



## MICROORGANISMOS EFICACES Y LOMBRIFILTRO PARA LA REMOCIÓN DE RESIDUOS LÁCTEOS DE LA PLANTA QUESERA “LA BODEGUILLA – VALLE DE MOQUEGUA”

### EFFECTIVE MICROORGANISMS AND THE EARTHWORM-FILTER FOR THE REMOVAL OF DAIRY RESIDUES OF THE CHEESE PLANT “THE BODEGUILLA – VALLEY OF MOQUEGUA”

Lenin Quille Quille<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Juliaca; Dirección: Av. Nueva Zelandia N° 631 Urb. La Capilla – Juliaca, Puno, Perú.  
[lenin.quille@gmail.com](mailto:lenin.quille@gmail.com)

#### RESUMEN

El alto poder contaminante del residuo lácteo de la industria quesera motivaron la investigación, teniendo como objetivo evaluar el efecto de aplicación de los microorganismos eficaces y el lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “La Bodeguilla – Valle de Moquegua” de la provincia Mariscal Nieto; se acondicionó un biofiltro de cuatro capas añadiendo las lombrices conociéndose como “lombrifiltro”; las variables experimentales fueron los métodos de aplicación durante cuatro semanas, tales como (Aplicación de microorganismos eficaces, aplicación del lombrifiltro y la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro), fueron evaluados respecto al parámetro indicador de Demanda Química de Oxígeno (DQO), donde el residuo lácteo obtuvo 55530mg/L de DQO y los efluentes de los métodos aplicados midieron lo siguiente; microorganismos eficaces (DQO = 25200mg/L), del lombrifiltro (DQO = 12000mg/L) y de la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro (DQO = 13600 mg/L), siendo los efluentes con mayor porcentaje de remoción de DQO, los métodos de aplicación del lombrifiltro (78.39%) y la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro (75.51%), seguido por la aplicación de microorganismos eficaces (54.62%), estadísticamente hay diferencias significativas entre los métodos de aplicación a un nivel de significancia del 5% y las características fisicoquímicas (SST, SS, DQO, DBO<sub>5</sub>, pH, A y G) de los efluentes son influidas por la aplicación de los microorganismos eficaces y el lombrifiltro logrando estar dentro de los límites máximos permisibles, a excepción de la DQO y la DBO<sub>5</sub> para ser vertidos, así mismo las características microbiológicas (Coliformes totales y termotolerantes) de los efluentes son influidas significativamente por dichos métodos, obteniendo resultados negativos por la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro.

**Palabras clave:** Biofiltro, efluentes, lombrices, lombrifiltro, microorganismos eficaces, residuo lácteo.

#### ABSTRACT

The high polluting power of the dairy waste of the cheese industry motivated the investigation, aiming to evaluate the effect of application of the effective microorganisms and the earthworm-filter for the removal of dairy residues of the cheese plant "The Bodeguilla - Valley of Moquegua" province of Mariscal Nieto; a four-layer biofilter was prepared by adding the earthworms known as "earthworm-filter"; the experimental variables were the methods of application during four weeks, such as (Application of effective microorganisms, application of the earthworm-filter and the combined application of effective microorganisms with the earthworm-filter), were evaluated with respect to the parameter Indicator of Chemical Oxygen Demand (COD), where the dairy residue obtained 55530mg / L of COD and the effluents of the applied methods measured the following; effective microorganisms (COD = 25200mg / L), earthworm-filter (COD = 12000mg / L) and the combined application of effective microorganisms with the earthworm-filter (COD = 13600 mg / L), the effluents having the highest percentage of COD removal, the methods of application of the earthworm-filter (78.39%) and the combined application of effective microorganisms with the earthworm-filter (75.51%), followed by the application of effective microorganisms (54.62%), statistically there are significant differences between the methods of application at a level of significance of 5% and the physicochemical characteristics (SST, SS, COD, BOD<sub>5</sub>, pH, A and G) of the effluents are influenced by the application of the effective microorganisms and the earthworm-filter, reaching within the maximum permissible limits, with the exception of the COD and the BOD<sub>5</sub> to be discharged, likewise the microbiological characteristics (total and thermotolerant coliforms) of the effluents are significantly influenced by these methods, obtaining negative results by the combined application of effective microorganisms with the earthworm-filter.

**Key words:** Biofilter, dairy residue, effluents, earthworms, earthworm-filter, effective microorganisms.

\*Autor para correspondencia: [lenin.quille@gmail.com](mailto:lenin.quille@gmail.com)





## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales industriales provenientes de los procesos industriales, la cantidad y composición de ella es bastante variable, dependiendo de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc). Así estas aguas pueden variar desde el alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (industria de celulosa, industrias químicas, minería, metalúrgicas y textiles) (Salazar, 2005) y las aguas residuales industriales también son provenientes de las descargas de cualquier actividad comercial e industrial que no sean aguas residuales domésticas (Vicente, 2016).

El lactosuero, es la fase acuosa de la cuajada en el proceso de elaboración del queso y en la fabricación de la caseína, representa el 80 – 90% del volumen total de la leche que entra en el proceso y contiene alrededor del 50% de los nutrientes de la leche original (Alfa y Laval, 1990) y corresponde al efluente que más contaminación provoca en las queserías si no se tiene un aprovechamiento posterior, ya que contiene gran cantidad de lactosa y proteínas y es aconsejable que no sean vertidos de forma directa al cauce o a la depuradora, pues provocarían el incremento de la DBO y la DQO (Prieto *et al.*, 2012), también es considerado como un subproducto molesto de difícil aprovechamiento debido a su capacidad contaminante, con una demanda biológica de oxígeno (DBO) de 30000 a 60000mg/L, se han realizado esfuerzos para su aprovechamiento tanto en el ámbito tecnológico como a políticas gubernamentales que presionen a los industriales a hacer uso de este subproducto evitando el vertido al seno de recursos acuíferos donde resulta altamente perjudicial (Ronda, 2000); el volumen de lactosuero generado en la elaboración de queso es aproximadamente nueve veces la cantidad de leche tratada, con una carga orgánica muy elevada (DQO de 60,000.00mg/O<sub>2</sub>/L) y su vertido aumenta considerablemente la carga contaminante del vertido final (Santamaría *et al.*, 2015) y cada 1000 litros de lactosuero generan la demanda biológica de oxígeno (DBO) equivalente a 35000mg/L y la demanda química de oxígeno (DQO) equivalente a 68000mg/L. Esta fuerza contaminante es equivalente a las aguas negras producidas en un día por 450 personas (Padin y Díaz, 2005) y la regulación sobre la disposición de los residuos generados en la industria alimenticia que afectan el medio ambiente por la descomposición natural y no controlada de la materia orgánica está siendo cada vez más exigente (Buendía, 2009) por lo que se requiere su aprovechamiento.

