



FACULTAD DE INGENIERIA ARQUITECTURA Y URBANISMO

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial y
Comercio Exterior**

TESIS

**EVALUACIÓN DE UN LECHO FILTRANTE,
UTILIZANDO MESOCARPO DE COCO (*Cocos
nucifera*), PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA EMPACADORA DE BANANO
ALGARROBO 1, SULLANA 2015**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

Autores:

**BACH. FERNÁNDEZ BRENIS EDINSON JOEL
BACH. SÁNCHEZ ZAPATA KATHERINE LISSETT**

Pimentel, Setiembre del 2016

**EVALUACIÓN DE UN LECHO FILTRANTE, UTILIZANDO MESOCARPO
DE COCO (Cocos nucifera), PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA EMPACADORA DE BANANO ALGARROBO 1,
SULLANA 2015**

Aprobación de la tesis

Bach. Fernández Brenis Edinson Joel

Bach. Sánchez Zapata Katherine Lissett

Presidente del Jurado de Tesis

MSc. Mechato Anastasio Augusto

Secretario del Jurado de Tesis

MSc. Esquivel Paredes Lourdes

Vocal del Jurado de Tesis

Ing. Símpalo López Walter Bernardo

DEDICATORIA

A Dios, por habernos dado la vida y permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional; a nuestros padres por su apoyo incondicional quienes con sus consejos han sabido guiarnos para culminar nuestra carrera profesional, y de una manera muy especial dedicamos este trabajo a la Sra. Flor de María Brenis, madre de mi compañero Joel Fernández Brenis, que aunque ahora ya no se encuentra entre nosotros, sabemos que desde el cielo nos guía como solo ella sabía hacerlo mientras vivía.. Te queremos y nunca te olvidaremos.

AGRADECIMIENTO

Nos complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Señor de Sipán en la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior y en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética puesto de manifiesto en las aulas enrumban a cada uno de los egresados.

Al Ing. Walter Bernardo Símpalo López, quien con su experiencia como docente ha sido la guía idónea, durante el proceso que ha llevado el realizar esta tesis.

Un enorme agradecimiento a familiares y amigos, que directa o indirectamente han contribuido al logro de una de nuestras más grandes metas; obtener nuestro título profesional.

A todos ellos, Muchas Gracias.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA -----	i
AGRADECIMIENTO -----	ii
INDICE -----	iii
RESUMEN -----	vii
ABSTRACT-----	viii
INTRODUCCIÓN -----	ix
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVETIGACIÓN -----	1
1.1. Situación problemática -----	1
1.2. Formulación del Problema -----	4
1.3. Delimitación de la Investigación -----	5
1.4. Justificación e importancia -----	5
1.5. Limitaciones de la Investigación -----	8
1.6. Objetivos de la Investigación -----	8
1.6.1. Objetivo General -----	8
1.6.2. Objetivos Específicos -----	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO -----	10
2.1. Antecedentes de la investigación -----	10
2.2. Estado del arte -----	15
2.3. Base teórica científicas -----	18
2.3.1. El coco -----	18
2.3.2. Aguas residuales -----	29
2.3.3. Filtración -----	41
2.3.4. Fluidos a través de lechos porosos -----	50
2.3.5. Marco Legal -----	67
2.4. Definición de la terminología -----	78
CAPITULO III: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN -----	80

3.1.	Tipo y Diseño de la Investigación	80
3.1.1.	Tipo de la Investigación	80
3.1.2.	Diseño de la Investigación	80
3.2.	Población y Muestra	81
3.2.1.	Población	81
3.2.2.	Muestra	81
3.3.	Hipótesis	81
3.4.	Variables:	81
3.4.1.	Variable independiente	81
3.4.2.	Variable dependiente	82
3.5.	Operacionalización de las variables	82
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	83
3.7.	Procedimiento para la recolección de datos	97
3.8.	Análisis Estadístico e Interpretación de los datos	97
3.9.	Principios Éticos	98
3.10.	Criterios de rigor científico	98
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		99
4.1.	Resultados en tablas y gráficos	99
4.2.	Discusión de los resultados	112
4.2.1.	Demanda Bioquímica de Oxígeno	112
4.2.2.	Potencial de Hidrogeno	113
4.2.3.	Solidos Suspendidos Totales	114
4.2.4.	Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y E. coli	115
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		117
5.1.	Conclusiones	117
5.2.	Recomendaciones	118
REFERENCIAS		119
ANEXOS		122

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1 Clasificación botánica del cocotero (Cocos nucifera)	22
Cuadro 2.2 Valores representativos de los contaminantes de Aguas residuales	32
Cuadro 2.3 Información típica de diseño para filtros percoladores	47
Cuadro 2.4 Esfericidad de la partícula	53
Cuadro 2.5 Parámetros para riego de vegetales de tallo alto y bajo	68
Cuadro 2.6 Parámetros para riego de vegetales de tallo alto y bajo	70
Cuadro 2.7 Parámetros para riego de vegetales	70
Cuadro 2.8 Parámetros para bebidas de animales	70
Cuadro 3.1 Variables, indicadores e instrumentos	83
Cuadro 3.2 Parámetros de Control	84
Cuadro 3.3 Determinación de la Variable Operacional del lecho filtrante	89
Cuadro 3.4 Determinación de la Variable Operacional del Filtro N° 01	89
Cuadro 3.5 Determinación de la Variable Operacional del Filtro N° 02	90
Cuadro 3.6 Características de la fibra de coco	92
Cuadro 4.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno	100
Cuadro 4.2 Ph	103
Cuadro 4.3 Solidos Suspendidos Totales	105
Cuadro 4.4 Coliformes Totales	107
Cuadro 4.5 Coliformes Termotolerantes	109
Cuadro 4.6 E. coli en cada uno de los filtros	111

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Estructura del coco	23
Figura 3.1 Ubicación de la Asociación Ecológicos Bananeros	85
Figura 3.2 Localización y ubicación de la empacadora Algarrobo 1	86
Figura 3.3 Ubicación del lecho filtrante (Filtro Percolador) Dentro del proceso	87
Figura 3.4 Esquema del lecho filtrante (filtros percoladores)	91
Figura 3.5 Medios Filtrantes usados en el Lecho filtrante	93
Figura 3.6 Instalación de rejillas metálicas	94
Figura 3.7 Tubería de alimentación de agua al lecho filtrante	95
Figura 3.8 Acondicionamiento del medio filtrante	95
Figura 3.9 Descarga de las aguas residuales hacia los filtros	96
Figura 3.10 Toma de muestras de aguas de la tina de lavado de banano	97
Figura 3.11 Toma de muestras de aguas en la salida de los filtros	97

RESUMEN

El presente estudio evalúa el rendimiento de un lecho filtrante, utilizando mesocarpo de coco (cocos nucifera), para el tratamiento de aguas residuales en la Empacadora de Banano Algarrobo 1, en la ciudad de Sullana.

Se instalaron 2 modelos de filtros; el Filtro N°01 compuesto por grava $\frac{1}{4}$, mesocarpo de coco, carbón vegetal y grava $\frac{1}{4}$ y el Filtro N°02 compuesto por grava $\frac{1}{4}$, dos capas de mesocarpo de coco y carbón vegetal; con la finalidad de medir la reducción y variación de los siguientes parámetros: DBO, PH, SST, Coliformes Totales y Termotolerantes y E. Coli, obteniendo como resultados lo siguiente: La DBO en la entrada de los filtros: 237.60 mg/L, en la salida del Filtro N° 01: 49.50 mg/L y del Filtro N°02: 79.20 mg/L; con un porcentaje de remoción de 79.17% y 66.67% respectivamente. El pH en la entrada de los filtros: 6.8, en la salida del Filtro N° 01: 6.5 y del Filtro N°02: 6.3; con una variación de -0.3% y -0.5% respectivamente. Los SST en la entrada de los filtros: 0.8 ml/L, en la salida del Filtro N° 01: 10.0 ml/L y del Filtro N°02: 12.0 ml/L; con un porcentaje de remoción de -25% y -50% respectivamente. Los Coliformes Totales y Termotolerantes en la entrada de los filtros: 3500 NMP/100ml, en la salida del Filtro N° 01: 5400 NMP/100ml y del Filtro N°02: 2400 NMP/100ml; con un porcentaje de remoción de - 54.29% y 31.43 % respectivamente. E. Coli en la entrada de los filtros: 14 NMP/100ml, en la salida del Filtro N° 01: 20 NMP/100ml y del Filtro N°02: 20 NMP/100ml; con un porcentaje de remoción de -42.86% para ambos filtros.

Estos valores demostraron que el lecho filtrante utilizando mesocarpo de coco, reduce la contaminación de aguas residuales.

Palabras claves

Aguas residuales, contaminación, filtro, mesocarpo de coco.

ABSTRACT

This study evaluates the performance of a filter bed using mesocarpo coconut (Cocos nucifera) , for the treatment of wastewater from the banana packing Algarrobo 1, in the city of Sullana

Two filter patterns were installed; the filter N° 01 composed by gravel $\frac{1}{4}$, coconut mesocarp, charcoal and gravel $\frac{1}{4}$ and the filter N° 02 composed by gravel $\frac{1}{4}$, two layers of coconut mesocarp an charcoal to be able to determine the reduction and the variation of the following parameters, DBO, PH, SST, The Total Coliforms and Thermotolerants and E. Coli, getting as a result the following: The DBO in the entrance of the filters: 237.60 mg/L, in the outlet of the filter No 01: 49.50 mg/L and the filter No 02: 79.20 mg/L; with a removing percentage of 79.17 % and 66.67 % respectively .The PH in the entrance of the filters: 6.8, in the outlet of the filter No 01: 6.5 and the filter No 02: 6.3; with a variation of -0.3 % and -0.5 % respectively. The SST in the entrance of the filters: 0.8 mg/L, in the outlet of the filter No 01: 10.0 ml/L and the filter No 02: 12.0 ml/L; with a removing percentage of -25% and -50% respectively. The Total Coliforms and Thermotolerants in the entrance of the filters: 3500 NMP/100 ml, in the outlet of the filter No 01: 5400 NMP/ml, and the filter No 02: 2400 NMP/ 100 ml; with a removing percentage of -54.29% and 31.43% respectively. E. Coli in the entrance of the filters: 14 NMP/100 ml, in the outlet of the filter No 01: 20 NMP/100 ml and the filter No 02: 20 NMP/100 ml; with a removing percentage of -42.86% for both filters.

These values showed that the filter bed using coconut mesocarp, reduces waste water pollution.

Key words

Coconut mesokarpion, filter, residual waters, pollution.

INTRODUCCIÓN

En el valle del Chira se centra una de las actividades productivas más importantes de nuestro país como es la producción de banano orgánico. Esta actividad como cualquier otra actividad agrícola, causa impactos ambientales debido a la acumulación de desechos sólidos (fundas de racimo, daipas, cintas de colores, etc.), desechos orgánicos (raquis, hojas, banano de descarte, etc.), pero también una gran cantidad de agua que se utiliza para el proceso de lavado del banano, retorna a los campos de cultivo, drenes, canales de riego, etc. sin recibir un tratamiento previo.

El presente estudio tiene como objetivo, evaluar la reducción de DBO, SST, Coliformes Totales y Termotolerantes, E. Coli y variación del PH en el agua filtrada, empleando lechos filtrantes con mesocarpo de coco (cocos nucifera), en el tratamiento de aguas residuales en la Empacadora de Banano Algarrobo 1, de Sullana. Para cumplir este objetivo, fue necesario construir dos modelos de filtros percoladores, uno de ellos con mayor cantidad de mesocarpo de coco para poder determinar la reducción y variación de los parámetros en la entrada y salida de los dos filtro y comparar los resultados con los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la categoría III: Riego de vegetales y bebidas de animales.

Se consideró como principal medio filtrante al mesocarpo de coco por ser un residuo disponible en la zona, producto de la comercialización de fruto.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVETIGACIÓN

1.1. Situación problemática

El agua es considerada como uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la sociedad por lo que su uso racional es muy importante para lograr un completo bienestar.

Respecto a los recursos hídricos, es creciente la preocupación y existen sólo iniciativas para el mejor aprovechamiento de las cada vez más escasas fuentes de agua existentes, junto con una equitativa distribución y racional uso de los mismos, así como la búsqueda de fuentes alternativas de agua como propuestas de proyectos de desalinización de agua marina para consumo humano y de tratamiento de aguas residuales. (Mendez y Feliciano, 2010)

A nivel mundial, se estima que la Tierra contiene 1 351 millones de km³ de agua. Sólo el 0,003% es agua dulce, es decir, agua apta para beber, higiene, agricultura e industria. La mayor parte del agua dulce se encuentra lejos de la civilización o en lugares de difícil acceso para ser captada para su uso. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que sólo de 9 000 a 14 000 km³ se encuentran económicamente disponibles para el uso humano cada año (Faowater, 2008).

La población mundial está creciendo a una tasa de aproximadamente 1,2% al año y se espera que aumente a 9 000 millones en el año 2030. Proporcionar agua adecuada a estas

personas será un gran desafío. El agua no sólo es esencial para el consumo humano directo y para los hogares, sino además para producir alimentos y productos manufacturados necesarios para vivir y mejorar los estándares de vida. (FAO, 2013)

Actualmente existen más de 3 300 instalaciones de regeneración de agua a nivel mundial con diversos grados de tratamiento y para diversas aplicaciones: riego agrícola, diseño urbano y usos recreativos, procesamiento y refrigeración industrial y producción indirecta de agua potable, como recarga de las aguas subterráneas (AQUAREC, 2006). La mayoría de éstas se encuentra en Japón (cerca de 1800) y los Estados Unidos (cerca de 800), Australia y la Unión Europea contaban con 450 y 230 proyectos respectivamente. La zona mediterránea y el Medio Oriente tenían alrededor de 100 plantas, pero América Latina sólo 50 y el África subsahariana 20. (FAO, 2013)

Sin embargo, el 80 por ciento de las aguas residuales no recibe un tratamiento adecuado para evitar la contaminación y la propagación de enfermedades, una situación que perjudica sobre todo a los países menos desarrollados. Los países en desarrollo poseen sólo el 8 por ciento de la capacidad necesaria para tratar las aguas residuales de manera efectiva. Los países donde menos se tratan las aguas residuales son los del Sudeste Asiático, los de la zona del Mar Caspio, el Caribe y África. (Pnuma, 2015)

A nivel nacional, el 70 por ciento de aguas residuales industriales y domésticas se vierte a los cursos de agua sin tratamiento (Andina, 2010)

Particularmente en la costa del Perú, se presentan problemas relacionados con la contaminación de recursos hídricos cuyos principales orígenes provienen de los relevos mineros y otros de las aguas residuales sin tratamiento, con mayor incidencia en las zonas rurales y urbanas marginales. En referencia a los relevos mineros, éstos se depositan a los cursos de aguas superficiales, llevando consigo metales pesados, algunos de los cuales tienen efectos cancerígenos. (FAO, 1993)

Por otro lado, uno de los mayores problemas que se presenta en el ámbito rural y urbano-marginal de nuestro país es la falta de sistemas de abastecimiento de agua y de alcantarillado que limitan un adecuado desarrollo de la población, sobre todo en el aspecto de salubridad. Como consecuencia de la falta de sistemas sanitarios y de la necesidad de eliminar cualquier forma los desechos orgánicos, generalmente se contaminan los recursos hídricos. (FAO, 1993)

A nivel local, el principal problema que ocasiona el vertimiento de aguas residuales de la zona industrial al río Chira, es la falta de un plan de ordenamiento territorial de estas industrias, las cuales no son impuestas por la autoridad local en invertir en un programa ambiental como es la instalación de sus propias plantas de tratamiento de aguas residuales

En el valle del Chira se centra una de las actividades productivas más importantes de nuestro país como es la producción de banano orgánico. Esta actividad como cualquier otra actividad agrícola, causa impactos ambientales debido a la presencia y acumulación de desechos sólidos (fundas de racimo, daipas, cintas de colores, etc.), desechos orgánicos (raquis, hojas, banano de descarte, etc.), pero también una gran cantidad de agua que se utiliza para el proceso de lavado del banano, retorna a los campos de cultivo, drenes, canales de riego, etc. sin recibir un tratamiento previo. En el valle ninguna organización dedicada a esta actividad ha iniciado un programa para tratar estas aguas residuales.

