compostaje, las cuales cuentan en sus espacios libres con variables porcentajes de oxígeno: dentro de sus dimensiones la parte más externa presenta un 18 a 20% de oxígeno casi tanto como el aire; en el interior de la pila el oxígeno va disminuyendo, por otro lado el dióxido de carbono va aumentando hasta llegar a una profundidad mayor de 60 cm en este momento encontramos un 0.5 a 2% de porcentaje de oxígeno (Ekinci, Keener y Elwell, 2004).

5.3.1. Volteo

Este proceso es necesario únicamente para la técnica Bokashi; es por esto que es importante que una vez constituida la pila de compost se realice el volteo o mezclado manual. La frecuencia está relacionada con la humedad, el tipo de material y rapidez con la que se desea realizar el proceso. Estos volteos tienen como finalidad homogeneizar la mezcla y la temperatura, como ya hemos visto funcionan para eliminar el exceso de calor, monitorear la humedad y controlar el aumento de porosidad de la pila para contribuir con una mejor ventilación. Al finalizar cada volteo la temperatura llega a un rango de 5 o 10 °C, para posteriormente subir en el transcurso del proceso (Emison, 2009).

5.3.2. Espacio de Aire Libre

Al ser un procedimiento donde ocurre una alteración biológica de materia orgánica, el agua tiende a ser indispensable para satisfacer a los microorganismos y sus necesidades fisiológicas, se sabe que es fundamental para el transporte de sustancias las cuales son fuente de alimento para las células, también pueden ser considerados productos de deshecho (Hoitink, 1995).

La masa de compostaje contiene humedad en el agua esta concentración no debe ser mayor a la ocupación total de los poros de la masa, porque si esto

sucede se estaría evitando la circulación del oxígeno, se sabe que todo esto se desarrolla en condiciones aeróbicas (Bueno, Díaz y Cabrera, 2015).

5.4. Humedad

Este parámetro que está íntimamente vinculado a los microorganismos, puesto que el agua es su medio de transporte, los elementos energéticos y los nutrientes a través de la membrana celular. Se considera a la humedad como inmejorable cuando está aproximadamente alrededor del 55% esto varía de acuerdo al tamaño de partículas y el estado físico y tamaño de partículas. Cuando encontramos a este factor por debajo del 45% se acorta la actividad microbiana lo que contribuye a un producto biológicamente inestable. Por otro lado, si la humedad es >60% los poros se saturarán y la oxigenación se verá afectada (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

Se determinó la importancia de este parámetro gracias a Shulze, quien en 1962 indicó que la variación de la cantidad de oxígeno que se consume en la masa inicial durante el proceso, en un sistema cerrado a temperatura constante, se da según la humedad y la variación de esta provoca grandes cambios de temperatura.

Si se tiene una abundancia de humedad esta puede ser minimizada gracias al incremento de la aireación (Haug, 1993). En consecuencia, es importante tener un control apropiado de humedad y aireación, porque debe ser un proceso equilibrado entre los poros de las partículas de tamaño variable las cuales pueden ser llenadas de aire o de agua. En conclusión, la humedad óptima para la paja fluctúa entre 75 y 85%, en el caso de astillas de madera entre 75 y 90% y finalmente entre 50 y 55% los residuos sólidos urbano (Haug, 1993).

5.5. Relación Carbono-Nitrógeno

La relación Carbono/ Nitrógeno varía según el material inicial usado y se da según la relación numérica que se cuándo se divide el contenido de Carbono total entre el de Nitrógeno total de los materiales utilizados durante el proceso (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

Este factor influye directamente en la pérdida de amonio y la velocidad del proceso; entonces si es esta relación es mayor a 40 nos indica que la actividad biológica

merma y al existir exceso de carbono los microorganismos se oxidan lo que produce una ralentización del proceso, puesto que existe poca disponibilidad de N para realizar síntesis proteica de los microorganismos. Puede existir un exceso de anhídrido carbónico, es decir, carbono para que esta sea eliminada es básico conocer que especies de microorganismos aparecen. Cuando estos microorganismos mueren el nitrógeno que almacenan en su biomasa es reusado; en consecuencia disminuye la relación. Por otro lado, solo se verá afectada una pequeña parte de la masa total cuando la materia orgánica sea escasamente biodegradable, la relación C/N disponible sea mínima para los microorganismos y el residuo tenga una alta relación de este factor. También cuando se tenga una muy baja relación el compostaje será rápido, pero existirá un exceso de N el cual se irá en forma de amoníaco y producirá que la relación C/N del proceso se autorregule (Bueno, Díaz y Cabrera, 2015).