Se estima que la descarga a un curso de agua de 2.5 litros de suero por día tiene un poder contaminante equivalente al agua residual producida por un individuo, esto implica que la manufactura de 1kg de queso ocasiona una contaminación semejante a la generada por aproximadamente cuatro personas y crea ciertas limitaciones en las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que aparecen problemas al encauzarlo en zanjas y lagunas construidas para tal fin, pues el ácido láctico impermeabiliza el suelo, lo que impide la filtración, formándose así, espejos de agua putrefactos que inciden negativamente en la conservación del ambiente (Petrenko, 2005) y los principales procesos contaminantes son la producción de quesos, cremas y mantequilla, el proceso de lavado de torres de secado y las soluciones de limpieza alcalina, además se estima que el suero tiene una DBO<sub>5</sub> del orden de 40,000.00 – 50,000.00 mg/l (Santamaria *et al.*, 2015) y en el estudio denominado caracterización y tratamiento de efluentes líquidos en la industria láctea, se tiene que los efluentes líquidos de la industria láctea tiene alto contenido de materia orgánica de 1000 a 6000mgDBO/l y la relación de DBO y DQO para la leche es equivalente a  $DBO \approx 0.52 DQO$  (Rodríguez, 2010); las aguas residuales lácteas proceden de la recepción de la leche, estandarización, tratamiento térmico, producción de queso, producción de mantequilla, transporte de productos lácteos líquidos y otros, así mismo el uso de





ácido y sosa provoca que los vertidos tengan valores de pH muy extremos, que pueden oscilar desde 5 hasta 10.5, en ocasiones también se emplean detergentes y desinfectantes por lo que la composición general de los efluentes acuosos varía notablemente en función de los productos que fabrique cada empresa láctea y de sus características de diseño, (Prieto *et al.*, 2012). El uso de sustancias limpiadoras y desinfectantes en la industria lechera genera un aporte de nitrógeno a las aguas residuales del 50 al 130% (Wiblbrett, 2000); los productos limpiadores y desinfectantes en la actualidad son pobres o exentos en fósforo; esto para disminuir el efecto eutrófico en las aguas, por lo tanto el contenido de fosfatos en las aguas residuales de la industria de los alimentos ha disminuido, especialmente en la industria lechera. (Alfa y Laval, 1990). La especie más utilizada para la degradación de la materia orgánica es la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) mide entre 6 y 10 cm de largo y de 3 a 5 milímetros de diámetro y pesa de 0.24 hasta 1.4 gramos, no soporta la luz solar directa, se aparea cada siete días y deposita una cápsula con 2 a 20 nuevas lombrices que emergen después de dos a tres semanas, estos nuevos individuos maduran sexualmente a los dos o tres meses y avanzan excavando el terreno que habitan a medida que comen, así reciclan a través de su tracto intestinal la materia orgánica que es degradada hasta su último estado de descomposición por efecto de los microorganismos y recibe el nombre de humus (Carmona, 2010), e indica que la humedad de los sustratos debe estar entre 75 y 80 %, esto se consigue regando los canteros cada 3 días con 3 galones de agua por metro cuadrado, el riego se puede efectuar con regadera, con mangueras mediante sistema de micro aspersión y para lograr medir el contenido de humedad entre 75 y 80% se puede tomar una muestra de sustrato que alcance en el puño de la mano, que al apretarlo, se desprendan entre 7-8 gotas de agua y respecto a la densidad poblacional de lombrices, no puede superar más de 5kg/m<sup>2</sup> porque la reproducción se realiza en forma lenta debido a la competencia que se genera por comida y espacio, además las lombrices obtienen su nutrición debido al proceso de digestión, donde también actúan los microorganismos mesófilos que están presentes a temperaturas inferiores a 35°C , por ello la alimentación de las lombrices se realiza en capas delgadas, preferiblemente inferiores a 40 cm, de tal forma que se evite un incremento de la temperatura (Rivera, 2017).

De la adaptación del sistema tradicional de lombricultura, resulta el lombrifiltro y está compuesto por 3 capas y lombrices del tipo *Eisenia foetida*, que consta de una base filtrante de bolones, sobre la cual se agrega una capa de ripio o grava y la parte superior se cubre con aserrín o viruta de madera de ulmo o tepa sobre el cual se mantiene un alto número de lombrices (Salazar, 2005) así mismo indica que la materia orgánica que queda retenida en el medio filtrante es removida por una población de microorganismos y las lombrices adheridas al medio, los que se encargan de degradar la materia orgánica que utilizan como fuente de alimento, energía para sus procesos metabólicos y una fracción que pasa a formar parte de su masa corporal, las lombrices luego de digerir la materia orgánica producen a través de sus deyecciones el denominado humus de lombriz, que cada cierto tiempo puede extraerse y ser utilizado como abono orgánico para el suelo; el lombrifiltro es un método de tratamiento de las aguas residuales desarrollado por el profesor José Tohá Castilla, y su equipo de colaboradores en el Laboratorio de Biofísica de la Universidad de Chile, el objetivo de sus investigaciones fue lograr desarrollar diferentes líneas de investigación en sistemas de descontaminación ecológicos y de alta eficiencia (Carmona, 2010); El origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación con este fin, es así, que a partir de los trabajos realizados en EE.UU. a fines de la década de los 70, se manifestó la conveniencia de utilizar a las lombrices en el proceso de depuración y estabilización de las aguas residuales domésticas e industriales, de



esta manera, el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, recoge experiencias realizadas en la planta de Lufkin, Texas (1981) sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema a partir del año 1986, naciendo de esta manera el Sistema Tohá (Salazar, 2005); se estudió el comportamiento del lombrifiltro por medio de un análisis de laboratorio a los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, SSV, a la entrada y a la salida del sistema, de igual forma se verificó que la carga del afluente era bastante en comparación con la del efluente, obteniendo una eficiencia del 92.06% de remoción de carga orgánica en el sistema de lombrifiltro (Ramón, León y Castillo, 2015).