En el trabajo de investigación se evaluó el rendimiento de un lecho filtrante, usando como medio filtrante un recurso o materia prima disponible en la zona como es el mesocarpo de coco para reducir los contaminantes del agua y pueda ser implementado, de obtenerse los resultados positivos por las empresas bananeras del valle.

1.2. Formulación del Problema

¿Permitirá un lecho filtrante, utilizando mesocarpo de coco (*Cocos nucifera*), reducir los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH y carga microbiana para el tratamiento de aguas residuales en la Empacadora de Banano algarrobo 1, en Sullana?

1.3. Delimitación de la Investigación

La investigación y operación de la investigación se realizó en coordinación con la Asociación Ecológicos Bananeros – Asecoban, para realizar la implementación del lecho filtrante (Filtro Percolador) en la empacadora Algarrobo 1, recién construida e implementada en Octubre del presente año. La Asociación se encuentra ubicada en el departamento de Piura, en la provincia y distrito de Sullana en la Calle Santa Rosa S/N del Caserío de Chalacalá Baja. Esta organización integra a más de 240 pequeños productores de banano orgánico con fines de exportación, con un total de 230 ha de producción certificada. El estudio abarcó la reducción de DBO, SST, Coliformes Totales y Termotolerantes, E. Coli y variación del PH como resultado del empleo de filtros percoladores a base de mesocarpo de coco en el tratamiento de las aguas residuales resultantes del lavado de banano.

1.4. Justificación e importancia

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. La industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, la necesidad de

maximizar el proceso productivo excluye la protección del medio ambiente. (Rodriguez et al., 2006)

La regeneración de las aguas residuales y su reutilización en la agricultura está teniendo una amplia aceptación en muchas partes del mundo. En muchos países con escasez de agua, las aguas residuales son importantes para equilibrar la demanda y la oferta de agua para diversos usos. Los impulsores de la reutilización de aguas son distintos en los países desarrollados y en los países en desarrollo, pero existen problemas comunes como el aumento de la población y la demanda de alimentos, escasez de agua y preocupación acerca de la contaminación ambiental. Todos estos factores hacen que el agua regenerada sea un recurso potencialmente valioso. (FAO, 2013)

La agricultura se puede beneficiar de la reutilización de varias maneras: las aguas residuales (tratadas o no) suponen una fuente de agua muy estable todo el año y es una de las opciones que tienen los agricultores para mejorar su seguridad del agua en el largo plazo y minimizar la exposición a riesgos hídricos estacionales. Asimismo su contenido en nutrientes y fertilizantes puede contribuir a aumentar el rendimiento de los cultivos. Además, cuando las aguas residuales (tratadas o no) sustituyen a la extracción de aguas subterráneas puede haber serios ahorros en los costos de bombeo. Por último, la reutilización facilita la implantación de sistemas productivos periurbanos, más cerca de los núcleos de consumo, con lo que los costos de transporte de alimentos también disminuyen. Todo esto se puede traducir en

mayores rendimientos, más cultivos por año y, en definitiva, mayores ingresos para los agricultores. La clave radicará en cual sea en impacto del proyecto de reutilización en sus gastos. (FAO, 2013)

La industria bananera del Valle del Chira procesa aproximadamente 130 contenedores de banano orgánico por semana lo que significa un consumo de agua para lavado de la fruta de 1'170 000 litros por día, agua que es revertida al río Chira, canales, drenes, etc. sin tratamiento alguno. Muchos litros de estas aguas también son revertidos a los campos de cultivo de banano orgánico, actividad que está prohibida según las diferentes normas de certificación que acreditan a este producto como orgánico.

El presente proyecto de investigación, busca evaluar el rendimiento de un lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta de empaque de banano mediante el uso de la fibra o mesocarpo de coco como medio filtrante para determinar la eficiencia de este medio en la reducción de los contaminantes del agua, la misma que podría ser reutilizada y sustituir un importante volumen de agua de primer uso, en actividades que no requieren de la calidad de agua potable.

La implementación de este sistema va a contribuir con el desarrollo de un plan de gestión medioambiental que pueden realizar las organizaciones bananeras para que inicien un modelo de tratamiento de aguas residuales y se logre contribuir en un mejor nivel de calidad de producción orgánica en el sector bananero

según las exigencias de las normas de certificación y sus clientes. Se es conocido que a nivel mundial, los más grandes compradores de banano orgánico valoran y retribuyen a las organizaciones que muestran una voluntad clara de tener un historial de control medioambiental limpio.

1.5. Limitaciones de la Investigación

La distancia para recolectar las muestras de agua para el estudio, por ubicarse la empacadora de banano Algarrobo 1 en la provincia de Sullana a 252 kilómetros de la ciudad de Chiclayo.

El tiempo, porque en la Empacadora de Banano Algarrobo 1 se procesa banano cada 21 días, debiendo esperar para la recolección de muestras para los respectivos análisis. El ajuste y estabilización de los flujos y de la operación del sistema de filtración.

Para el análisis de las aguas residuales del proceso de lavado de banano, no se contó con los reactivos y equipos necesarios para realizarlos en el laboratorio de la Universidad Señor de Sipán, por ello se recurrió al laboratorio de EPSEL, Chiclayo.

1.6. Objetivos de la Investigación

1.6.1. Objetivo General

Evaluar el rendimiento de un lecho filtrante, utilizando mesocarpo de coco (*cocos nucifera*), para el tratamiento de

aguas residuales en la Empacadora de Banano Algarrobo 1, Sullana.

1.6.2. Objetivos Específicos

Determinar la Disminución de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de las aguas residuales de la empacadora de banano algarrobo 1 – Sullana.

Medir el cambio de pH de las aguas residuales de la empacadora de banano algarrobo 1 – Sullana.

Determinar la disminución de Sólidos Suspendidos Totales (SST) de las aguas residuales de la empacadora de banano algarrobo 1 – Sullana.

Determinar la disminución de Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes de las aguas residuales de la empacadora de banano algarrobo 1 – Sullana.

Determinar la reducción de E. Coli de las aguas residuales de la empacadora de banano algarrobo 1 – Sullana.

Comparar los resultados del agua tratada con los límites establecidos según Decreto Supremo N° 002-2008 MINAM, que aprueba los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, Categoría 3: Riego de vegetales y Bebidas de animales.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Tesis: DISEÑO DE BIOFILTRO CON FIBRA DE COCO (*Cocos nucífera*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Autor: Preciado, M. y Rojas, T.

Fuente: Universidad Politécnica de Guanajuato, Departamento de Ingeniería Agroindustrial

Año: 2010

En el presente trabajo se describe la construcción de un filtro con estratos de arena, piedra porosa, fibra de coco y aserrín, y un cultivo de lombrices Roja Californiana (*Eisenia foetida*) cuya finalidad fue la de tratar el agua residual proveniente de los laboratorios del Depto. de Ing. Agroindustrial de la UPG campus Cortazar. Se construyó un prototipo por el cual se hicieron pasar muestras de agua gris tratada con lodos activados, antes de hacer pasar el efluente por el biofiltro y después de filtrarlas. Se analizó así el porcentaje de materia orgánica retenida en el biofiltro expresada en SS por diferencia de pesos. Los resultados obtenidos fueron que el pH cambió gradualmente a alcalino, la conductividad fue decreciendo y la cantidad de materia orgánica retenida en el filtro es el 93%, por lo que se concluyó que este sistema de tratamiento de efluentes es eficaz para obtener agua tratada para uso indirecto.

Revista Científica: Ciencias de la UNICACH

Título: Evaluación de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en dos biofiltros con diferentes empaques.

Autor: Juan Antonio Villanueva Hernández, José Manuel Gómez Ramos, Rubén Vázquez Sánchez, Hugo Alejandro Nájera Aguilar, Nelly de los A. Roblero Galdámez, Esdras Hernández Sánchez

Fuente: LA CANDONIA, año 6, vol. 6, no. 2: 107-114

Año: Diciembre del 2012

En esta investigación se presenta la construcción de dos filtros de flujo ascendente para tratar el agua residual de tipo doméstico. Cada biofiltro se constituyó con un empaque diferente para remover la materia orgánica representada como Demanda Química de Oxígeno (DQO). El primer biofiltro usó un empaque orgánico (Fibra de coco) el cual, removi6 en TRH de 48 hrs el 80% de la concentración de la carga orgánica y en TRH de 24 hrs removi6 el 75%, mientras que el segundo biofiltro con empaque de grava removi6 el 62.5% en TRH de 48 hrs y en TRH de 24 hrs removi6 el 27%. De los dos empaques evaluados mediante la DQO se mostr6 que el medio que permiti6 encontrar las mejores condiciones operacionales y de mayor porcentaje de remoci6n fue el empaque de fibra de coco. Su porosidad natural permiti6 que el empaque presentara un flujo constante, el tratamiento de m6s litros de agua residual que el biofiltro con empaque de grava y una mayor remoci6n de la materia orgánica

Tesis: ESTUDIO TECNOLÓGICO DEL COMPONENTE FIBRA DE DOS VARIEDADES DE COCO ENANO (*Cocos nucifera*) DE LOS DISTRITOS DE LAMAS, TARAPOTO Y PUCACACA EN LA REGIÓN SAN MARTÍN

Autores: Ruth Katherine Nuñez Tavera

Fuente: Universidad Nacional San Martín - Facultad de Ingeniería Agroindustrial

Año: 2010 Tarapoto – Perú

El presente trabajo tiene por objetivo determinar las características químicas y las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de coco, entre ellas, la caracterización de las propiedades físicas (longitud y finura), resistencia mecánica a la tracción y porcentaje de elongación; también se determinó la capacidad de tinción de la fibra de coco de dos variedades: coco enano verde Brasil y amarillo de Malasia, tres estadios de madurez: seis, diez y doce meses respectivamente y tres lugares de procedencia: Lamas, Tarapoto y Pucacaca; con el fin de conocer las diferencias significativas que puedan existir entre ellas.

Entre las características químicas se determinó, el porcentaje de celulosa con ella se conocerá la calidad de la fibra; La calidad de la fibra está representada de acuerdo al porcentaje de celulosa que se encuentra en esta. El mayor porcentaje de celulosa fue de 44.8% de la variedad enano amarillo de Malasia, procedente del distrito de Tarapoto con 6 meses de madurez.

Entre las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de coco, se evaluaron longitud, finura, resistencia a la rotura y porcentaje de elongación de la fibra, de los tres tipos de fibra de la cáscara de coco (relleno, hilo y cerda); destacándose, la variedad amarillo de Malasia, perteneciente al distrito de Tarapoto obteniéndose los resultados siguientes: longitud (15.89cm), finura (17 μ), resistencia a la tracción (175MPa) y porcentaje de elongación (30%).

En cuanto a la capacidad de tinción, se observó que la fibra de ambas variedades y de los tres estadios, se tiñen mejor con el método de tinción en caliente y con colorantes directos de tipo básico.

**Tesis: IMPLEMENTACIÓN DE MATERIAL DE DESECHO PET
COMO ELEMENTO FILTRANTE EN FILTROS BIOLÓGICOS**

Autor: Ing. Jimmy Obdulio Cáceres

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala- Facultad de Ingeniería

Año: 2010 Guatemala

El presente trabajo contiene la información obtenida en la realización del estudio especial sobre la implementación del material de desecho PET como elemento filtrante en filtros biológicos, para el tratamiento del agua residual, el cual sugiere un buen rendimiento por las características propias del material que emplea, y que se ha utilizado anteriormente sin tener registro de sus características de funcionamiento, pero que han servido como referencia para la aplicación del concepto aquí descrito. La falta de

información sobre el uso de Polietileno de Tereftalato (PET), cuya fórmula química es $[-CO-C_6H_4-CO-OCH_2-CH_2-O-]$, en filtros biológicos, hace considerar una hipótesis que permita definir su efectividad y rendimiento.

Para analizar el funcionamiento del PET como medio filtrante fue necesario construir una unidad de filtro percolador, y de esta forma poder tabular los diferentes datos obtenidos y compararlos con otros filtros que utilizan otro tipo de material como medio filtrante, como ser piedrín y desecho de ripio.

Los análisis realizados sirven para obtener una caracterización del agua residual de origen doméstico, tanto en la entrada como en la salida, así como en la fase intermedia de los filtros construidos para tal fin, considerando la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como los principales parámetros a ser evaluados.

Los valores obtenidos de remoción de DBO5 y DQO, por encima del 90% en condiciones de carga hidráulica adecuada, reflejan claramente la efectividad del uso del desecho PET, lo que permite obtener un doble beneficio, ya que se contribuye a reutilizar en producto de desecho y al mismo tiempo se ayuda a mejorar la calidad del agua residual antes de enviarla a un cuerpo receptor.