5.6. Materia Orgánica

En este factor, cualquier tipo de material orgánico de plantas y animales puede ser utilizado. Es importante mezclar materiales viejos y resistentes, que son difíciles de descomponer como residuos de cosecha, ramitas pequeñas, con los materiales jóvenes y cursis, que son fácilmente descomponible frutas, pieles vegetales, hojas jóvenes (Madeleine Inckel, 2002)

Es sustancial conocer la medida de materia orgánica presente en el compost, puesto que es el factor más importante para definir su calidad agronómica (Kiehl, 1985). El proceso del compostaje involucra una gran pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico, debido a la mineralización, esta pérdida se representa en un 20% del peso de la masa a compostar (Zucconi, 1987). La pérdida del material orgánico se produce en dos etapas fundamentalmente: primero las cadenas carbonadas largas se ven modificadas por la disminución de carbohidratos las cuales la transforman en otras más cortas con compuestos simples; suelen formar compuestos húmicos a partir de la agrupación de moléculas complejas. Segundo cuando los compuestos frágiles son consumidos los materiales más fuertes (Tomati, Majedon y Galli, 2000); usualmente esta transformación no termina dentro del tiempo del compostaje.

Los microorganismos utilizan otros compuestos provenientes de materia orgánica con la finalidad de generar tejidos y los restantes son metabolizados convirtiendo el anhídrido carbónico y el agua. Estos materiales tienen características diferentes a las originales (Haug, 1993). Por lo tanto se necesita de la naturaleza física y química la velocidad de transformación de los microorganismos (Michel, Pecchia y Rigot, 2004).

5.7. Nutrientes

Los compuestos simples pueden ser tomados por los microorganismos, debido a que las más complejas deben romperse en sencillas para ser utilizadas (Castaldi, Alberti, Merella y Melis 2005).

La composición del sustrato se da por la agrupación de Carbono, Nitrógeno y Fosforo, también son conocidos como macronutrientes fundamentales. Siendo el carbono esencial para la realización de síntesis celular; produce energía y anhídrido carbónico durante el metabolismo mediante la oxidación; la presencia de este elemento constituye la mitad del total de las células de los microorganismos, mientras que la cuarta parte proviene del anhídrido carbónico. En consecuencia, el nitrógeno debido a su naturaleza proteica es primordial para la reproducción celular; varios estudios han concluido que el contenido de N está fuertemente relacionado con la calidad del compost. Finalmente, el fósforo es primordial en la creación de compuestos celulares abundantes en energía, esto es importante para el transformación microbiana (Bueno, Díaz y Cabrera, 2015).

6. Proceso de compostaje

6.1 Proceso calentamiento o Fase Mesófila

En esta primera fase del compostaje, observamos que la pila empieza a calentarse considerablemente, figura 1. A este efecto se conoce como fermentación el cual es el resultante de la compleja ruptura del material fibroso de la materia orgánica. Este proceso de fermentación o descomposición es más fuerte en el centro del montón (Madeleine Inckel, 2002).

Para comenzar el proceso de compostaje el material inicia a temperatura ambiente hasta que en el transcurso de días o hasta horas la temperatura llegue a los 45°C. Este fenómeno se da gracias a la actividad microbiana, puesto que durante este proceso se usa fuentes simples de C y N las cuales proporcionan calor. Al momento de descomponer compuestos solubles el pH baja hasta un 4.0 o incluso 4.5; estos compuestos son los azúcares que producen ácidos orgánicos, todo el procedimiento dura entre dos y ocho días (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

Existen una serie de factores para obtener de manera más eficaz la fermentación. Primero, debemos cerciorarnos que existan una gran gama de materiales orgánicos en el montón del estiércol vegetal. Segundo, controlar la presencia de los microorganismos adecuados. Tercero, es muy importante que haya suficiente oxígeno y agua. Tras cumplir estos tres factores la temperatura aumentará como es debido (Madeleine Inckel, 2002).