Algunos estudios respecto a las aplicaciones de las lombrices para el tratamiento de aguas residuales fueron tales como, la determinación de la eficiencia de la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) y la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales de la ciudad de Bagua, donde adaptaron las dos especies durante un periodo de siete días, luego inocularon al sistema de biofiltro conformado por dos estanques con capas inertes (bolones, grava, aserrín, tierra y compost) y organismos vivos (lombriz de tierra, roja californiana y microorganismos presentes en el sustrato) y un tanque de almacenamiento (aguas residuales) y para determinar la eficiencia de remoción de las especies, analizaron la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingresó a los tratamientos, resultando que la especie *Eisenia foetida* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, con un porcentaje promedio de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 73% mientras que *Lumbricus terrestris* obtuvo un promedio de remoción del 63%. (Acuña y Reyes, 2017).

El diseño del lombrifiltro se basa en la realización de un balance de masas que considera el número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que éstas son capaces de digerir y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno, que corresponde a 1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día (Salazar, 2005), además conocido el caudal de diseño (Q), y asumiendo una tasa de riego (T<sub>Riego</sub>) se puede determinar el área requerida (A) para el tratamiento donde:

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq 1m^3 / m^2 / día$$

Respecto a la aplicación de residuo lácteo a un lombrifiltro, se realizó una mezcla de aserrín-grasa láctea de desecho que fué estudiada con el objetivo de determinar si existe una degradación de la materia grasa para ser posteriormente incorporada a un lombrifiltro sin alterar el funcionamiento de éste y los resultados obtenidos indicaron que en cuatro semanas de almacenamiento existe una considerable degradación de la materia grasa presente en la mezcla, cercana al 75% lo cual hace posible su incorporación a un lombrifiltro (Carmona, 2010); la cantidad y composición del aserrín depende de la especie, la parte del árbol, la época del año, las condiciones de crecimiento y otros factores, todas las especies de madera y la mayoría de los vegetales contienen cantidades variables de algunas sustancias químicas diferentes a los carbohidratos y a la lignina que constituyen la pared celular, así mismo los extraíbles que se encuentran en los tejidos vegetales son sustancias tales como terpenos, fenoles, taninos, minerales, azúcares, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, ácidos alifáticos y aromáticos, esterinas, aceites esenciales, ácidos grasos y resinosos, resinas, grasas y otros (Jiménez, Gustavo y Padilla, 2012), las aguas residuales alimentadas en la superficie del biofiltro percolan a través del medio filtrante, donde son tratadas mediante cuatro



mecanismos naturales que actúan simultáneamente: 1) filtración lenta y pasiva; 2) absorción, adsorción e intercambio iónico; 3) biodegradación, y 4) desinfección (Garzón, Buelna y Moeller, 2012).

Los Microorganismos Eficaces (EM) están conformados por; levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias fotosintéticas, las cuales desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos de la ingeniería y las principales aplicaciones a nivel industrial se han concentrado en el aprovechamiento de suelos, residuos agropecuarios y tratamientos de aguas (Sánchez *et al.*, 2009); algunas bacterias que integran la mezcla de microorganismos benéficos o eficaces, como *Lactobacillus spp.*, producen ácido láctico, que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa (Herrera y Javid, 2013) así mismo indica que los microorganismos eficaces es una tecnología desarrollada en la década de los ochenta en Okinagua, Japón como resultado de algunas investigaciones sobre la eficacia de microorganismos que actuaban de forma individual en procesos de degradación y transformación de componentes, por lo tanto la aplicación de esta tecnología actualmente está beneficiando a los agricultores, la sanidad de los animales, los profesionales del manejo ambiental y a toda la comunidad interesada en aprovechar los recursos naturales de forma sostenible y sin contaminar el medio ambiente (Arias, 2010).

Las aplicaciones de los microorganismos eficaces EM, son muy diversas tales como se aplicó en el tratamiento de efluentes de matadero, donde se logró remover los contaminantes de la DBO<sub>5</sub>, DQO, Nt y Pt en 41.40%, 20.57%, 19.94% y 47.5% respectivamente a los siete días con la muestra testigo, G y A en 8.33% a los catorce días con 5% de EM activado aplicados a 10L de efluentes (Pari, 2010), también se realizó estudios en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Yanaoca, provincia Canas en la Región Cusco, en los meses de enero a junio, donde determinaron los valores fisicoquímicos del efluente antes y después de la inoculación con microorganismos eficaces al mes de la inoculación se consiguió una disminución de los olores fétidos y desagradables de muy fuerte a uno moderado y hasta débil, de igual forma redujeron la DBO<sub>5</sub> y la DQO en un 39% y 13% respectivamente, así mismo el efecto de los microorganismos eficaces sobre la carga bacteriana de coliformes totales y fecales fue de una reducción de 98.6% y 99.8% respectivamente (Pacori, 2014), también se evaluó el efecto de los microorganismos eficaces sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales domésticas, antes y después de la inoculación en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio distrital de José Domingo Choquehuanca, provincia de Azángaro y departamento de Puno, el tratamiento de aguas residuales durante un mes indican la disminución del olor de muy fuerte a moderado, en cuanto a Coliformes totales y termotolerantes la remoción de 90.4% y 99.9% respectivamente (Goyzueta, 2012); se realizaron estudios, sobre uso de efluente de planta de biogás y microorganismos eficientes como biofertilizantes en plantas de cebolla (*Allium cepa* L.) la aplicación foliar en forma de mezcla tuvieron efecto positivo sobre el cultivo comparado con la fertilización química, dado al aporte de nutrientes y microbiota benéfica que mejora las condiciones del suelo y estimula el crecimiento y desarrollo de la planta (Lopez *et al.*, 2017); al evaluar la utilidad de los microorganismos eficaces (EM), en los parámetros productivos, económicos y manejo ambiental de los pollos de engorde, los EM mejoraron los parámetros productivos de las aves macho como ganancia de peso, índice de conversión, mortalidad y lograron reducir la carga de coliformes totales presentes en el ambiente, finalmente respecto a la relación beneficio – costo, el tratamiento con EM generó menor costo de producción y una mayor utilidad neta con 8.3% mayor que en el lote control sin EM (Hoyos *et al.*, 2008), así mismo se evaluó la efectividad de los microorganismos eficaces para