Finalmente, se concluye que el uso de material de desecho a base de PET es una opción práctica y viable desde el punto de vista técnico y económico, ya que no se requiere de una mano de obra especializada para su implementación

2.2. Estado del arte

El tratamiento de aguas residuales requiere ser atendido con procesos que puedan adaptarse a las condiciones técnicas, económicas y sociales de distintos sectores, sobre todo los que no cuentan con sistemas de drenaje y tratamiento de sus efluentes. Ante la falta de recursos lo más común es descargar los residuos al suelo o a cuerpos receptores sin recibir ningún tratamiento, debido a los costos que conllevan los tratamientos convencionales para su construcción y mantenimiento. (Sosa, Viguera Y Holguin, 2014)

Los primeros informes del uso de sistemas de biofiltración datan de 1923, cuando se empleó la tecnología para eliminar el sulfuro de hidrógeno proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales. Los primeros biofiltros fueron sistemas abiertos en los que se empleaban suelo poroso como soporte; se hacían excavaciones en el suelo y se colocaba un sistema de tubos perforados en la base que dejaban pasar aire a través del suelo. Para ciertas aplicaciones, aún se siguen utilizando variantes de este diseño.

La primera patente de esta tecnología se registró en 1934, para el tratamiento de compuestos olorosos. A partir de 1950 se publican los fundamentos de la tecnología de la biofiltración y se difunden en los Estados Unidos de América y Alemania occidental. En esta década, se instalan biofiltros de tierra para el tratamiento de olores en California (EE.UU.) y Nuremberg (Alemania). En la década de

1970, los nuevos diseños de biofiltros permitieron mayores cargas de contaminantes.

Estos diseños se desarrollaron principalmente en Alemania y en los Países Bajos. Los sistemas seguían siendo abiertos pero con una modificación en la distribución del aire para evitar el taponamiento y se utilizaron nuevos materiales de empaque, tales como mezclas de compost y trozos de madera.

En los años 80 se desarrollaron sistemas cerrados, algunos con sistemas de control computarizados y empleando medios filtrantes inorgánicos novedosos, tales como el carbón activo granular, el poliestireno y las cerámicas. A mediados de esa década se publican también diferentes modelos matemáticos que permiten optimizar y comprender mejor los sistemas de biofiltración.

Uno de los primeros modelos fue formulado por Ottengraff en el año 1986. Posteriormente, a nivel laboratorio, el estudio de la biofiltración permitió hacer de ésta una tecnología versátil para el control de diversos compuestos volátiles (CV), como son los compuestos halogenados, no halogenados, alifáticos, aromáticos, compuestos que contienen azufre, óxidos de nitrógeno, amoníaco y algunos compuestos que contienen cloro (HCl). Entre estos compuestos están los orgánicos (COV) como alcoholes, cetonas, alcanos, derivados del benceno y compuestos clorados. (Cárdenas et al., 2003)

La acetona, el benceno, el butanol, el diclorometano, el etanol, el etileno, el hexano, el isopropanol, el isopentano, el metano, el

metanol, el propano y el tolueno son ejemplos de estos compuestos.

En los últimos años, la lista de los compuestos que pueden ser tratados mediante esta tecnología ha sido aumentada, hasta incluir algunos compuestos que alguna vez fueron considerados como difícilmente biodegradables, como el metil-terc-butil éter (MTBE), compuesto oxigenado presente en las gasolinas reformuladas. A su vez, la evolución de los diseños de los biofiltros ha permitido el tratamiento de mayores cargas de contaminantes. La optimización de los biorreactores también ha sido posible mediante el estudio de diversos materiales filtrantes que proporcionan el medio adecuado para el desarrollo de los microorganismos y entre los que se encuentran materiales orgánicos (como compost y turbas) o bien materiales sintéticos (carbón activo granular, poliestireno y cerámicas). (Silva, 2010)

En los últimos años, las investigaciones se han enfocado a la creación de sistemas con mejor control de los procesos, al estudio de las cinéticas de degradación de los compuestos contaminantes o bien al estudio de los modelos matemáticos que permiten optimizar y comprender mejor los sistemas de biofiltración. En países punteros como Alemania, los Países Bajos, Estados Unidos y Canadá se ha apostado por esta tecnología y ya disponen de notable experiencia en el desarrollo e implementación de sistemas biológicos de tratamiento de efluentes gaseosos a nivel industrial.

La biofiltración es una alternativa viable y adaptable para cubrir las necesidades de tratamiento de estos sectores sociales, ya que es

un sistema eficiente que requiere bajos costos de inversión, no genera lodos residuales y además permite reutilizar el agua tratada, trayendo beneficios económicos, sociales y medioambientales. (Sosa, Viguera Y Holguin, 2014)

2.3. Base teórica científicas

2.3.1. El coco

a. Generalidades del coco

El coco se encuentra distribuido en todas las regiones tropicales, es una de las plantas que proporciona una mayor diversidad de productos, pues es una fuente de alimento, bebida y de abrigo, se dice que es la planta a la que se le conocen más aplicaciones y puede ser una de las más aprovechadas por el hombre. (Rodríguez, 1969)

Coco es comúnmente llamado al fruto del árbol cocotero, de la familia de las palmáceas, especie *cocos nucifera*; el árbol tiene un tronco cilíndrico de 30 – 45 centímetros de diámetro aproximadamente y dependiendo de la especie hasta 30 metros de altura, marcado por anillos que señalan la posición de las hojas que ha ido perdiendo. En el extremo superior se encuentran las hojas curvadas en forma de arco que llegan a tener de 3 a 4,5 metros de longitud. El fruto cuelga en racimos de 10 a 20 unidades y

en cada árbol puede haber, dependiendo de la época unos 10 racimos. (Rodríguez, 1969)

Coco maduro es de forma ovoidal, de unos 30 centímetros de longitud y puede llegar a pesar hasta 2,5 kilogramos, está revestido de una cáscara fibrosa (exocarpo) de 4 o 5 centímetros de espesor que envuelve una cáscara dura (endocarpo) de 5 milímetros de espesor; parte del exocarpo es una capa intermedia (mesocarpo) que recubre el endocarpo y dentro de este último está una pulpa blanca oleaginosa (endosperma) conteniendo en su cavidad central un líquido dulce conocido como agua de coco (cotiledón) de aproximadamente 300 gramos, que se encuentra encerrado en el interior hueco del fruto. (Rodríguez, 1969)

La composición nutritiva del coco varía a medida que éste madura. Destaca su aporte de grasas, principalmente saturadas (88,6 % del total) que lo convierten en un fruto muy calórico. Aporta una baja cantidad de hidratos de carbono y proteínas. Muy rico en sales que participan en la mineralización de los huesos (magnesio, fósforo y calcio). (Rodríguez, 1969)

b. Clasificación y descripción botánica del coco

Raíz

El sistema radicular del cocotero es fasciculado. Las raíces primarias son las encargadas de la fijación de la planta y de la absorción de agua. Las terciarias (que se derivan de las secundarias) son las verdaderas extractoras de nutrientes. Las raíces activas se localizan en un radio de 2 metros del tronco, a una profundidad entre los 0.2 a 0.8 metros, dependiendo de la profundidad efectiva del suelo y de la profundidad del nivel freático. (Medarno, 2010)

Tallo

El tronco del cocotero es un espite no ramificado. En su extremo superior o ápice presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema terminal que posee la planta. La inflorescencia es la única ramificación del tallo. En ocasiones se presentan anomalías como las ramificaciones múltiples. Debido a que el tronco no posee tejido meristemático no engruesa, sin embargo, las variaciones en la disponibilidad de agua inducen cambios en el diámetro del tronco. El crecimiento en altura, depende de las condiciones ecológicas y de la edad de la planta. También varía entre los diferentes tipos de cocoterios. . (Medarno, 2010)

Hojas

La hoja del cocotero es de tipo pinnada y está formada por un pecíolo que casi circunda el tronco, continua un ráquis del cual se desprenden de 200 a 300 folíolos. El largo de la hoja puede alcanzar los 6 metros y es menor al aumentar la edad de la planta. En condiciones ambientales favorables una planta adulta de cocotero gigante emite de 12 a 14 hojas por año, en cambio el enano puede emitir hasta 18 hojas en el mismo período. La copa presenta de 25 a 30 hojas (Santos, 1998)

Inflorescencia

Posee inflorescencias paniculadas, axilares, protegidas por una bráctea llamada espada. La espada se desarrolla en 3 o 4 meses, después se abre y libera las espigas. Cada espiga posee flores masculinas en los dos tercios terminales y femeninas en el tercio basal.

En los cocoteros gigantes las flores masculinas se abren antes que las femeninas estén receptivas, induciendo así la polinización cruzada. En el caso de los enanos la apertura es simultánea, por tanto hay un porcentaje alto de autofecundación. (Medarno, 2010).

Fruto

El fruto es una drupa, formado por una epidermis lisa, un mesocarpo espeso (también conocido como estopa) del cual se extrae fibra.

Más al interior se encuentra el endocarpo que es una capa fina y dura de color marrón llamada hueso o concha, envuelto por él se encuentra el albumen sólido o copra que forma una cavidad grande donde se aloja el albumen líquido, también conocido como agua de coco. El embrión se encuentra próximo a dos orificios del endocarpo, envuelto por el albumen sólido. . (Medarno, 2010)

Cuadro 2.1

Clasificación botánica del cocotero (Cocos nucifera)

Clasificación Botánica	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Arecales
Familia	Areceaceae
Subfamilia	Arecoideae
Tribu	Cocoeae
Subtribu	Butiinae
Genero	Cocos
Especie	Cocos nucífera

Fuente: Quiñoz, 2008

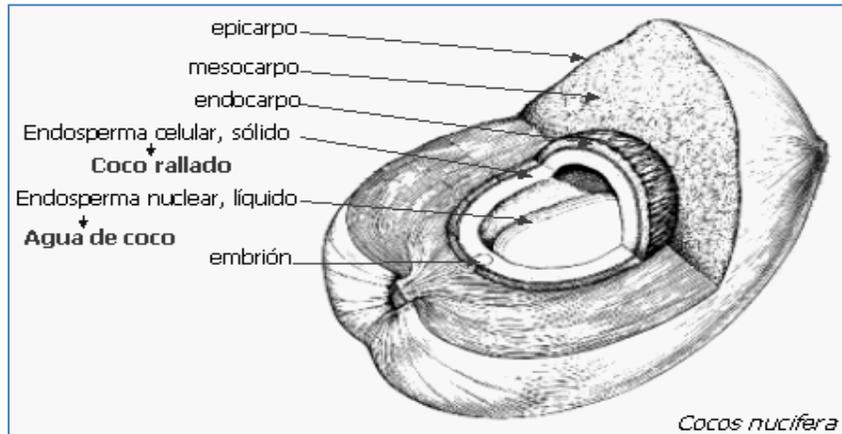


Figura 2.1

Estructura del coco

Fuente: www.biologia.edu.ar

c. Usos del coco

Madera de coco:

Se usa para la construcción de casas, puentes y granjas. La corteza exterior es dura y es muy útil para la fabricación de muebles. Para mejorar su calidad se deja un mes en agua salada. (Rodríguez, 1969)

El palmito:

Es la yema terminal del cocotero y se consume crudo o cocido. Contiene 3% de almidón y 5% de azúcar.

Las raíces:

Tienen propiedades antidiarréicas.

Las palmas:

Son usadas para techos, canastas, sombreros, alfombras, etc. (Rodríguez, 1969)

El agua de coco:

Se consume como bebida rehidratante. Ha sido usado como sustituto de sueros, posee un alto valor nutritivo.

La nuez:

Es su principal producto. La diversidad de usos es grande dentro de ellos están:

Aceite:

Usado en alimentos, cosmetología, combustibles y lubricantes. (Rodríguez, 1969)

Harina de coco:

Es un subproducto de la extracción de aceite y se usa como alimento para ganado.

Copra:

Es la carne blanca del coco, se usa como materia prima para la extracción de aceite. También tiene otros usos como coco rayado, deshidratado, conservas, y otros.

El hueso o concha:

Es el endocarpo que cubre la copra. Se usa como materia prima para producir carbón y carbón activado (usado en filtros de aire), o como combustible para calderas y cocinas, también se usa para fabricar botones, cucharas y adornos.

La estopa o mesocarpo:

De ella se extrae fibra para elaborar pitas, valfombras, sacos, etc. El polvo del mesocarpo se usa para enmendar suelos arenosos, ya que mejora el poder de retención de agua y la textura. (Rodríguez, 1969)

d. Razones para usar fibras naturales

En el 2009 se celebra el Año Internacional de las Fibras Naturales para crear conciencia sobre su importancia tanto para productores, consumidores y medio ambiente; sin duda resultan más confortables pero hay más motivos para preferirlas. (Acosta, 2009)

La FAO nos recuerda cinco buenas razones para volver a lo natural.

“Biodegradable, renovable y con costos energéticos mucho más bajos que aquellos de las fibras sintéticas derivadas del petróleo, las fibras naturales

contribuyen a que el planeta sea más verde”.

Son una opción saludable. La mayoría de las personas saben que las fibras naturales proporcionan ventilación natural, por eso se siente bien usar una remera de algodón en un día caluroso, mientras que las prendas de lana actúan como aislantes contra el frío y contra el calor (los Beduinos usan lana fina para mantenerse frescos). Por su parte, *las fibras de coco utilizadas en los colchones tienen resistencia natural contra hongos y ácaros*; las fibras de cáñamo tienen propiedades antibacterianas y diversos estudios demuestran que el textil más higiénico para sábanas de hospital es el lino. (Acosta, 2009)

Son una opción sostenible. La sociedad mundial avanza hacia una economía "verde", basada en la eficiencia energética, las materias primas renovables en los productos polímeros, los procesos industriales que reducen las emisiones de dióxido de carbono y materiales reciclables que reduzcan al mínimo los desechos. Las fibras naturales son un recurso renovable por excelencia. Cosechar una tonelada de fibra de yute requiere menos de 10% de la energía utilizada en la producción de polipropileno; las fibras naturales tienen emisiones neutras de dióxido de carbono, al procesarlas se crean residuos que puedan ser utilizados en materiales compuestos para la construcción de viviendas o para generar electricidad, ya al final de su ciclo de vida, son

100% biodegradables.

Son una opción de alta tecnología: Tienen una buena resistencia mecánica, poco peso y bajo costo, por lo que resultan especialmente atractivas para la industria automotriz; por otro lado también se incorporan como materiales de construcción: La India desarrolló láminas de fibra de coco, más resistentes a la pudrición que la teca; Brasil hace material de techumbre reforzada con sisal; en Europa, los residuos del cáñamo se utilizan en el cemento, mientras que China usó materiales de construcción a base de cáñamo para los Juegos Olímpicos del 2008. (Acosta, 2009)

Son una opción responsable: Su producción, procesamiento y exportación tienen gran importancia económica para muchos países en vía de desarrollo, resultando vital para la subsistencia y la seguridad alimentaria de millones de pequeños agricultores y procesadores; al optar por las fibras naturales se impulsa y se contribuye en la lucha contra el hambre y la pobreza.