6.2 Proceso de Enfriamiento

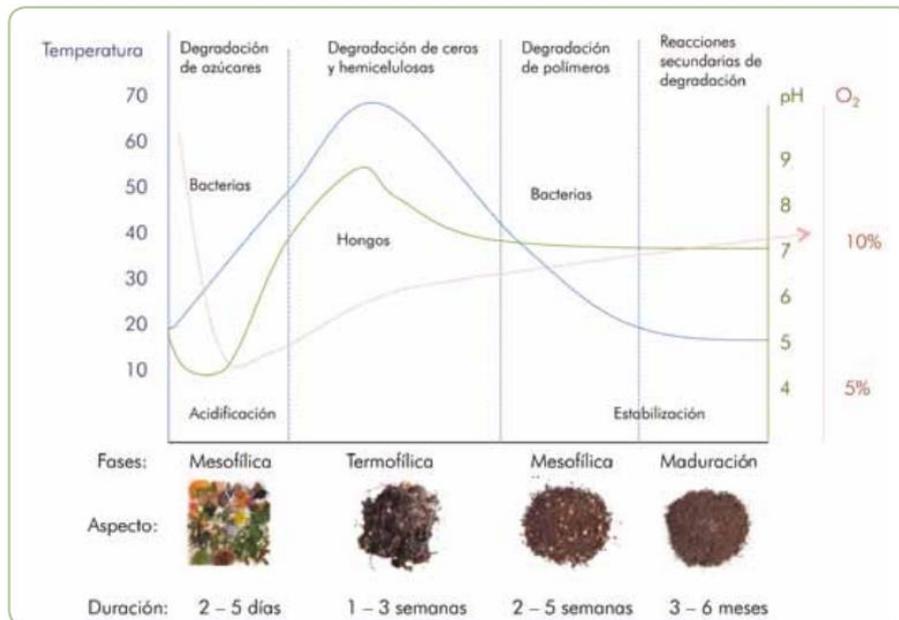
Después del proceso de fermentación la materia entra paulatinamente al proceso de enfriamiento. El proceso de descomposición no produce muchos cambios de calor y temperatura. En esta fase se encuentran nuevos microorganismos los cuales convierten en humus a componentes orgánicos. En el interior la pila se mantiene caliente y húmeda, mientras que la temperatura El montón permanece húmeda y caliente en el interior y la temperatura cae de 50°C a 30°C, el proceso puede acelerarse o parar dependiendo del control de la temperatura, aire y el suministro de agua. El tipo de pila, el material y la importancia que se le da influyen en el tiempo de enfriamiento. En algunos casos puede tardar meses o incluso un año bajo condiciones desfavorables (Madeleine Inckel, 2002).

Cuando todas las fuentes de carbono se acaban, la temperatura baja hasta 40-45°C. Aquí continúa la degradación de celulosa, y logramos observar a simple viste algunos hongos. Al tener esta temperatura (40°C) los organismos comienzan su actividad otra vez, otro punto a considerar es el pH que se mantiene ligeramente alcalino, aunque en algunos casos tiende a descender. El enfriamiento consta de varias semanas por lo que en muchos casos es fácil confundirla con la fase de maduración (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

6.3 Proceso de Maduración

Siguiendo todas las recomendaciones puede demorar meses a temperatura ambiente, mientras se va formando ácidos húmicos y fúlvicos gracias a reacciones secundarias de condensación y polimerización (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

Figura 1. Parámetros en el proceso de compostaje (pH, Temperatura y Oxígeno)



Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013)

CONCLUSIONES

Es posible la reutilización de subproductos de plantas de tratamiento de aguas residuales tales como los lodos activados mediante la técnica del Bokashi puesto que es una alternativa factible económica y ambientalmente, durante este proceso donde la materia orgánica se degrada y el producto final es estable. Cuando el fango pasa por el adecuado proceso de compostaje puede ser empleado como acondicionador de suelos en usos agrícolas y hortícolas.

Mejorando de esta manera este subproducto se estaría dando un valor agregado a lo que muchas empresas consideran residuo ahorrando significativamente en el proceso de disposición final del residuo. También es importante considerar el Protocolo de

Monitoreo de biosólidos para asegurar que el abono como producto final cumpla con el reglamento adecuado y pueda ser utilizado en diferentes actividades.

Es importante conocer todos los factores que involucran al proceso del compostaje, puesto que si alguna falla la calidad no será la adecuada y el procedimiento no contará con las fases completas. El factor más importante a tomar en cuenta es la temperatura, la cual será crucial para activar a microorganismos benéficos y empezar la descomposición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., y Ortuño, J (2012). *Tratamiento por coagulación-floculación de un efluente de matadero. Aumento de la velocidad de sedimentación mediante la adición de coadyudantes inorgánicos*. Murcia: EDITUM.

Bueno, P., Díaz, J. y Cabrera, F (2015). *Factores que afectan al proceso de Compostaje*. Sevilla: Universidad de Huelva.

Caro, R (2012). Estudio de la aplicación de Biorreactores de Membrana (MBR) en la depuración de las aguas residuales (tesis de posgrado). Universidad de Cádiz, Andalucía, España.