coliformes totales y coliformes fecales en dos zonas de estudio, a los 15 días con la solución porcentual de 7.5ml/litro, en la zona A la efectividad fue de 75.3% y en la zona B fue de 85.75% para los coliformes totales, mientras que para los coliformes fecales a los 15 días con la solución porcentual de 7.5ml/litro, la efectividad en la zona A fue de 82.6% y en la zona B, se logró el 99.5% (Palao, 2011) y también aplicaron Microorganismos Eficaces para reducir DBO, DQO y ST en las aguas residuales de la empresa Grupo Pecuario S.A.C., los resultados a las 4 semanas de aplicado el tratamiento con una concentración de 18 ml de EM, mostraron una remoción de 65% de DBO, 63% de DQO y 92% de ST (Rios, 2016).

Para el aprovechamiento del suero lácteo mediante microorganismos eficaces, la fase líquida fue analizada respecto a la demanda química de oxígeno, ya es uno de los parámetros a nivel ambiental más controlados, en especial en la industria láctea donde los valores de DQO oscilan entre 50.000 y 80.000 mg/L (Sánchez *et al.*, 2009) e indica que después de la aplicación de los microorganismos eficientes a una temperatura de 94°C por 10 minutos determinó el valor de DQO, mostrando una remoción de 98% aproximadamente, además manifiesta que estos resultados se relacionan directamente con la ausencia de olores desagradables en el suero y en el estudio de “Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos (MB), se concluyó que mejora la capacidad de depuración y reducción de los factores indicadores de la contaminación como la DBO5, DQO, ST y SST, donde la aplicación de MB al 2 y 4% a las aguas residuales de la industria láctea por un periodo de 9 semanas, generó una curva de adaptación en la reducción de DBO5, DQO, ST y SST, produciendo remociones cercanas al 71,65 % para la DQO, 68,58 % para la DBO5, 70,45 % para los sólidos totales y 78,77% para los sólidos suspendidos (Herrera y Javid, 2013); Las aguas residuales de las industrias lácteas son generalmente neutras o poco alcalinas, pero tienen tendencia a volverse ácidas muy rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche produciendo ácido láctico en ausencia de oxígeno y la formación simultánea de ácido butírico, descendiendo el pH a 4.5 – 5.0 ; la composición de estas aguas incluye sustancias orgánicas disueltas como la lactosa, sales minerales y suspensiones coloidales de proteínas (caseína, albúminas, y globulinas) con una DQO entre 2000 – 4000 mg/L y una DBO entre 2000 – 3000 mg/L (Rico y García, 1991).

Por lo expuesto, los objetivos de investigación fueron: Comparar la carga contaminante respecto al parámetro indicador de DQO, antes y después de la aplicación de microorganismos eficaces y el lombrifiltro al residuo lácteo y realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del efluente con mayor porcentaje de remoción respecto al parámetro DQO.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada con el residuo lácteo proveniente de la planta quesera “La Bodeguilla”, situado en el valle de Moquegua – Provincia Mariscal Nieto, distrito de Moquegua y la parte experimental se desarrolló en las instalaciones de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua, así mismo el análisis fisicoquímico y microbiológico se realizaron en los laboratorios de Química y microbiología de la Universidad Nacional del Altiplano.

La metodología para la activación de los microorganismos eficaces se aplicó en función a las indicaciones del producto adquirido de uno de los distribuidores de (Bioem – EM –AGUA, primero se mezcló los insumos en las proporciones siguientes; 0.5L de melaza (5%), 9L de agua





sin cloro (90%) y 0.5L de (EM – Agua) equivalente a (5%), la mezcla de los insumos equivalente a 10L previa agitación se envasó en un bidón limpio y cerrado herméticamente se dejó en reposo por 7 días a temperatura ambiente (24°C) bajo sombra, extrayendo el aire a partir del tercer día y para verificar la correcta activación del (EM -Agua) se midió el valor de pH, determinando valores menores a 3.8, finalmente para la aplicación de (EM - Agua) activado, se utilizó 0.01L por cada 10L de residuo lácteo. El módulo de lombrifiltro fue confeccionado a base de vidrio, de 8mm de espesor, cuyas medidas fueron (ancho = 30cm; largo = 48cm y altura = 80cm) y una pendiente respecto al altura total del lombrifiltro equivalente a 10cm. Y el área total del módulo fue calculado según la referencia de (Salazar, 2005) obteniendo una tasa de riego menor a 1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día y cuya estructura está conformada por cuatro capas tales como; Primera Capa: Arena gruesa de 20cm de profundidad; Segunda Capa: Arena fina de 25cm de profundidad; Tercera Capa: Capa de soporte – aserrín de 25 cm de profundidad, finalmente la Cuarta Capa: Restos de materia orgánica y lombrices de 5cm de profundidad y dejando un espacio libre en la parte superior de 5cm de altura.