Son una opción de moda: En la actualidad estas fibras son el centro del movimiento de la eco-moda o "ropa sostenible" preocupada por el medio ambiente y el bienestar tanto de productores como consumidores y su objetivo es crear prendas sostenibles en cada etapa de su ciclo de vida, desde su producción hasta su eliminación;

“Los productores de las fibras naturales, fabricantes y la industria textil deben responder a las oportunidades que ofrece la creciente demanda de algodón orgánico y lana, de tejidos reciclables y biodegradables, y de prácticas del "comercio justo" que ofrecen precios más altos a los productores y protege a los trabajadores de la industria textil”. (Acosta, 2009)

Opciones para el futuro

Actualmente el sector de las fibras naturales es dinámico, se están investigando novedades como telas de lana y de seda que se limpian solas, estambres de yute más finos para el vestido, y mezclas de lana que se mantienen secas aun en condiciones de gran actividad; la obtención de nuevas variedades de algodón que producen semillas no tóxicas abre el paso a la producción de más alimentos para las personas, a la vez que incrementa los ingresos de los productores de algodón.

Los desafíos radican en realizar más investigación y desarrollo para encontrar plantas de fibras naturales más resistentes a la sequía y los insectos, mejores tecnologías de elaboración y productos mejorados (Acosta, 2009).

2.3.2. Aguas residuales

a. Definición de las aguas residuales

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales, por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos, como la arcilla, sedimentos y otros residuos, se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂; es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. (Villacrez, 2013)

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado secundario ya que está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios. (Villacrez, 2013)

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas; el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y gas metano. Este último se puede separar y quemar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas. La eficiencia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la DBO inicial. (Villacrez, 2013)

b. Clasificación de las aguas residuales

Aguas residuales domesticas

Son las aguas de origen principalmente residencial y otros usos similares que en general son recolectados por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comerciales, servicios, industria). Contiene principalmente desechos humanos, animales y otros tipos casero, además deben agregarse las provenientes de infiltraciones subterráneas. (Lacrampe, 2009)

Aguas residuales industriales

Son aguas provenientes de los procesos industriales y 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 aquellos con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (industria de celulosa y finalmente industrias cuyas aguas residual es contienen sustancia inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, minería). (Lacrampe, 2009)

Aguas residuales pluviales

Proviene de escurrimientos superficiales de aguas lluvias, tales como los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.

La escorrentía generada por aguas lluvias es menos contaminada que Las aguas residuales domesticas e industriales. (Lacrampe, 2009)

c. Características de las aguas residuales

Un agua residual puede caracterizarse por medio de sus constituyentes más comunes, los que dependerán del

origen de esas aguas. A continuación se detallan las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, describiendo la importancia de cada una de ellas en la calidad del agua. Además con la idea de tener una mejor visión de las magnitudes de las aguas residuales industriales se describe en la siguiente tabla los valores de los contaminantes en aguas residuales industriales. (Da Silva, 2013)

Cuadro 2.2

Valores representativos de los contaminantes de aguas residuales

Parámetro	Alimentos	Carnes	Metales	Textil
Volumen (L)/Tonelada/Producto	10000	12000	-	100000
MPN(10^6 /100 mL)	0	-		0
DBO	1200	640		400
DQO	-	-	-	-
COT	-	-	-	-
Sólidos en Suspensión	700	300	0	100
Sólidos disueltos	-	200	-	1900
N total	0	3	0	0
P total	0	-	0	0
Ph	-	7	04-10t	10
Cobre	0.29	0.09	6	0.31
Cadmio	0.006	0.011	1	0.03
Cromo	0.15	0.15	11	0.82
Niquel	0.11	0.07	12	0.25
Plomo	-	-	-	-
Zinc	1.08	0.43	9	0.47

Fuente: Glynn, 2010

Características físicas

La característica física más importante del agua residual es su contenido de sólidos totales, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características físicas son la temperatura, el color y el olor. (Villacrez, 2013)

Temperatura

La temperatura de las aguas residual suele ser mayor que la del agua para abastecimiento, debido principalmente a las descargas de agua caliente provenientes del uso doméstico y la industria. La medición de este parámetro físico es de suma importancia ya que los principales procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales dependen de la temperatura, ésta afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción. La temperatura de las aguas residuales varía en función de la estación del año y de la posición geográfica. En regiones frías la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones cálidas se encuentra entre 13 y 30°C. (Villacrez, 2013)

Color

Los principales motivos que dan color al agua residual son los sólidos suspendidos, la materia coloidal y las sustancias en solución. En general, el color es un buen parámetro para estimar la condición de las aguas residuales. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que llevan poco tiempo en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias. Dicho oscurecimiento ocurre con frecuencia debido a la formación de sulfuros, en particular sulfuro ferroso. (Villacrez, 2013)

Olor

El olor característico de las aguas residuales frescas es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados durante el proceso de degradación biológica bajo condiciones anaerobias. Debido al interés de la opinión pública, se exige un cuidado especial en el diseño de instalaciones de tratamiento de aguas residuales a fin de evitar condiciones que generan la aparición de malos olores. (Villacrez, 2013)

Sólidos en todas sus formas

Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

Sólidos suspendidos: son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos. Dentro de los sólidos suspendidos se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos sedimentables, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación. (Villacrez, 2013)

Sólidos filtrables: esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10^{-3} y 1 micra. Esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua. Por lo general, se requiere una coagulación seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión. (Villacrez, 2013)

Características químicas

Materia Orgánica.

La materia orgánica está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas. (Da Silva, 2013)

La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua residual. En razón de la rapidez con que se descompone, la urea es raramente hallada en un agua residual que no sea muy reciente. El agua residual contiene también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas como agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura. (Da Silva, 2013)

Materia inorgánica

Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas,

lodos, arenas y gravas no biodegradables. (Da Silva, 2013)

Gases

Las aguas residuales contienen diversos gases con diferente concentración. Oxígeno disuelto: es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual evita la formación de olores desagradables. La cantidad de oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc. (Da Silva, 2013)

Ácido sulfhídrico

Se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Su presencia, que se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución y estado de un agua residual. (Da Silva, 2013)

Anhídrido carbónico

Se produce en la fermentación de los compuestos orgánicos de las aguas residuales negras.

Metano

Se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica por la reducción bacteriana del CO₂.

Otros gases: se producen además gases malolientes, como ácidos grasos volátiles y otros derivados del nitrógeno. (Da Silva, 2013)

Características Biológicas

Estas características están definidas por la clase de microorganismos presentes en el agua, entre los cuales tenemos:

Bacterias

Juegan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Pueden clasificarse, en base a su metabolismo, en heterótrofas y autótrofas. Las bacterias autótrofas son aquellas que se nutren de compuestos inorgánicos, tomando la energía necesaria para sus biosíntesis a partir de la luz (bacterias fotosintéticas: familia Thiorethodaceae, Chlorobiaceae) o a partir de ciertas reacciones químicas (bacterias quimiosintéticas: Nitrobacter, Nitrosomonas, Hydrogenomonas, Thiotrix). En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterótrofas constituyen el grupo más importante, por su necesidad de

compuestos orgánicos para el carbono celular.

Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse, a su vez, en anaerobias, aerobias, o facultativas, según su necesidad de oxígeno. (Villacrez, 2013)

Bacterias anaerobias: son las que consumen oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos y la presencia de oxígeno disuelto no les permite subsistir. Los procesos que provocan son anaerobios, caracterizados por la presencia de malos olores.

Bacterias aerobias: son aquellas que necesitan oxígeno procedente del agua para su alimento y respiración. El oxígeno disuelto que les sirve de sustento es el oxígeno libre (molecular) del agua, y las descomposiciones y degradaciones que provocan sobre la materia orgánica son procesos aerobios, caracterizados por la ausencia de malos olores. (Villacrez, 2013)

Bacterias facultativas: algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias a aguas con oxígeno disuelto.

Bacterias coliformes: bacterias que sirven como indicadores de contaminantes y patógenos. Son usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres

humanos y otros animales de sangre caliente. Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. (Villacrez, 2013)

Algas

En los estanques de estabilización, son un valioso elemento porque producen oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis. Las algas, al igual que sucede con otros microorganismos, requieren compuestos inorgánicos para reproducirse. A parte del anhídrido carbónico, los principales nutrientes necesarios son el nitrógeno y el fósforo. También son muy importantes vestigios de otros elementos (oligoelementos) como hierro, cobre, etc. Las algas pueden presentar el inconveniente de reproducirse rápidamente, debido al enriquecimiento del agua (eutrofización) y crear grandes colonias flotantes originando problemas a las instalaciones y al equilibrio del sistema. (Villacrez, 2013)

Los tipos más importantes de algas de agua dulce son: verdes (*Chlorophyta*), verdes móviles (*Volvocales euglenophyta*), verdiamarillas o marrón dorado (*Chrysophyta*) y verdiazules (*Cyanophyta*). (Villacrez, 2013)

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente los materiales orgánicos presentes en una muestra de agua. Esta oxidación degrada el material orgánico biodegradable y no biodegradable. (Villacrez, 2013)

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO5). (Villacrez, 2013)

Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica biodegradable. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad de agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica. (Villacrez, 2013)

2.3.3. Filtración

A pesar de que la filtración es una de las principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua residual, la filtración de efluentes procedentes de procesos

de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Hoy día, la filtración se emplea de modo generalizado para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos y también se emplea para la eliminación del fosforo precipitado por vía química. (Cáceres, 2010)

El diseño de los filtros y la valoración de su eficacia debe basarse en:

1. la comprensión de las variables que controlan el proceso.
2. el conocimiento del mecanismo o mecanismos responsables de la eliminación de la materia particulada del agua residual.

a. Clasificación de los sistemas de filtración

Se ha proyectado y construido diversos modelos y sistemas de funcionamiento de filtros. Los principales tipos de medio granular se clasifican atendiendo a:

1. tipo de funcionamiento,
2. tipo de medio filtrante empleado,
3. sentido de flujo durante la fase de filtración,
4. procedimiento de lavado a contracorriente, y
5. método de control de flujo

Según el tipo de funcionamiento, los filtros se pueden clasificar en continuos y semicontinuos; estos se mantienen en funcionamiento hasta que se empieza a deteriorar la calidad del efluente, o hasta que se produce una pérdida de carga excesiva en el filtro. Cuando se alcanza ese punto se detiene el filtro y se procede a su lavado para eliminar los sólidos acumulados. En los filtros continuos, los procesos de filtración y lavado se llevan a cabo de manera simultánea. (Cáceres, 2010)

Con respecto a la presión actuante en la filtración, tanto la fuerza de la gravedad, como la creada por una presión aplicada, se pueden emplear para vencer la resistencia por fricción creada por el flujo que circula a través del lecho filtrante. Los filtros a presión suelen funcionar con mayores pérdidas de carga máximas admisibles, lo cual conduce a ciclos de filtración más largos y a menos necesidades de lavado. (Cáceres, 2010)

Los principales métodos usados para el control de flujo que pasa a través de los filtros de gravedad se pueden clasificar en: filtración a caudal constante, y filtración a caudal variable decreciente.

b. Análisis general de la operación de filtración

La caracterización matemática de la eliminación de partículas en el interior de un filtro se basa en la

consideración de la ecuación de continuidad junto con una ecuación de velocidad auxiliar.

c. Filtros percoladores

El primer filtro percolador se puso en funcionamiento en Inglaterra en 1893. El concepto de filtro percolador nació del uso de los filtros de contacto, que eran estanques impermeables rellenos con piedra triturada. (Cáceres, 2010)

Los filtros percoladores han sido utilizados para el tratamiento biológico del agua residual durante casi 100 años. Los filtros percoladores modernos están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual. En los siguientes apartados se discute la clasificación de los diferentes tipos de filtros, el proyecto de las instalaciones y el diseño del proceso de los filtros percoladores. (Cáceres, 2010)

Descripción del proceso

El filtro percolador moderno consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual, fenómeno del que recibe el nombre el proceso. El medio filtrante suele estar formado por piedras, o diferentes materiales plásticos de relleno. (Cáceres, 2010)

Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hallen separados del medio. Este sistema de drenaje inferior es importante, tanto como instalación de recogida como por su estructura discontinua a través de la cual puede circular el aire. (Cáceres, 2010)

Clasificación de los filtros percoladores

Los filtros percoladores se clasifican por las cargas orgánicas o hidráulicas aplicadas. Las categorías en las que se dividen son de carga baja o normal, de carga media, de alta o muy alta carga y de desbaste. A menudo, se emplean sistemas de filtros de dos etapas en los que se conectan en serie dos filtros percoladores. El intervalo habitual de cargas y las características operacionales de los diferentes tipos de filtros se indican en el cuadro 2.3. (Metcalf y Eddy, 1997)

Filtros de baja carga

Un filtro de baja carga es un dispositivo relativamente sencillo y de gran fiabilidad, que produce una calidad estable del efluente con independencia de la naturaleza cambiante del efluente. Los filtros pueden ser circulares o rectangulares. Generalmente, se mantiene una carga hidráulica constante, no por recirculación, sino por medio de bombas con control del nivel de succión o con sifones

dosificadores. Los tanques dosificadores son de pequeño tamaño, generalmente con un tiempo de detención de tan solo 2 minutos para el caudal doble del de proyecto, de tal modo que se minimice la intermitencia de la dosificación. Aun así, en plantas de pequeña dimensiones, el escaso caudal nocturno puede dar lugar a dosificaciones intermitentes, hecho que puede hacer necesario recircular caudales para mantener la humedad del medio. Si el tiempo entre dosificaciones es superior a 1 o 2 horas, se reduce la eficiencia del proceso debido a que el descenso de la humedad afecta a la película biológica. (Metcalf y Eddy, 1997)

En la mayoría de los filtros de baja carga, solo los niveles superiores del mismo (0,6 a 1,2 m) presentan un desarrollo elevado de película biológica. Como consecuencia de ellos, en las zonas inferiores pueden proliferar bacterias nitrificantes autótrofas que oxidan el nitrógeno amoniacal para transformarlo en nitritos y nitratos. Si la población nitrificante está suficientemente desarrollada, y si las condiciones climáticas y las características del agua residual son las adecuadas, los filtros de baja carga bien operados pueden producir un efluente con un elevado nivel de eliminación de DBO y altamente nitrificado. (Metcalf y Eddy, 1997)

Si se dispone de una línea piezométrica favorable, una ventaja de los filtros percoladores reside en el hecho de que el flujo se puede mantener por gravedad. Si el terreno

es demasiado llano para ello, puede ser necesario bombear el agua. El desprendimiento de olores es un problema habitual en los filtros percoladores, especialmente si el agua residual es séptica o si el clima es caluroso. Los filtros no se deben ubicar en lugares en los que el desprendimiento de olores pueda representar un inconveniente. A no ser que se adopten medidas adecuadas, en los filtros pueden aparecer poblaciones de moscas (*psychoda*). (Metcalf y Eddy, 1997)

Cuadro 2.3.