Castro, U (2003). Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 45-63.

Castaldi P., Alberti G., Merella R., Melis P (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Manag*, 209-213.

Cicek, N., Winnen, H., Suidad, M., Wrenn, B., Urbain, V y Manem, J (1998). Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular weight compounds, *Wat Res*, 189-196.

Condorchem envitech (8 de mayo de 2017). Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de Tratamiento de las aguas residuales en la industria cárnica: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-carnica/>

DECRETO SUPREMO Nº 015-2017-VIVIENDA, Diario El Peruano, Lima, Perú, 22 de junio de 2017.

DLC S.A. (2016). *Deshidratación de lodos centrífugas/decanter*. Sanriago: DLC.

- EM Producción y Tecnología S,A (EMPROTEC) (2012). *Guía de la Tecnología de EM*. San Juan de Tibás, Costa Rica: EMPROTEC.
- Ekinci, K., Keener, H., Elwell, D (2004). Effects of aerations strategies on the composting process: Part I. Experimental studies. *ASAE*, 97-108.
- Emison (2009). *Compostaje Industrial*. Recuperado el 14 de noviembre de 2018, de Pilas de Compostaje: <http://www.emison.com/5141.htm>
- Groppelli, E (2017). *Tratamiento de Efluentes Líquidos*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral.
- Haug, R (1993). *The practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Hoitink, Harry, A., Tseng, J., David, Y., Chalmers, J., Tuovinen, O (1995). Characterization of Bench-Scale System for Studying the Biodegradation of Organic Solid Wastes. *Progress*, 43-51.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2016). *Generación de agua residual en lima metropolitana*. Lima.
- Kiehl, F (1985). *Fertilizantes orgánicos*. Editora Agronomica Ceres, Sao Paulo.
- Macias, G. L. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?* Guadalajara, Mexico.
- Madeleine Inckel, P. d. (2002). The preparation and use of compost. *Agrodok*, 47-53.
- Metcalf y Eddy (1995). *Ingeniería de agua residuales tratamiento, vertimiento y reutilización*. Madrid: McCGraw-Hill.
- Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino (2014). *Manual de compostaje*. Madrid: V. A. Impresiones, S.A.
- Michel, F.C., Pecchia, J.A., Rigot, J (2004). Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Sci*, 323-334.
- Miyatake, F e Iwabuchi, K (2006). Effect of compost temperatura on oxygen uotake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorgannisms in diary cattle manure. *Biores. Technol*, 961- 965.
- Liang, C y McClendon, R (2003) The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Biores. Technol*, 131-137.

- Limón, J (2013) Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Academia de ingeniería México, Guadalajara, México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: FAO.
- Picado, J., y Añasco, A. (2005). *Preparación y uso de abonos orgánicos y líquidos*. San José: Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense.
- Pilar Román, M. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO.
- Pinto, F y Mayorga, D. (2015). *Comparación entre la técnica Bokashi y el equipo earth green sac 100 para la obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la Universidad de la Salle Sede Sandelaria* (tesis de pregrado). UNIVERSIDAD DE LA SALLE, Bogotá, Colombia.
- RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 093-2018-VIVIENDA, Diario el Peruano, Lima, Perú, 13 de marzo de 2018.
- RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 128-2017- VIVIENDA, Diario el Peruano, Lima, Perú, 5 de abril de 2017.
- Reynolds, K. (2012). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. *De la llave*.
- Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO.
- Shulze, K (1962). Continuous Thermophilic Composting. *Microbiol*, 108-122
- SINIA. (s.f.). Otros procesos relacionados con los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En SINIA, *Tratamiento y Reuso de AGUAS RESIDUALES* (pág. 22). Lima.
- Sundberg, C (2005). *Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and pH* (tesis de posgrado). The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia.
- Sundberg, C., Smars, S., Jonsson, H (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Technol*, 145 -150.
- Suler, D y Finstein, S (1977). Effect of Temperature, Aeration and Moisture on CO₂ Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Microbiol*. 33 (2): 345-350.
- Tomati, U., Madejon, E., Galli, E. (2000). Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost Sci*, 108-115.

Torres, P., Escobar, J., Pérez, A., Imery, R., Nates, P., Sánchez, G., Sánchez, M. y Bermúdez, A (2005) *Revista Ingeniería e Investigación*, 53-61.

Ugarte, H. O. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domesticas, por el proceso de lodos activados ¿ una alternativa para centroamérica? .* Panamá: Revista PANAIDIS.

Zucconi, F., De Bertoldi, M. (1987). Specifications for solid waste compost. *Biocycle*, 56-61.