Se recolectó el residuo lácteo de la planta quesera “La Bodeguilla – Valle de Moquegua” un total de 250 litros de las cuales se tomaron muestras de 0.5 litros de residuo lácteo para la caracterización fisicoquímica y microbiológica a si mismo se tomaron muestras de 0.4 litros de los efluentes de la aplicación de microorganismos eficaces (EM - Agua) y lombrifiltro para la determinación del parámetro indicador (DQO) y seleccionar los efluentes con mayor porcentaje de remoción respecto al parámetro (DQO), con fines de caracterizar respecto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; dichas muestras fueron refrigeradas y trasladadas al laboratorio para su análisis respectivo. Para la aplicación de Microorganismos Eficaces (EM) al residuo lácteo (método 1), se utilizó recipientes de 20 y 50 litros de capacidad y se trabajó con 130 litros de residuo lácteo a temperatura ambiente y se utilizó el producto (EM – Agua) en la cantidad de 130 ml, siendo la dosis de aplicación de 0.1% recomendada por el personal técnico de Bioem y (Banco Interamericano de desarrollo - Convenio Fondo Especial de Japon/BID ATN/JO - 10792 UR, 2009), donde 1L de EM activado es para 1000L de agua a tratar y el tiempo de aplicación de EM, fue de 40 días y a partir de esta fecha se realizó el análisis de DQO durante 4 semanas tomando muestras de 0.4 litros una vez por semana y para la aplicación del lombrifiltro (método 2), se trabajó con 120 litros de residuo lácteo aplicando el riego en la proporción de 5.7L/día de residuo lácteo, al día siguiente se colocó las lombrices en estado adulto la cantidad de 250 unidades y el tiempo de aplicación fue de un minuto aproximadamente por litro de residuo lácteo, a partir de esta fecha se realizó el análisis de DQO una vez por semana hasta completar las cuatro semanas.

Para la aplicación combinada de Microorganismos Eficaces con el lombrifiltro (método 3), se utilizó el mismo lombrifiltro del método 2 y se trabajó con 120 litros de residuo lácteo tratado con microorganismos eficaces (método 1), aplicando el riego del lombrifiltro en la proporción de 5.7L/día y el tiempo de aplicación de lombrifiltro fue de 1 minuto aproximadamente por litro de residuo lácteo tratado con EM, a partir de esta fecha se realizó el análisis de DQO una vez por semana hasta completar las cuatro semanas. Para el análisis estadístico, se eligió el Diseño en Bloques Completamente al Azar, y la prueba de Tukey, a un nivel de significancia del 5% ; la caracterización fisicoquímica del residuo lácteo y de los efluentes se realizaron según los métodos estándares para el examen de aguas y aguas residuales, 1998 y para la caracterización microbiológica, se realizó el método de determinación de bacterias por el número más probable (NMP), expresado en (NMP/100ml), finalmente los parámetros fisicoquímicos y





microbiológicos, fueron comparados con los límites máximos permisibles según (D.S. 003– 2010 – MINAM y la Resolución N°0631 – MINAMBIENTE – 2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Comparación de la demanda química de oxígeno antes y después de la aplicación de microorganismos eficaces y el lombrifiltro al residuo lácteo*

Se presenta los valores de la demanda química de oxígeno (DQO), antes y después de la aplicación de los tratamientos al residuo lácteo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Valores de la demanda química de oxígeno (DQO), antes y después de la aplicación de microorganismos eficaces y lombrifiltro.

Parámetro	RL	TRATAMIENTOS			LM P*	LMP **
		T1	T2	T3		
Demanda química de oxígeno DQO (mg/L)	55 530	25 200	12 000	13 600	450	200
% Remoción		54.62 %	78.39%	75.51%		

Fuente: Laboratorio de control de Calidad FIQ – UNAP (2016)

Los porcentaje de remoción de los tres tratamientos aplicados al residuo lácteo, comparados con (Herrera y Javid, 2013) son similares ya que logró reducir al 71.65% para DQO en 9 semanas con la aplicación de microorganismos benéficos al agua residual de la industria láctea e inferior al 98% de reducción de DQO, logrado por (Sánchez *et al.*, 2009) esto se debe a que aplicó los microorganismos eficaces a una temperatura de 94°C por 10 minutos y (Herrera y Javid, 2013) manifiesta que los microorganismos eficaces mejora la capacidad de depuración y reducción de los indicadores de la contaminación tales como la DQO, sin embargo respecto a la aplicación del lombrifiltro el porcentaje de remoción se debe a que las capas del biofiltro absorben y digieren la materia orgánica reduciendo la carga contaminante (Carmona, 2010) y son tratadas mediante cuatro mecanismos naturales que actúan simultáneamente tales como; filtración, absorción e intercambio iónico, biodegradación y desinfección (Garzón, Buelna y Moeller, 2012); según los límites máximos permisibles(LMP), la demanda química de oxígeno(DQO), aun es inestable y no cumple con los límites máximos permisibles ya que los valores de los efluentes superan los 450 y 200mg/L de DQO establecidos por las normas correspondientes y de acuerdo al análisis de varianza, los métodos de aplicación influyen significativamente en la reducción de la demanda química de oxígeno y existe diferencias significativas entre tratamientos respecto a la carga contaminante a un nivel de confianza del 95%, así mismo según la prueba de comparación de tukey a un nivel de significancia del 5%, la aplicación de microorganismos eficaces es significativamente diferente respecto a la aplicación del lombrifiltro y la aplicación combinada de EM y lombrifiltro, donde esto dos métodos lograron reducir en mayor porcentaje la demanda química de oxígeno (78.39% y 75.51% respectivamente) a comparación de sólo aplicar los microorganismos eficaces que logró reducir el 54.62%.

### *Caracterización fisicoquímica del efluente con mayor porcentaje de remoción respecto al parámetro DQO*





Se presenta los valores de las características fisicoquímicas de efluentes de los tratamientos que lograron mayores porcentajes de remoción respecto al parámetro de la demanda química de oxígeno (DQO) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características Fisicoquímicas de los efluentes.