Información típica de diseño para filtros percoladores

Elemento	Baja carga	Carga intermedia	Carga alta	Muy alta carga	De desbaste	Doble etapa
Medio filtrante	Piedra, escoria	Piedra, escoria	Piedra	Piedra	Piedra, madera	Roca, plástico
Carga Hidráulica m ³ / m ² x día	1,20 – 1,50	3,50 – 9,40	9,40 – 37,55	11,70 – 70,4	47,8 -188	9,4–37,55
Carga Orgánica, kg DBO/m ³ x día	0,08 – 0,40	0,25 – 0,50	0,50 - 0,95	0,48-1,6	1,6-8,0	0,95-1,80
Profundidad, m	1,80 - 2,40	1,80 - 2,40	0,9 - 1,80			
Relación de recirculación	0	0 – 1	1 - 2	1 - 2	1 - 4	0,5 – 2,0
Moscas en el filtro	Abundantes	Algunas	Escasas	Escasas o ninguna	Escasas o ninguna	Escasas o ninguna
Arrastres de solidos	Intermitente	Intermitente	Continua	Continua	Continua	Continua
Eficiencia de la eliminación de DBO, %	8 – 90	50 – 70	65 - 85	65 - 80	40 - 65	85 – 95

Efluente	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Escasamente nitrificado	Escasamente nitrificado	No nitrificado	Bien Nitrificado
-----------------	------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------	----------------	------------------

Fuente: Ingeniería de Agua Residuales

Filtros de media y alta carga

En los filtros de carga media y alta, la recirculación del efluente del filtro o del efluente final permite la utilización de cargas orgánicas más elevadas. En el cuadro 2.3 se muestran los diagramas de flujo de diversos sistemas de carga media y alta carga. Los filtros de carga media son similares a los filtros de baja carga, y puede ser circular o rectangular. El flujo de caudal al filtro suele ser continuo, a pesar de que se considera aceptable el riego intermitente del medio filtrante. (Metcalf y Eddy, 1997)

Los filtros de alta carga se proyectan para cargas notablemente superiores a las correspondientes a filtros de baja carga. La recirculación del efluente del clarificador del filtro permite conseguir rendimientos de eliminación parecidos a los de los filtros de baja carga y de carga media. La recirculación a través del filtro del efluente del filtro da lugar al retorno de organismos viables y, a menudo, mejora la eficiencia del tratamiento. La recirculación también ayuda a prevenir el encharcamiento del filtro y reducir los problemas de olores y de proliferación de moscas. Los filtros de alta carga suelen utilizar medios constituidos por piedras o materiales

plásticos. Estos filtros suelen ser circulares, y funcionan con caudal continuo. (Metcalf y Eddy, 1997)

Filtros de muy alta carga

Los filtros de muy alta carga trabajan a altas cargas hidráulicas y orgánicas. Las principales diferencias entre los filtros de muy alta carga y los filtros de alta carga radican en las mayores cargas hidráulicas y la mayor profundidad. El aumento de la profundidad se hace posible por el empleo de medio más ligeros. La mayoría de estos filtros se constituyen en forma de torres. (Metcalf y Eddy, 1997)

Filtros de desbaste.

Los filtros de desbaste son filtros de alta carga que se proyectan para trabajar con cargas orgánicas superiores a $1,6 \text{ kg/m}^3 \times \text{día}$ y cargas hidráulicas superiores a $187 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$. En la mayoría de los casos, estos filtros se utilizan como pretratamiento del agua residual antes del tratamiento secundario. El proyecto de la mayoría de filtros de contacto contempla el uso de medios de plásticos. (Metcalf y Eddy, 1997)

Filtros de dos etapas

En el tratamiento de aguas residuales muy concentradas se suele utilizar un sistema de dos filtros en serie con un decantador intermedio para la eliminación de los sólidos generados en el primer filtro. El filtro de la primera etapa y

el clarificador reducen la DBO carbonosa, y en la segunda etapa se produce la nitrificación. (Metcalf y Eddy, 1997)

d. Balance de masas

Atkinson y sus colaboradores han propuesto el modelo para describir la tasa de flujo de materia orgánica hacia la película biológica, suponiendo que la difusión en la misma es el factor que controla la velocidad de reacción, y suponiendo, también, que no existe gradiente de concentración alguno a lo largo de la película líquida. (Metcalf y Eddy, 1997)

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Utilización}$$

2.3.4. Fluidos a través de lechos porosos

El flujo de fluidos a través de lechos de partículas sólidas aparece en numerosos procesos técnicos. Así, en operaciones de filtración y flujo a través de columnas de relleno, utilizadas en operaciones de destilación, absorción, adsorción e intercambio iónico, se presentan ejemplos de este tipo de circulación. En el caso de la filtración, las partículas sólidas se depositan en un medio filtrante, y el fluido pasa a través de la masa filtrante depositada. En otros procesos, como la adsorción, intercambio iónico y otros, el fluido se mueve a través de un lecho de partículas sólidas, que no suelen cambiar sus características. En este capítulo,

se presenta el estudio del flujo de una sola fase fluida a través de una columna de partículas sólidas estacionarias. Un lecho de partículas se considera estacionario cuando todas sus características no varían. (Ibartz, 2008)

a. Definiciones Previas

Los lechos porosos están constituidos por un conjunto de partículas sólidas, dispuestas generalmente al azar. Para la caracterización de la estructura de dichos lechos se deben definir una serie de variables, utilizadas en el estudio de la circulación de los fluidos a través de estos lechos.

Superficie específica.- También denominada área superficial específica, puede ser referida a todo el lecho o a la partícula. Para el lecho (a_s) se define como el área de la superficie de lecho presentada al fluido por unidad de volumen del lecho. (Ibartz, 2008)

$$a_s = \frac{\text{Área presentada al fluido}}{\text{Volumen del lecho}} \quad \text{expresada en m}^{-1}$$

De modo análogo se puede definir el área superficial específica de las partículas (a_{s0}) como la relación entre el área de su superficie y su volumen.

$$a_{s0} = \frac{\text{Área de partícula}}{\text{Volumen de partícula}} \quad \text{expresada en m}^{-1}$$

En el caso de una partícula esférica de diámetro d_r , la superficie específica de partícula es $a_{S0} = 6/d_r$.

Cuando las partículas no son esféricas, se define un diámetro equivalente de partícula (d_p), como aquel diámetro que poseería una esfera cuya relación área superficial a su volumen fuese la misma que la que posee la partícula. Este diámetro equivalente está relacionado con d_r mediante un factor Γ , de tal forma que:

$$d_p = \Gamma d_r$$

en la que Γ es el denominado **factor de forma** o **esfericidad**, cuyo valor depende de la forma de la partícula. Para el caso de partículas esféricas este factor de forma es la unidad; sin embargo, para partículas diferentes este valor es menor que la unidad. (Ibartz, 2008)

Además, el diámetro equivalente de la partícula se relaciona con su superficie específica según la expresión:

$$d_p = \frac{6 \Gamma}{a_{S0}}$$

Porosidad.- El lecho de partículas no es compacto, sino que existen zonas libres de partículas, definiéndose la porosidad del lecho o fracción de huecos (ε) como el volumen del lecho no ocupado por el material sólido.

Debido a la porosidad del lecho, la superficie específica del lecho y de partícula no coinciden, sino que están relacionadas según la ecuación:

$$a_S = a_{S0}(1 - \varepsilon) \quad (2.1)$$

Es fácil observar que cuando la porosidad aumenta, el flujo a través del lecho es mucho mejor, con lo que la permeabilidad aumenta. (Ibartz, 2008)

Cuadro 2.4

Esfericidad de partículas

Forma de la partícula	Esfericidad
Esfera	1
Cubo	0,81
Cilindros	
$h = d$	0,87
$h = 5d$	0,70
$h = 10d$	0,58
Discos	
$h = d/3$	0,76
$h = d/6$	0,60
$h = d/10$	0,47
Arena de playa	Tan alta como
0,86	
Arena de río	Tan baja como 0,53
Distintos tipos de arena	0,75
Sólidos triturados	0,5 - 0,7
Partículas granulares	0,7 - 0,8
Trigo	0,85
Anillos Raschig	0,26 - 0,53
Sillas Berl	0,30 - 0,37

Fuente: Levenspiel (1993)

Para poder continuar estudiando las características del lecho, se va suponer que está compuesto por partículas dispuestas al azar, de forma que en el interior del lecho se forman unos canales por los que circulará el fluido. Se supone que la longitud de estos canales (L') es la misma para todos ellos, poseyendo el mismo diámetro equivalente (D_e). Todas las partículas están contenidas en una columna cilíndrica de diámetro D y cuya altura de lecho es L .

A continuación se presentan una serie de variables, que se utilizarán para relacionar las diferentes características del lecho. (Ibartz, 2008)

- Número canales por m^2 de sección transversal de lecho: n'

- Número total de canales del lecho:

$$n = n' \frac{\pi}{4} D^2$$

- Área interfacial de 1 canal: $\pi D_e L'$
- Área interfacial del lecho:

$$\left(n' \frac{\pi}{4} D^2 \right) (\pi D_e L')$$

- Volumen del lecho:

$$V_L = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

- Volumen de lecho ocupado por las partículas:

$$V_L(1 - \varepsilon)$$

A partir de estas definiciones, es posible encontrar los valores de las superficies específicas:

$$a_{s0} = \frac{\left(n' \frac{\pi}{4} D^2\right) (\pi D_e L')}{\frac{\pi}{4} D^2 L (1-\varepsilon)} = \frac{n' L' \pi D_e}{L (1 - \varepsilon)} \quad (2.2)$$

$$a_s = \frac{\left(n' \frac{\pi}{4} D^2\right) (\pi D_e L')}{\frac{\pi}{4} D^2 L} = \frac{n' L' \pi D_e}{L} \quad (2.3)$$

Por lo que es fácil correlacionar la superficie específica del lecho y de la partícula:

$$a_s = a_{s0} \cdot (1 - \varepsilon)$$

Es posible definir el diámetro equivalente de un canal como cuatro veces el radio hidráulico, siendo éste la relación entre el área de la sección de paso del canal y su perímetro mojado. (Ibartz, 2008)

$$D_e = 4R_H = 4 \frac{\text{Área de paso}}{\text{Perímetro mojado}}$$

$$D_e = 4 \frac{(\text{Área de paso}) L' n}{(\text{Perímetro mojado}) L' n} = \frac{4 (\text{Volumen de un canal}) n}{(\text{Área interfacial de un canal}) n}$$

$$D_e = 4 \frac{\text{Volumen de huecos}}{\text{Área interfacial total}} = \frac{4 \frac{\pi}{4} D^2 L \varepsilon}{\frac{\pi}{4} D^2 L a_s}$$

De esta forma, el diámetro equivalente de un canal será función de la fracción de huecos y de las superficies específicas, expresándose como:

$$D_e = \frac{4 \varepsilon}{a_s} = \frac{4 \varepsilon}{a_{s0}(1 - \varepsilon)} \quad (2.4)$$

Para futuras aplicaciones, es imprescindible correlacionar la velocidad de circulación del fluido a través de un canal (v_C) con la correspondiente al flujo a través de la columna libre de partículas (v). Para ello, se aplicará la ecuación de continuidad: $\rho \cdot S \cdot v = \rho \cdot S_C \cdot v_C$

en la que ρ es la densidad del fluido, S y S_C son las secciones de paso de la columna libre de partículas y para el conjunto total de canales, respectivamente. (Ibartz, 2008)

- Sección de paso de la columna: $S = \frac{\pi}{4} D^2$

- Sección de paso de los canales: Será la suma de las secciones de paso de todos los canales, que como se han supuesto idénticos, se obtendrá multiplicando el número de canales por la sección de paso de un canal. (Ibartz, 2008)

$$S_C = n \frac{\pi}{4} D_e^2 = n' \frac{\pi}{4} D^2 \frac{\pi}{4} D_e^2$$

Al introducir estas expresiones, de S y S_C , en la ecuación de continuidad, es posible despejar la velocidad de circulación a través de un canal en función de la global, obteniendo la

expresión:
$$v_C = \frac{4v}{n\pi D_e}$$

Pero si se tienen en cuenta las ecuaciones 2.2 y 2.4, es posible despejar de la 2.2 el número de canales y de la 2.4 el diámetro equivalente del canal, que al sustituirlas en esta última expresión se obtiene:

$$v_C = v \frac{L'}{L\varepsilon} \quad (2.5)$$

expresión en que la velocidad de un canal es función de la global, y de las longitudes del lecho y del canal, así como de la porosidad. (Ibartz, 2008)

b. Ecuaciones para el flujo a través de lechos porosos

En el estudio de la circulación de fluidos a través de lechos porosos es de suma importancia el cálculo de la caída de presión que el fluido experimenta al atravesar dicho lecho de partículas. Esta pérdida de presión dependerá del régimen con el que circula el fluido, obteniéndose diferentes ecuaciones según sea el régimen laminar o turbulento. (Ibartz, 2008)

Global Laminar-Turbulento. Ecuaciones de Ergun y Chilton-Colburn

Hasta ahora se han obtenido ecuaciones para la circulación en régimen laminar y turbulento, por separado. Por tanto, sería conveniente obtener una sola ecuación que se pudiera utilizar para los dos tipos de regímenes de circulación a la vez. Observando las ecuaciones de Kozeny-Carman y de Burke-Plummer, puede pensarse que la pérdida de presión por unidad de longitud del lecho será una expresión del tipo:

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = a v + b v^2$$

o bien una combinación lineal de dichas ecuaciones:

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = \alpha' \frac{36 K'' (1 - \varepsilon)^3}{\varepsilon^3 d_p^2} v + \beta' \frac{3 f' (1 - \varepsilon) \rho}{\varepsilon^3 d_p} v^2 \quad (2.6)$$

Para la obtención de las distintas constantes (α' y β') que aparecen en esta ecuación se recurre a datos obtenidos por experimentación, ajustándolos a ella. (Ibartz, 2008)

En la circulación de fluidos por el exterior de sólidos, no sólo se utiliza el módulo de Reynolds para un canal, sino que en algunos casos se suele modificar, o bien se utiliza el módulo de Reynolds de partícula. A continuación se dan las expresiones para cada uno de ellos:

- Reynolds para 1 canal:

$$\text{Re} = \frac{\rho v_C D_e}{\eta} = \frac{4\rho vL'}{a_{S0}(1-\varepsilon)\eta L}$$

- Reynolds modificado:

$$\text{Re}' = \frac{\rho v}{a_{S0}(1-\varepsilon)\eta}$$

- Reynolds de partícula:

- $\text{Re}_p = \frac{\rho v d_p}{\eta}$

Cuando el valor del módulo de Reynolds de partícula es menor de 40 ($\text{Re}_p < 40$) el régimen de circulación se considera laminar, mientras que para valores superiores ($\text{Re}_p > 40$) el régimen se considera turbulento. (Ibartz, 2008)

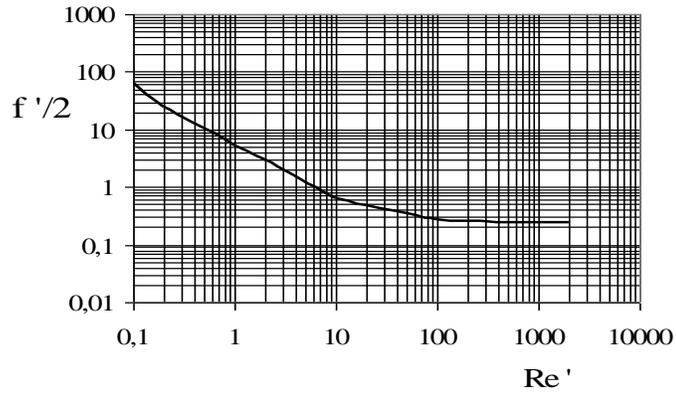
$$3f = \frac{(-\Delta P) d_p \varepsilon^3}{L(1-\varepsilon)\rho v^2} \quad (2.7)$$

Este factor de fricción suele obtenerse a partir de gráficas, en las que $3f$ se representa frente a $\text{Re}_p/(1-\varepsilon)$, También puede obtenerse en otro tipo de gráfica, en la que $f/2$ se representa frente al módulo de Reynolds modificado (Re').