Parámetros fisicoquímicos	RL	T2	T3	LMP*	LMP**
Parámetros Físicos					
Sólidos suspendidos totales(mg/L)	2950	50	139	150	150
Sólidos sedimentables(ml/L)	1.28	< 0.1	< 0.1	2.0	--
Temperatura (°C)	14	13.3	13.5	--	<35
Parámetros Químicos					
Demanda química de oxígeno (mg/L)	55530	12000	13600	450	200
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	28510	5829	6751	250	100
Aceites y grasas (mg/L)	7.32	1.64	8.7	20.0	20.0
pH	4.95	7.1	7.4	6.0 a 9.0	6.5 a 8.5

Fuente: Laboratorio de control de Calidad FIQ – UNAP (2016)

Al aplicar los tratamientos fueron reducidos los parámetros físicos, especialmente los sólidos suspendidos totales, donde hubo la reducción al 98.3% para la aplicación del lombrifiltro y 95.29% para la aplicación de combinada de microorganismos eficaces y lombrifiltro, dichos valores son mayores a lo reportado por (Herrera y Javid, 2013) donde logró reducir al 78.77% los sólidos suspendidos totales al utilizar los microorganismos benéficos para reducir la contaminación en agua residual industrial láctea, también hubo la reducción de los sólidos sedimentables por la aplicación de ambos tratamientos, esto podría ser debido a que el lombrifiltro sea un complemento para la aplicación de microorganismos eficaces ya que los residuos lácteos escurre por gravedad a través del lombrifiltro constituido por las capas (grava, arena fina, aserrín y la presencia de lombrices), las cuales absorbe y procesa la materia orgánica tal como indica (Carmona, 2010); finalmente se realizó el análisis comparativo con los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes, donde se puede detallar que respecto a los parámetros físicos se encuentra dentro los límites máximos permisible citados por (Resolución N°0631 – MINAMBIENTE – 2015) y el (Decreto supremo N°003 – 2010 – MINAM); lo cual indica que dichos efluentes es aceptable respecto a los parámetros de sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y temperatura para ser vertidos a los cuerpos de agua.

Y respecto a los parámetros químicos, se observa que hubo la reducción de DBO, DQO para ambos tratamientos a excepción de aceite y grasas para el tratamiento correspondiente a la aplicación combinada de microorganismos eficaces y lombrifiltro, mientras que el pH aumenta para ambos tratamientos; la reducción de DQO y DBO, se debe a que las aguas residuales alimentadas a un biofiltro, percolan a través del medio filtrante y son tratadas por los mecanismos naturales que actúan simultáneamente, tales como, filtración, absorción, biodegradación y desinfección (Garzón, Buelna y Moeller, 2012); las capas del lombrifiltro absorben y digieren la materia orgánica, así mismo el parámetro de aceites y grasas fueron reducidos con la aplicación del lombrifiltro, esto se debe según (Carmona, 2010) a que la mezcla de aserrín y grasa láctea contribuyen a la degradación de la grasa, sin embargo se puede observar que se incrementó ligeramente los valores de aceites y grasas respecto al valor inicial del residuo lácteo para el





tratamiento de la aplicación combinada de (microorganismos eficaces y lombrifiltro), esto podría ser debido a que haya arrastre de otros compuestos presentes en el aserrín ya que según (Jiménez, Gustavo y Padilla, 2012) en la pared celular del aserrín, se encuentra presente sustancias extraíbles tales como aceites esenciales, ácidos grasos, resinas y entre otros. Por lo que se puede indicar que los microorganismos eficaces pudo influir en la degradación acelerada del aserrín, ya que dichos microorganismos ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa según (Herrera y Javid, 2013); mientras que los valores de pH para ambos tratamientos incrementaron a pH neutro, esto sea posiblemente al intercambio iónico que ocurre en uno de los mecanismos naturales de tratamiento en los biofiltros (Garzón, Buelna y Moeller, 2012), ya que tiene las similares características al lombrifiltro.

Finalmente se realizó el análisis comparativo con los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes, donde se puede detallar que respecto a las características químicas solo los parámetros de pH, aceite y grasas se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, según (Resolución N°0631 – MINAMBIENTE – 2015 )y el (Decreto supremo N°003 – 2010 – MINAM), a excepción los parámetros de demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno ya que aún tiene valores muy altos de lo permitido, por lo que no es recomendable para ser vertidos a los cuerpos de agua.

#### *Caracterización microbiológica del efluente con mayor porcentaje de remoción respecto al parámetro DQO*

Se presentan los datos del análisis microbiológico del residuo lácteo y de efluentes de los tratamientos que tuvieron menores valores respecto al parámetro de la demanda química de oxígeno (DQO) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Características Microbiológicas de los efluentes

Parámetros microbiológicos	RL	T2	T3	LMP*	LMP**
Coliformes totales (35 – 37°C) NMP/100ml	23	2400	Negativo	.-	.-
Coliformes termotolerantes (44.5°C) NMP/100ml	Negativo	75	Negativo	.-	10000

Fuente: Laboratorio de Microbiología FMVZ – UNAP (2016)

Al aplicar el tratamiento del lombrifiltro al residuo lácteo incrementaron considerablemente la presencia de coliformes totales y termotolerantes, esto podría ser debido a que el lombrifiltro contiene macro y microorganismos según (Carmona, 2010) las cuales podrían estar presentes en el aserrín, arena y materia orgánica generada por los mismos, las cuales hicieron que tenga mayor cantidad de coliformes en el efluente de la aplicación de este tratamiento, mientras que respecto a los efluentes del tratamiento de la aplicación combinada de (microorganismos eficaces y lombrifiltro) la presencia de coliformes totales y termotolerantes es negativa, esto se debe a que los microorganismos eficaces reduce eficazmente la concentración de microorganismos patógenos y los malos olores (Bioem, EM - Agua), además algunas bacterias que integran la mezcla de microorganismos eficaces como el *Lactobacillus spp.*, producen ácido láctico que suprime microorganismos dañinos (Herrera y Javid, 2013).

Dichos resultados se puede contrastar también con los estudios realizados respecto a la aplicación de microorganismos eficaces en aguas residuales, donde redujeron los coliformes totales al 98.6% (Pacori, 2014) y al 90.4% (Goyzueta, 2012) respectivamente, así mismo (Palao, 2011) logro la





efectividad de los microorganismos eficaces para coliformes totales hasta 85.75% y para coliformes fecales hasta 99.5% todo ello aplicado a aguas residuales, por lo que se afirma que los microorganismos eficaces suprime a los microorganismos dañinos contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

Y los valores obtenidos del análisis microbiológico son aceptables respecto a los límites máximos permisibles citados por (Resolución N°0631-MINAMBIENTE-2015) y el (Decreto supremo N°003 - 2010 - MINAM); lo cual indica que los efluentes pueden ser vertidos a los cuerpos de agua.

#### *Proyección del tamaño del módulo del lombrifiltro*

Se detalla la proyección estimada del tamaño del módulo del lombrifiltro para la planta quesera “la bodeguilla”, del valle de Moquegua para una producción de 850 litros de residuo lácteo diario (Tabla 4).

**Tabla 4.** Proyección del tamaño del lombrifiltro para la planta quesera la bodeguilla

Descripción	Módulo de lombrifiltro a nivel laboratorio	Módulo de lombrifiltro proyectado
Área	1.5m <sup>2</sup>	224.0m <sup>2</sup>
Cantidad de residuo lácteo por día	5.7 litros/día	850 litros/día
Cantidad de lombrices en estado adulto para el módulo	250 unidades	37000 unidades
Tasa de riego	3.8 litros/m <sup>2</sup> /día	3.8 litros/m <sup>2</sup> /día

La cantidad necesaria de residuo lácteo para regar el lombrifiltro a nivel de laboratorio fue calculada en función a lo que menciona (Somarriba y Guzmán, 2004) donde indica que la humedad de los sustratos (75 – 80%) se consigue regando cada 3 días utilizando 3 galones de agua por metro cuadrado, equivalente a 3.8 litros/m<sup>2</sup>/día, por lo que para 1.5 metros cuadrados (tamaño real del módulo a nivel laboratorio) requerimos 5.7 litros/día para mantener la humedad necesaria, la cual se comprobó tomando una muestra del sustrato al alcance del puño de la mano que al apretarlas generó 5 a 8 gotas de residuo líquido lácteo. Según el porcentaje de remoción obtenido con la aplicación del lombrifiltro 78.39%, equivalente a 43.53g /litro de DQO; se calculó la cantidad necesaria de lombrices en estado adulto equivalente a 250 unidades, teniendo en cuenta que los pesos de las lombrices es de 0.8 a 1gramo y que ingieren diariamente el 100% de su peso en materia orgánica en descomposición y de la cual el 60% es excretado como abono orgánico y el 40% es asimilado por la lombriz (Somarriba y Guzmán, 2004).

La proyección del área del módulo se realizó en función a la cantidad de residuo lácteo emitido por la planta quesera la bodeguilla (850 litros/día), según la regla de tres simple directa ó trabajando con la tasa de riego según la formula citada por (Salazar, 2005) se obtiene una área estimada de 224m<sup>2</sup> y en función al porcentaje de remoción obtenido con la aplicación del lombrifiltro se determinó la cantidad de lombrices necesarios, equivalente a 37000 unidades como mínimo para 850 litros/m<sup>2</sup> /día de residuo lácteo ya que la tasa de riego es aún menor a 1m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>/día citado por (Salazar, 2005) con el fin de evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno, además la densidad poblacional debe ser como máximo 5kg/m<sup>2</sup> según (Rivera, 2017), la cual equivale a 5000 unidades de lombrices por metro cuadrado, en estados adulto con peso de 1gramo.





## CONCLUSIONES

La presencia de DQO del residuo lácteo fue de 55530mg/L, después de la aplicación de microorganismos eficaces y el lombrifiltro se puede concluir que los tratamientos de aplicación que tuvieron mayor influencia en la remoción de la DQO fueron el lombrifiltro y la combinación de (microorganismos eficaces con el lombrifiltro), logrando remover al 78.39% (12000mg/L) y 75.51% (13600mg/L) respectivamente frente a la aplicación de solo los microorganismos eficaces 54.62% (25200mg/L); las características fisicoquímicas (SST, SS, DQO, DBO<sub>5</sub>, pH, AyG) de los efluentes, son influidas significativamente por la aplicación de microorganismos eficaces y el lombrifiltro logrando estar dentro los límites máximos permisibles a excepción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, para ser vertidos a los cuerpos de agua y las características microbiológicas (Coliformes totales y termotolerantes) de los efluentes, son influidas significativamente por la aplicación de los microorganismos eficaces y el lombrifiltro obteniendo resultados negativos por el método de aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro.

## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte durante el periodo de estudio, así mismo el agradecimiento especial a los miembros del jurado: Dr. Luis Alfredo Palao Iturregui, M.Sc. Roberto Alfaro Alejo, M.Sc. Dawes Ramos Alata y al Dr. Alejandro Coloma Paxi, quienes hicieron las observaciones de manera acertada y contribuyeron en mejorar la redacción final del presente trabajo de investigación.