A partir de una serie de datos experimentales, de valores del factor de fricción modificado $3f$, calculados a partir de la ecuación 2.7, se obtienen los valores correspondientes de sus Reynolds de partícula. Se busca una función que correlacione $3f$ con Re_p :

$$3f = \phi(\text{Re}_p)$$

Del ajuste de los datos experimentales la ecuación obtenida es la siguiente:



$$3f' = \frac{150(1 - \varepsilon)}{Re_p} + 1,75$$

FIGURA 2.2

Factor de fricción modificado ($3f'$) en función del módulo de Reynolds de partícula (Re_p) (Adaptado de Foust et al., 1980)

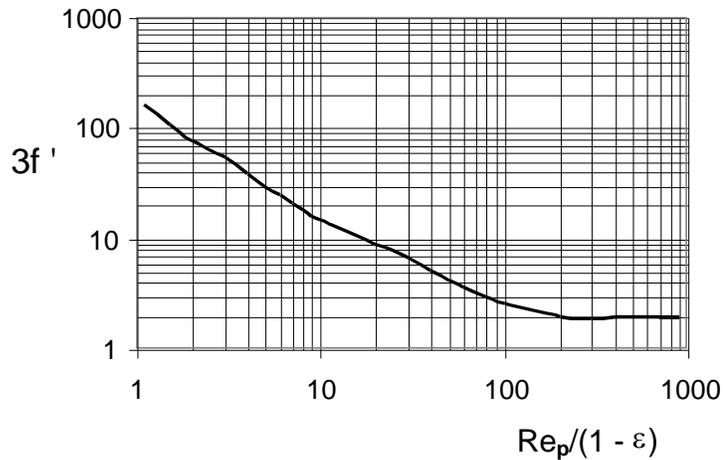


FIGURA 2.3.

Factor de fricción modificado (f') en función del módulo de Reynolds modificado (Re') (Adaptado de Coulson y Richardson, 1981)

Si en esta ecuación se sustituyen los valores de $3f'$, dados por la ecuación 2.7., y el correspondiente al módulo de Reynolds de partícula, se obtiene la expresión:

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2 \eta}{\varepsilon^3 d_p^2} v + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon) \rho}{\varepsilon^3 d_p} v^2 \quad (2.8)$$

Esta última expresión se denomina ecuación de Ergun, y puede utilizarse para el cálculo de la pérdida de presión que experimenta el fluido al atravesar un lecho relleno, independientemente de cual sea el tipo de régimen de circulación. (Ibartz, 2008)

Al comparar las ecuaciones 2.6 y 2.8, fácilmente se observa que:

$$36 K' \square \square' = 150$$

$$3f' \beta' = 1,75$$

Cuando en una columna rellena de partículas circulan en contracorriente un gas con un líquido, es conveniente utilizar la denominada ecuación de Chilton-Colburn, que es una ecuación empírica basada en la de Fanning:

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = 2 f' \frac{\rho v^2}{d_p} \quad (2.9)$$

El factor de fricción modificado f' puede calcularse a partir de las Figuras 2.3 ó 2.4, o bien pueden utilizarse las siguientes expresiones:

- Para régimen laminar ($Re_p < 40$): $f' = 850/Re_p$
- Para régimen turbulento ($Re_p > 40$):

$$f' = \frac{38}{(Re_p)^{0.15}}$$

La ecuación de Chilton-Colburn se puede utilizar cuando el lecho está formado por partículas macizas, pero cuando las partículas son huecas, debe multiplicarse el segundo miembro de la ecuación por un factor K_r , que viene dado por la ecuación:

$$K_r = \frac{0,24}{(d_p)^{1/2}}$$

en la que d_p es el diámetro nominal de las partículas expresado en pulgadas.

Los huecos creados en las inmediaciones de la pared también pueden afectar al cálculo de la caída de presión, siendo necesario introducir un nuevo factor de corrección de pared K_p , que depende del régimen de circulación y de la relación diámetro partícula a diámetro del lecho (d_p/D). En el caso que esta relación sea menor de 1/6 no se considera el efecto de pared. Para el cálculo de este nuevo factor K_p se utiliza la Figura 9.3, en la que K_p se halla representado frente

a la relación d_p/D ; existiendo dos curvas, una para régimen laminar y otra para turbulento. (Ibartz, 2008)

Por tanto, en general, la caída real que experimentará el fluido se obtendrá multiplicando la caída de presión calculada a partir de la ecuación de Chilton-Colburn por estos dos factores; es decir:

$$(-\Delta P)_{\text{Real}} = K_r K_p (-\Delta P)_{\text{Teórico}}$$

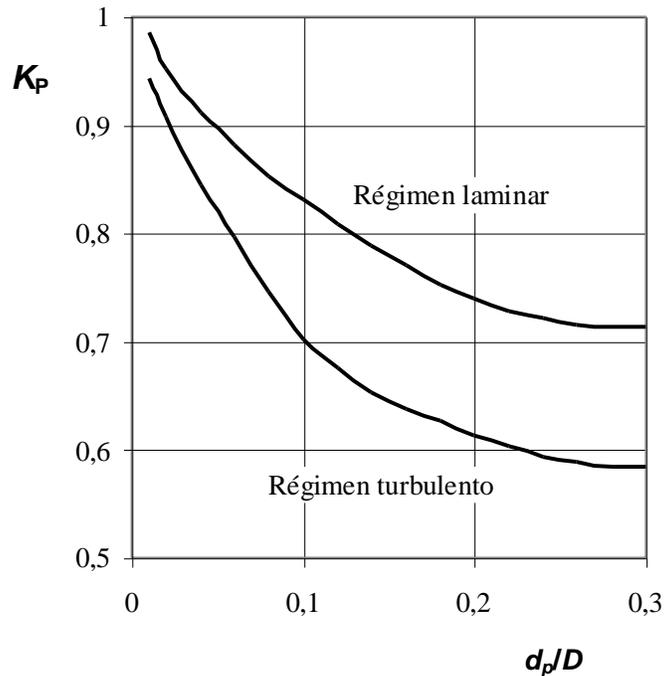


FIGURA 2.4

Factor de corrección del efecto de pared (K_p) en función de la relación diámetro partícula/diámetro de columna (d_p/D) (Adaptado de Sawistowski y Smith, 1967)

c. Lechos de Partículas:

El denominado lecho poroso es una serie de capas formadas por partículas sólidas de un material natural (arena, piedra,) o sintético (plástico, cerámicas) con un determinado diámetro \emptyset y tamaño. Según sus funciones, el lecho puede estar consolidado o no. (Ibartz, 2008)

Casos de este tipo de flujo se presentan en la filtración de gases y líquidos en las columnas de relleno, que se emplean en procesos de difusión, en reactores catalíticos y en industrias relacionadas con la fabricación de materiales porosos (cerámicas, textiles, caucho, etc.).

La transferencia de la cantidad de movimiento del fluido a las partículas sólidas y por consiguiente la caída de presión para el flujo a través del lecho, se relaciona con el mecanismo físico que origina el flujo. En el caso de columnas de relleno (absorción, destilación, etc.) el flujo de fluidos a través de los canales que se forman, paralelos entre sí, el fluido se ve repetidamente acelerado y desacelerado experimentando pérdidas de **Ec**, dándole al flujo naturaleza turbulenta, produciendo además pérdidas por fricción de forma y superficie. (Ibartz, 2008)

d. LEY DE DARCY. PERMEABILIDAD

Después de una serie de experimentos Darcy demostró que la velocidad media, en una sección del lecho, era directamente proporcional a la caída de presión que experimenta el fluido al atravesar dicho lecho, e inversamente proporcional al espesor del mismo:

$$v = K \frac{(-\Delta P)}{L} \quad (2.10)$$

en la que :

$(-\Delta P)$ = Caída de presión a través del lecho

L = Espesor o altura del lecho

K = Constante de proporcionalidad

La constante K depende de las propiedades físicas del lecho y del fluido que circula a través del lecho.

Esta ecuación indica que la relación entre la velocidad de circulación del fluido y la caída de presión que experimenta es lineal, lo que hace suponer que el régimen de circulación es laminar. Esto es así, ya que la velocidad a través de los intersticios del lecho granular es baja, y además, la sección de cada uno de

ellos es pequeña; por lo que el valor del módulo de Reynolds no es elevado. (Ibartz, 2008)

Todo ello, presupone que la resistencia que ofrece el lecho al flujo del fluido es debida principalmente a rozamientos viscosos. Por lo que la ecuación anterior se suele expresar de la forma:

$$v = \frac{1}{\alpha} \frac{(-\Delta P)}{\eta L} \quad (2.11)$$

en la que η es la viscosidad del fluido, mientras que la constante $1/\alpha$ recibe el nombre de coeficiente de permeabilidad.

La unidad de la permeabilidad es el "*Darcy*", que se define como la permeabilidad de un medio poroso al flujo viscoso para el paso de $1 \text{ ml}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2)$ de un líquido con una viscosidad de 1 centiPoise, bajo una caída de presión de $1 \text{ atm}/\text{cm}$. (Ibartz, 2008)

e. ALTURA DEL LECHO

Evidentemente, al aumentar la velocidad de circulación del fluido a través del lecho poroso, no sólo aumenta la caída de presión, sino que el aumento de la porosidad es debido a que la altura del lecho también aumenta. Este aumento de altura de lecho está íntimamente ligado al aumento de porosidad, de

forma que las porosidades correspondientes a dos alturas cualesquiera están relacionadas por la expresión:

$$L_1 (1 - \varepsilon_1) = L_2 (1 - \varepsilon_2) \quad (2.12)$$

De forma particular, si para el lecho fijo le corresponde una porosidad e_0 y una altura de lecho L_0 , la altura y porosidad para otro instante están relacionadas con éste por la ecuación:

$$L (1 - \varepsilon) = L_0 (1 - \varepsilon_0)$$

Si el lecho fuese compacto, las partículas ocuparían todo el lecho y no existirían huecos, por lo que la expresión que correlaciona las alturas se simplificaría:

$$L (1 - \varepsilon) = L_C$$

en la que L_C es la altura del lecho compacto. (Ibartz, 2008)

2.3.5. Marco Legal

El marco jurídico nacional cuenta con numerosas disposiciones o reglamentos de relevancia ambiental. En este sentido, la constitución de la Republica otorga a las personas “el derecho de vivir en un ambiente libre de contaminación” e impone al Estado el deber de velar por la perseverancia de la naturaleza. Dentro de este contexto jurídico, a través de sus atribuciones y deberes, el estado ha implementado normativas referidas a la contaminación de las

aguas.

La finalidad de las normas es intervenir para evitar la contaminación, estas normas son ambientales creadas con el fin de establecer límites e elementos que produzcan daño a personas y a ambiente. Son disposiciones legales, herramientas de gestiones ambientales que implantan niveles de tolerancia para sustancias contaminantes, sin que corra peligro el ser humano ni el medio ambiente.

La política nacional del ambiente según Decreto Supremo N° 002 – MINAM – 2008, publicada en el Diario Oficial el Peruano el 31 de Julio de 2008 – Estándares nacionales para la calidad ambiental del agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de los animales

Cuadro 2.5

Parámetros para riego de vegetales de tallo alto y bajo

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
FISICOQUIMICOS		
Bicarbonato	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonato	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	Us/cm	<2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos .p	mg/L	1
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10
Nitratos (NO2-N)	mg/L	0.06
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥4

Ph	Unidad ph	6.5-8.5
Sodio	mg/L	200
Sulfato	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0.05
INORGANICOS		
Aluminio	mg/L	5
Arsenico	mg/L	0.05
Bario Total	mg/L	0.7
Boro	mg/L	0.5- 6
Cadmio	mg/L	0.005
Cianuro wad	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	0.05
Cobre	mg/L	0.2
Cromo (6+)	mg/L	0.1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Niquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05
Plomo	mg/L	0.05
Selerio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	2
ORGANICOS		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001
SAAM (detergentes	mg/L	1
PLAGUICIDAS		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrín (cas 309-00-2)	ug/L	0.004
Clordano (CAS 57 -74-9)	ug/L	0.3
DDT	ug/L	0.001
Dieldrín	ug/L	0.7
Endrín	ug/L	0.004

Fuente: MINAM

Cuadro 2.6

Parámetros para riego de vegetales de tallo alto y bajo

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0.02
Heptacloro (N CAS 76 – 44-8) y heptacloripoxido	ug/L	0.1
Lindano	ug/L	4
Paratón	ug/L	7.5

Fuente: MINAN

Cuadro 2.7

Parámetros para riego de vegetales

PARAMETROS	VEGETALES TALLO BAJO		VEGETALES TALLO ALTO
	Unidad	Valor	Valor
BIOLOGICOS			
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	2000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5000	5000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
E.Coli	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litros	<1	<1(1)
Salmonella sp.	-	Ausente	Ausente

Fuente: MINAN

Cuadro 2.8

Parámetros para bebidas de animales

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
FISICOQUIMICOS		
Conductividad Eléctrica	Us/cm	< = 5000

Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	< =15
Demanda Química de oxígeno	mg/L	40
Floruros	mg/L	2
Nitratos (NO3-N)	mg/L	50
Nitratos (NO2-N)	mg/L	1
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5
Ph	Unidad pH	6.5-8.5
Sulfato	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	0.05
INORGANICOS		
Aluminio	mg/L	5
Arsenico	mg/L	0.1
Berilio	mg/L	0.1
Boro	mg/L	5
Cadmio	mg/L	0.01
Cianuro wad	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	1
Cobre	mg/L	0.5
Cromo (6+)	mg/L	1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Niquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05
Plomo	mg/L	0.05
Selerio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	24
ORGANICOS		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001

SAAM (detergentes	mg/L	1
PLAGUICIDAS		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrín (cas 309-00-2)	ug/L	0.03
Clordano (CAS 57 -74-9)	ug/L	0.3
DDT	ug/L	1
Dieldrín	ug/L	0.7
Endrín	ug/L	0.02

Fuente: MINAM

Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

En julio del 2008 se aprobaron los ECA para agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los ECA son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural.