## LITERATURA CITADA

- Acuña, E. y Reyes, J. (2017). *Eficiencia de Lumbricus Terrestris Y Eisenia Foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas, 2015*. Obtenido de Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas : [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR\\_137370a0cb638bb0e0e2a1546311a93c](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR_137370a0cb638bb0e0e2a1546311a93c)
- Alfa, y Laval. (1990). *Manual de Industrias Lácteas* (Segunda ed.). Suecia: Lund.
- Arias, H. (2010). *Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente*. Obtenido de <http://jci.uniautonomo.edu.co/2010/2010-7.pdf>.
- Banco Interamericano de desarrollo - Convenio Fondo Especial de Japon/BID ATN/JO - 10792 UR. (2009). *Manual práctico de uso de EM. Edición N°1 - Uruguay*. Obtenido de Proyecto reducción de pobreza y mejora de las condiciones higiénicas de los hogares de la población rural de menores recursos: [http://www.emuruguay.org/imagines/Manual\\_Practico\\_Uso\\_EM\\_OISCA\\_BID.pdf](http://www.emuruguay.org/imagines/Manual_Practico_Uso_EM_OISCA_BID.pdf).
- Buendía, M. (2009). *Feasibility of anaerobic co-digestion as a treatment option of meat industry wastes*. Obtenido de Bioresource Technology: Doi:10.1016/j.biortech.2008.10.013.
- Carmona, P. (2010). Estudio del Comportamiento de una mezcla de Aserrín y Grasa Láctea de desecho. Tesis de la Escuela de Ingeniería en alimentos. *Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fac287e/doc/fac287e.pdf>.
- Garzón, Z., Buelna, G. y Moeller, C. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnología y ciencia del agua*, 153-161.
- Goyzueta, H. (2012). Microorganismos Eficaces (EM) en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de José Domingo Choquehuanca. *Tesis para optar el título profesional de ingeniero agrónomo, mención gestión agroambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano*. Puno.
- Herrera, A. y Javid, E. (2013). Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 57 - 67.
- Hoyos, D., Alvis, N., Jabib, L., Garcés, M. y Pérez, (2008). Utilidad de los Microorganismos Eficaces (EM) en una explotación avícola de Córdova: Parámetros productivos y control ambiental. *Universidades de Córdoba y Cartagena*. Colombia. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=8b5fd77a-8ecb-4cec-92cb-135a562f9999%40sessionmgr4010>
- Jiménez, V., Gustavo, D. y Padilla, G. (2012). Evaluación del potencial de adsorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de agua a escala laboratorio. *Tesis de grado de ingeniero químico. Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería - programa de Ingeniería Química*. Obtenido de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/84/1/Evaluacion%20del%20potencial.pdf>.





- Lopez, E., Gil, Z., Henderson, Calero, y Jimenez, J. (2017). Uso de efluente de planta de biogás y microorganismos eficientes como biofertilizantes en plantas de cebolla (*Allium cepa* L.). *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas - INCA*. Cuba. Obtenido de <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=14&sid=8b5fd77a-8ecb-4cec-92cb-135a562f9999%40sessionmgr4010>
- Pacori, C. (2014). Efecto de los Microorganismos Eficaces en el Tratamiento de Aguas Residuales domésticas en el distrito de Yanaoca – Cusco. *Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Biología de la Universidad Nacional del Altiplano*. Puno.
- Padin, y Díaz. (2005). Efecto de la concentración inicial del lactosuero sobre la fermentación alcohólica con *Kluyveromyces fragilis*. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 2006., 35-41.
- Palao, L. (2011). Biotecnología de los microorganismos eficaces (EM) para la descontaminación de la bahía interior de Puno, responsabilidad social y acción comunitaria. *Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano*. Puno, Perú.
- Pari, V. (2010). Microorganismos Eficaces (EM) en el tratamiento de efluentes de matadero. *Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano*. Puno.
- Petrenko, O. (2005). Estudio de algunas características de las cepas de levaduras y de su rendimiento celular utilizando un medio de cultivo a base de suero lácteo. *Tesina Lic. En Farmacia. Universidad Belgrano, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Carrera de Licenciatura en Farmacia*. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de [http://184.168.109.199:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/118/147\\_petrenko.pdf?sequence=2](http://184.168.109.199:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/118/147_petrenko.pdf?sequence=2).
- Prieto, G., Callejas, H., Reyes, C. y Marm. (2012). Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, 58-60.
- Ramón, J., León, J. y Castillo, N. (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. Obtenido de <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=10&sid=8b5fd77a-8ecb-4cec-92cb-135a562f9999%40sessionmgr4010>.
- Rico, G. J. y García, A. (1991). Anaerobic treatment of cheese production wastewater using a UASB reactor. *Bioresourse Technology*.
- Rios, A. (2016). *Aplicación de microorganismos eficaces para disminuir dbo, dco y sólidos totales en las aguas residuales de la Empresa Grupo Pecuario S.A.C.* Obtenido de Tesis de grado - Universidad Cesar Vallejo: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV\\_9f1152474eaf3104f31216ca10fc8b00](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_9f1152474eaf3104f31216ca10fc8b00)
- Rivera, P. (2017). Producción de Bioabono, mediante el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Proyecto aplicado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniería Ambiental. *Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13443/3/53008693.pdf>
- Rodríguez, R. (2010). Caracterización y tratamiento de efluentes líquidos en la Industria láctea. Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI. Argentina. Obtenido de <https://www.inti.gob.ar/lacteos/pdf/caracterizacion.pdf>
- Ronda, E. (2000). *El suero de quesería el ayer y el presente Real Academia de Ciencias Veterinarias*. España.
- Salazar, M. (2005). Sistema Tohá – Una alternativa ecológica para el Tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. *Tesis de la Escuela de Construcción Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Austral de Chile*., <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcs161s/doc/bmfcs161s.pdf>.
- Sánchez, S., Gil, M., Gil, A., Giraldo, F., Millán, C. y Villada, M. (2009). *Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante*. Obtenido de Artículo original producción mas limpia: [http://fundases.com/userfiles/file/Microorg\\_Benef\\_Efect.pdf](http://fundases.com/userfiles/file/Microorg_Benef_Efect.pdf).
- Santamaría, E., Álvares, F., Santamaría, E. y Zamora, M. (2015). Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. *Agroindustrial Science*, 13 - 26.
- Somarriba, R. y Guzmán, G. (2004). Guía de lombricultura. Serie técnica N°1. *Dirección de Investigación Extensión y Postgrado de la Universidad Nacional Agraria. Nicaragua*. Obtenido de <http://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.
- Vicente, R. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador*, 41-56.
- Wiblbrett, G. (2000). *Limpieza y desinfección en la industria alimentaria*. Zaragoza, España.: Acribia.