Los ECA para agua son referentes obligatorios:

En el diseño de las normas legales y las políticas públicas.

En el diseño y la aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, a partir de la vigencia del decreto supremo 023-2009-MINAM que aprueba las disposiciones para la implementación de los ECA para agua.

Para el otorgamiento de las autorizaciones de vertimientos, a partir del 1 de abril del 2010.

Posteriormente, el MINAM ha dictado las normas para la implementación de los ECA para agua, señalando que se deberán tener en consideración las siguientes precisiones sobre sus categorías:

Categoría 1. Poblacional y recreacional

Subcategoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable:

A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. Entiéndase como aquellas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. Entiéndase como aquellas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con tratamiento convencional, que puede estar conformado para los siguientes procesos: decantación, coagulación, floculación, sedimentación, y/o filtración, o métodos equivalentes; además de la desinfección de conformidad con lo señalado en la normativa vigente.

A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

Entiéndase como aquellas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano que incluya tratamiento físico y químico avanzado, como precloración, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o método equivalente; que sea establecido por el sector competente.

Subcategoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación:

B1. Contacto primario: aguas superficiales destinadas al uso recreativo de contacto primario por la autoridad de salud; incluyen actividades como natación, esquí acuático, buceo libre, surf, canotaje, navegación en tabla a vela, mota acuática, pesca submarina o similares.

B2. Contacto secundario: aguas superficiales destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la autoridad de salud, como deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

Categoría 2. Actividades marino-costeras

Subcategoría C1. Extracción y cultivo de moluscos bivalvos:

Entiéndase a las aguas donde se extraen o cultivan los moluscos bivalvos, definiéndose por moluscos bivalvos a los lamelibranquios que se alimentan por filtración, tales como ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones y similares; se incluyen a los gasterópodos (ej. caracol, lapa), equinodermos (estrella de mar) y tunicados.

Subcategoría C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas: Entiéndase a las aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto; comprende a los peces y las algas comestibles.

Subcategoría C3. Otras actividades: Entiéndase a las aguas destinadas para actividades diferentes a las precisadas en las

subcategorías C1 y C2, tales como tránsito comercial marítimo, infraestructura marina portuaria y de actividades industriales.

Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales

Vegetales de tallo bajo: Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo, que usualmente tienen un sistema radicular difuso o fibroso y poco profundo. Ejemplos: ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares.

Vegetales de tallo alto: Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, de porte arbustivo o arbóreo, que tienen una mayor longitud de tallo. Ejemplos: árboles forestales y árboles frutales, entre otros.

Bebida de animales: Entiéndase como aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, ovino, porcino, equino o camélido, y para animales menores, como ganado caprino, cuyes, aves y conejos.

Categoría 4. Conservación del ambiente acuático

Está referida a aquellos cuerpos de agua superficiales, cuyas características requieren ser preservadas por formar parte de ecosistemas frágiles o áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento.

Lagunas y lagos:

Comprenden todas las aguas que no presentan corriente continua; corresponde a aguas en estado léntico, incluidos los humedales.

Ríos:

Incluyen todas las aguas que se mueven continuamente en una misma dirección. Existe por consiguiente un movimiento definido y de avance irreversible; corresponde a aguas en estado lóxico.

Ríos de la costa y sierra Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes.

Ríos de la selva Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, en las zonas meándricas.

Ecosistemas marino-costeros:

Estuarios Entiéndase como zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos, hasta el límite superior del nivel de marea; incluye marismas y manglares.

Marinos Entiéndase como la zona del mar comprendida desde los 500 m de la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

En estas categorías no se encuentran comprendidas las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero-medicinal, las aguas geotermales, las aguas atmosféricas, y las aguas residuales tratadas para reuso.

Asimismo, a efectos de asignar la categoría a los cuerpos de agua respecto de su calidad, la ANA deberá considerar lo siguiente:

Utilizar las categorías establecidas en los ECA para agua vigentes.

En el caso de identificarse dos o más categorías que coexistan en una zona determinada de un mismo cuerpo de agua, la ANA definirá la categoría, priorizando la protección de la salud humana.

A aquellos cuerpos de agua a los que no se les ha asignado categoría de acuerdo a su calidad, se les dará transitoriamente la categoría del recurso hídrico al que tributan.

Para la implementación del ECA para agua deberá considerarse lo siguiente:

En aquellos cuerpos de agua considerados como zona intangible para vertimientos de efluentes, la ANA deberá adoptar las medidas de control y vigilancia necesarias para preservar o recuperar la calidad ambiental del agua, para lo cual deberá considerar el ECA para agua correspondiente a la categoría asignada al cuerpo de agua respectivo.

En aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la ANA deberá verificar el cumplimiento de los ECA para agua fuera de la zona de mezcla, considerando como referente la categoría asignada para el cuerpo de agua. La metodología y los aspectos para la definición de la zona de mezcla serán establecidos por la ANA en coordinación con el MINAM y con la participación de la autoridad ambiental del sector correspondiente.

Para la revisión de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, el MINAM establecerá los procesos, metodologías, lineamientos y planes necesarios, según corresponda, considerando las evidencias técnicas, los resultados de vigilancia, control y monitoreo de la calidad ambiental del agua, entre otros.

2.4. Definición de la terminología

Aguas residuales: son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales, por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. (PRECIADO Y ROJAS, 2010)

ANA: Autoridad Nacional del Agua (D.S.023-2009-MINAM)

Bacterias: Microorganismos unicelulares, generalmente de unos pocos micrones de longitud. (Da Silva, 2013)

Calidad del agua: Las características químicas, físicas y microbiológicas del agua. La calidad del agua que se va a emplear depende del uso que va a tener. (Preciado y Rojas, 2010)

ECA: Estándares de Calidad Ambiental (D.S.023-2009-MINAM)

Filtración: Proceso que consiste en dejar pasar el agua a través de materiales porosos, como por ejemplo arena, grava o tela, para retirar sólidos suspendidos o patógenos. Es el segundo paso del proceso de tratamiento de agua en hogares, que se hace después

de la sedimentación y antes de la desinfección. (Cáceres, 2010)

Implementación: El proceso de llevar a cabo un plan. La fase de implementación ocurre después de que se ha elaborado un plan. (Cáceres, 2010)

Materia Orgánica: compuesta por residuos, animales o vegetales. Se trata de sustancias que suelen encontrarse en el suelo y que contribuyen a su fertilidad. (Da Silva, 2013)

PH: Potencial de hidrogeno es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias. (Da Silva 2013)

Sólidos disueltos: Partículas pequeñas que están disueltas en el agua. No se pueden remover mediante sedimentación o filtración. (Cáceres, 2010)

Sólidos suspendidos: Partículas sólidas pequeñas que flotan en el agua, causando turbidez. Pueden retirarse mediante sedimentación o filtración. (Cáceres, 2010)

Turbidez: Fenómeno causado por sólidos suspendidos, como arena, limo o arcilla, que flotan en el agua. La turbidez es la cantidad de luz que se refleja desde estos sólidos suspendidos, que hace que el agua se vea turbia o sucia. La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (Da Silva, 2013)

CAPITULO III: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y Diseño de la Investigación

3.1.1. Tipo de la Investigación

Descriptivo – evaluativo, se describe, analiza e interpreta los resultados obtenidos al aplicar dos lechos filtrantes a base de mesocarpo de coco.

Para comprobar la hipótesis se utilizó el enfoque cuantitativo ya que fue necesaria la recolección de datos, la medición numérica y el análisis de los mismos para evaluar la DBO, SST, E.Coli, pH, Coliformes Totales y Termotolerantes

3.1.2. Diseño de la Investigación

Se utilizó un diseño Experimental para evaluar el efecto del lecho filtrante donde las variables a controlar fueron DBO, SST, PH, ColiformesTotales y Termotolerantes y E.Coli, para luego determinar las consecuencias de tal manipulación sobre las variables dependientes.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

Aguas residuales de la Empacadora de Banano Algarrobo 1 - Sullana.

3.2.2. Muestra

16 m³ Aguas Residuales de la Empacadora de Banano Algarrobo1 – Sullana.

3.3. Hipótesis

H₀ Una altura de lecho de mesocarpo de coco de 38 cm, reducirá la eficiencia de remoción de DBO < 15 mg/L, pH 6.5 -8.5, E. Coli 100 NMP/ 100mL, Coliformes totales 5000 NMP/ 100mL, Coliformes Termotolerantes 2000 NMP/100mL.

H₁ Una altura de lecho de mesocarpo de coco de 38 cm, no reducirá la eficiencia de remoción de DBO < 15 mg/L, pH 6.5 -8.5, E. Coli 100 NMP/ 100mL, Coliformes totales 5000 NMP/ 100mL, Coliformes Termotolerantes 2000 NMP/100mL.

3.4. Variables:

3.4.1. Variable independiente

Longitud del lecho de fibra de coco (19cm y 38cm)

Flujo de Agua

3.4.2. Variable dependiente

Eficiencia de remoción DBO

Variación de pH

SST

Coliformes totales

Coliformes Termotolerantes

E. Coli

3.5. Operacionalización de las variables

Cuadro 3.1

Variables, indicadores e instrumentos

VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTO
Vi:		
Longitud: Lecho Filtrante	L = 19cm y 38cm	Sistema de filtración
Vd:		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	% de remoción	Análisis DBO, botella de incubación, 5 días. 20°C
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	% de remoción	Método con secado 103 – 105°C
Coliformes Totales	% de remoción	Método número más probable
Coliformes Termotolerantes	% de remoción	Método número más probable
E.Coli	% de remoción	Método número más probable
pH	Variación de pH	pHmetro

Fuente: Los autores

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para cumplir los objetivos de la presente investigación fue necesaria la selección de los parámetros de control para determinar la eficiencia de los dos modelos de filtro que se detallan en el siguiente cuadro. Cabe mencionar que los análisis de los parámetros de control detallados no pudieron ser realizados por los autores debido a la no disponibilidad de los reactivos correspondientes en el laboratorio de la Universidad, es por ello se contrató los servicios del laboratorio de la empresa EPSEL de Chiclayo.

3.6.1. Métodos

Cuadro 3.2

Parámetros de Control

Nº	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO O INSTRUMENTO
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	Análisis de la incubación , 5 días, 20°C
2	pH		
4	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	ml/L	Método con secado 103 – 105°C
3	Coliformes Totales	NMP/100 mL	Método número más probable
5	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	Método número más probable
6	Determinación de E. Coli	NMP/100 mL	Método número más probable

Fuente: Los autores

3.6.2. Construcción del lecho filtrante (Filtro Percolador)

a. Ubicación

Se coordinó con la Asociación Ecológicos Bananeros – Asecoban, para realizar la implementación de un lecho filtrante (Filtro Percolador) en la empacadora Algarrobo 1, recién construida e implementada en Octubre del presente año. La Asociación se encuentra ubicada en el departamento de Piura, en la provincia y distrito de Sullana en la Calle Santa Rosa S/N del Caserío de Chalacalá Baja. Esta organización integra a más de 240 pequeños productores de banano orgánico con fines de exportación, con un total de 230 ha de producción certificada.

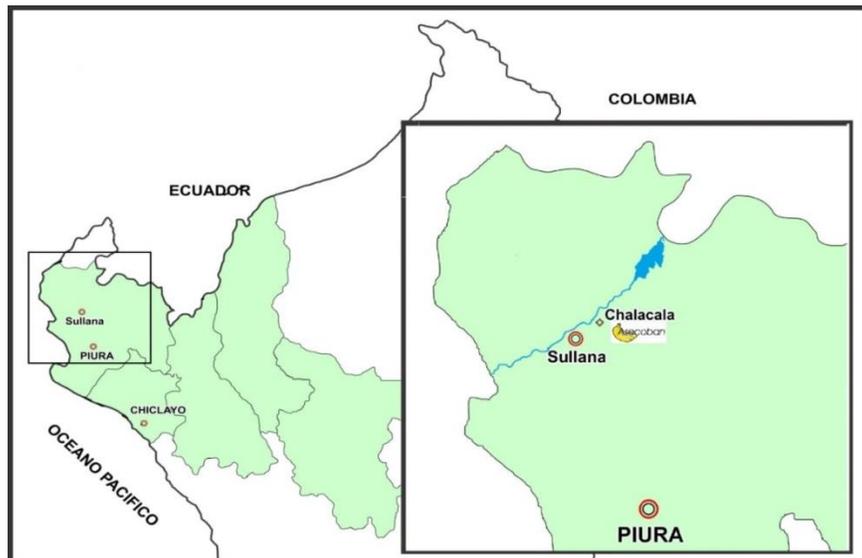


Figura 3.1
Ubicación de la Asociación Ecológicos Bananeros

El Lecho filtrante (Filtro Percolador) se encuentra ubicado en la Empacadora Algarrobo 1 bajo las coordenadas:

4°47'57.49" de latitud Sur

80°34'50.11" de longitud Oeste



Figura 3.2
Localización y ubicación de la empacadora Algarrobo 1

La ubicación del lecho filtrante (Filtro percolador) dentro del proceso de empaque de banano es en la fase de desfogue de la aguas provenientes del lavado de la fruta, a través de una línea de tubería PVC de 3 pulgadas de diámetro.

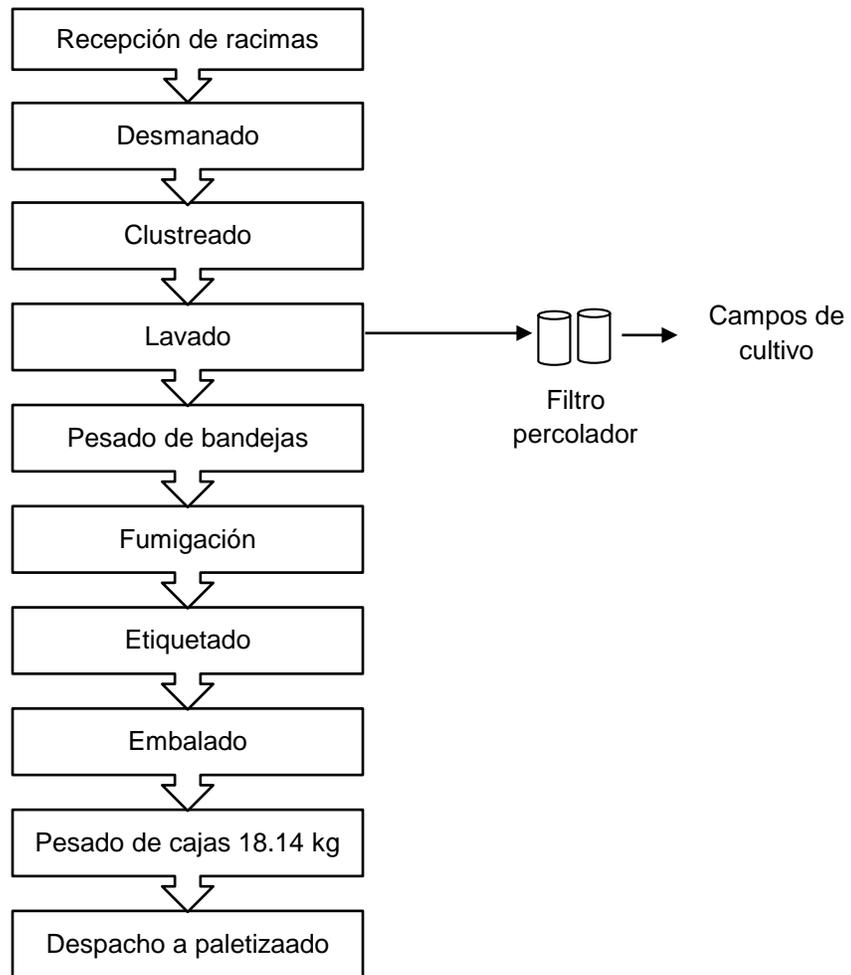


Figura 3.3
Ubicación del Lecho Filtrante (Filtro Percolador) dentro del proceso

b. Descripción del Lecho filtrante (Filtro Percolador)

Cuerpo del lecho filtrante

Para la construcción del sistema de recolección, se instaló dos sistemas de filtros con estructura metálica considerando ésta la más apropiada por ser liviana y no ocupar mucho espacio para su montaje, además de disminuir el tiempo de construcción y el costo de la misma. Se utilizó para ello barriles metálicos obtenidos de una empresa privada dedicada a la fabricación de jugo de maracuyá que desecha los envases que tengan estropeo.

El proceso de filtrado se llevó a cabo en dos filtros (Filtro N° 01 y Filtro N° 02) ambos con una altura de 85 cm y un diámetros de 58 cm. La conexión de tuberías para el transportar el efluente de la tina de lavado a cada filtro, se realizó mediante la instalación de tubería de PVC de 3". Para la regulación del caudal de la salida de agua de la tina de lavado hacia los filtros, fue instalada una llave de paso de 3".

Se adecuó una rejilla o malla metálica entre cada medio filtrante para evitar que éstos se mezclen y sobre todo, retener al inicio del filtro los desechos orgánicos procedentes del lavado de banano como raquis, cortes de coronas, hojilla, etc. La distancia entre cada rejilla fue de 19 cm.

c. Determinación de las Variables Operacionales en el Lecho Filtrante

Cuadro 3.3

Determinación de las Variables Operacionales en el Lecho Filtrante

VARIABLES OPERACIONALES	VALOR
Altura del filtro	85 cm
Diámetro	58 cm
Tamaño de las capas	19 cm
Área	0.265 m ²
Perímetro	1.822 m
Radio Hidráulico	0.145 m

Fuente: Los autores

Cuadro 3.4

Determinación de las Variables Operacionales del Filtro N° 01

VARIABLES OPERACIONALES	VALOR
Caudal	0.00111 m ³
Velocidad	0.0042 m/s
Longitud	19 cm
Porosidad	0.88
Flujo Global Laminar – Turbulento	3.25791071 x 10 ¹⁰ atm

Fuente: Los autores

Cuadro 3.2

Determinación de las Variables Operacionales del Filtro N° 02

VARIABLES OPERACIONALES	VALOR
Caudal	0.00068 m ³
Velocidad	0.0026 m/s
Longitud	38 cm
Porosidad	0.88
Flujo Global Laminar Turbulento	3.549571287 x 10 ¹⁰ atm

Fuente: Los autores

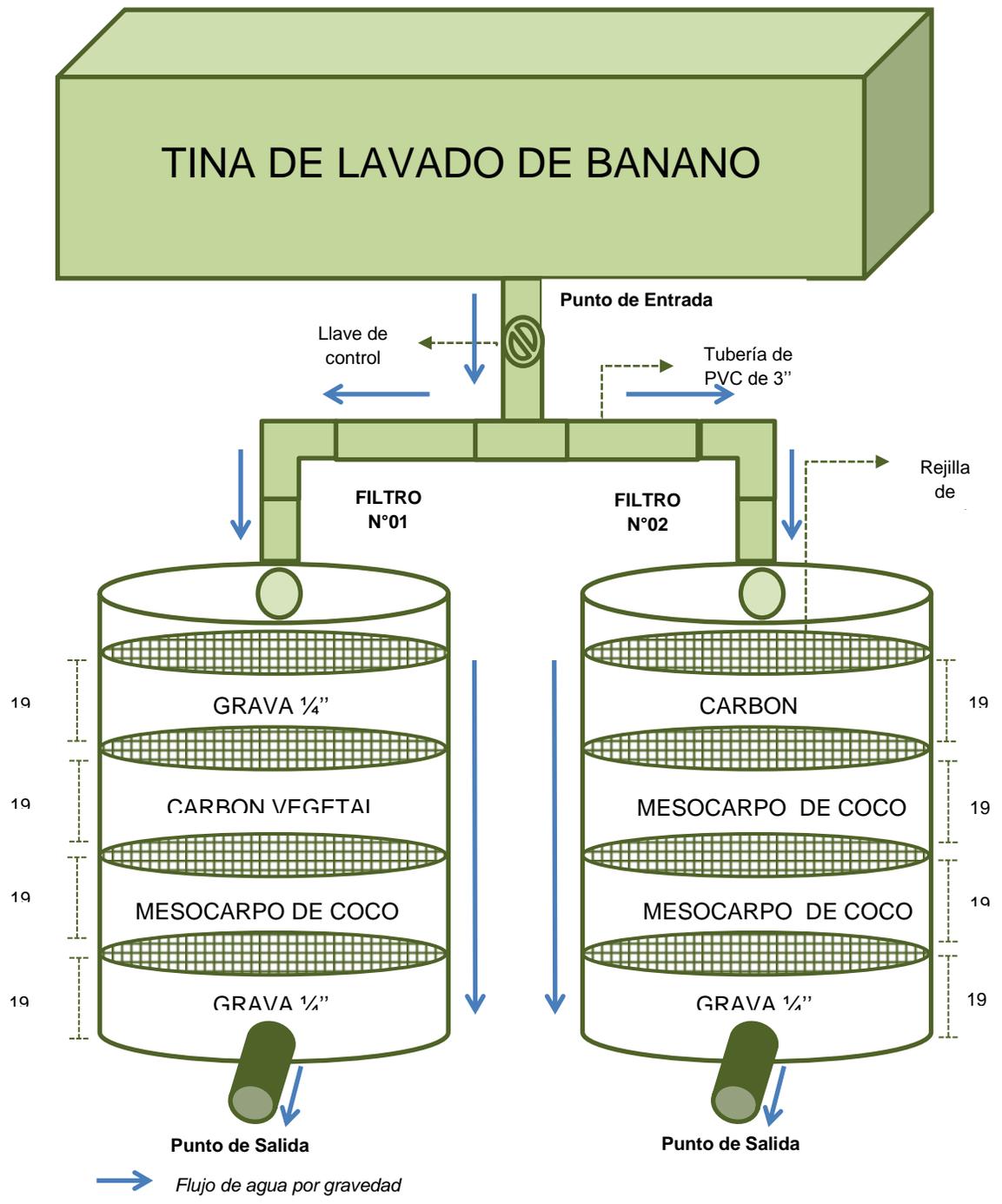


Figura 3.4
Esquema del lecho filtrante (filtros percoladores)

d. Medio filtrante

La objetivo principal de esta investigación fue determinar el funcionamiento del mesocarpo de coco como medio filtrante para el tratamiento de las aguas residuales de proceso de banano, ya que es a partir de éste que se determinó si la hipótesis es verdadera. Además se utilizó como medios filtrantes secundarios el carbón vegetal y grava de ¼”

El mesocarpo de coco en la zona de Sullana es una fibra económica, porque no tiene costo alguno, es un desecho del fruto del coco que se venden como pipas. La fibra facilita el flujo uniforme en el sistema, actúa como barrera física evitando así que los sólidos sean arrastrados, soporta su propio peso, por su alta porosidad.

Cuadro 3.6

Características de la fibra de coco

Nº	DESCRIPCION
1	Tiene porosidad entre 86-90%
2	Alta porosidad que le permite absorber ocho veces su peso en agua
3	Se descompone más lentamente que la turba
4	Su pH natural puede variar de: 5.8 - 6.4
5	La posible salinidad desaparece por lavado
6	Al tratarse de un producto 100% natural puede presentar variaciones en su presentación

- 7 Composición de Lignina entre 60-70%
 - 8 Conductividad eléctrica: 0.06-2.9 milisiemens.
 - 9 La fibra de coco puede resistir temperaturas hasta de 200°C sin pérdidas significativas a sus principales propiedades
 - 10 Es de fácil manejo y transporte, sin semillas parasitarias, ni contaminaciones fito patógenas, ligera con capacidad de absorción
-

Fuente: Quintero y Gonzales 2006, López et al, 2007



MESOCARPO DE
COCO



CARBON VEGETAL



GRAVA 1/4

Figura 3.5

Medios Filtrantes usados en el Lecho Filtrante (Filtro Percolador)

e. Funcionamiento del Lecho Filtrante (Filtro Percolador)

El lecho filtrante (Filtro Percolador) fue alimentado con las aguas residuales provenientes del lavado de la fruta de banano.

Se construyeron dos filtros con 4 secciones, una para cada medio filtrante. No existe una forma única para seleccionar y

disponer dichas secciones de material filtrante, por lo que se decidió una única medida en cada sección de 19 cm, variando en el FILTRO N° 02 con la disposición de 02 niveles de mesocarpo de coco para medir el funcionamiento de este medio filtrante en comparación con el FILTRO N° 01. Las secciones fueron separadas por rejillas metálicas.

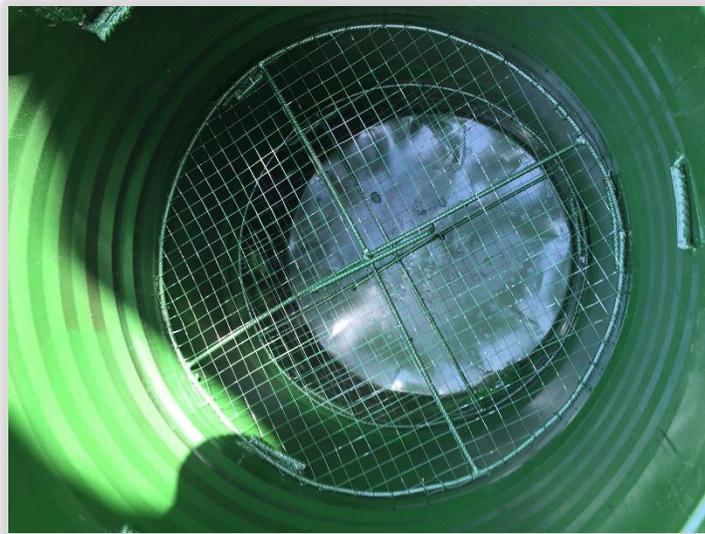


Figura 3.6
Instalación de rejillas metálicas

Para que no haya varianza en el agua que alimente al lecho filtrante, se instaló una misma tubería que alimente a los dos filtros. La salida de agua de la tina de lavado hacia el lecho filtrante fue controlada por una llave de paso.



Figura 3.7
Tubería de alimentación de agua al lecho filtrante

Se acondicionó los tres medios filtrantes en cada filtro tal como lo muestra la Figura N° 04



Figura 3.8
Acondicionamiento del medio filtrante

Se inició la descarga de las aguas residuales hacia los filtros. En el transcurso de la descarga no se presentaron problemas de colmatación o atascamiento, esto se debió al alto poder de permeabilidad de los medios filtrantes.



Figura 3.9

Descarga de las aguas residuales hacia los filtros

La toma de muestras se realizó después de transcurrida 1 hora, tiempo que fue necesario para la limpieza de los filtros. El caudal de cada filtro a la salida del agua fue el siguiente:

FILTRO N° 1:	1.11 lts/s
FILTRO N° 2:	0.68 lts /s



Figura 3.10
Toma de muestras de aguas de la tina de lavado de banano



Figura 3.11
Toma de muestras de aguas en la salida de los filtros

3.7. Procedimiento para la recolección de datos

Con el fin de comparar el comportamiento del elemento filtrante a partir de los materiales utilizados en los dos filtros, se determinó realizar los muestreos a la salida de cada de filtro, además se tomó una muestra en la tina de lavado del proceso de banano para realizar los análisis de cada parámetro controlado: DBO, SST, E. Coli, pH, Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes; se tomaron muestras de 500 mL

Las muestras se tomaron en horas de la tarde, después del proceso de empaclado de banano; en envases de vidrio y de plástico debidamente esterilizados y se trasladaron en un cooler, el cual contenía bolsas de hielo, al área de calidad de la empresa EPSEL SA donde se realizaron los análisis de los parámetros correspondientes.

3.8. Análisis Estadístico e Interpretación de los datos

Los datos obtenidos se tabularon según el parámetro controlado. Para cada parámetro controlado de tomo una muestra por filtro

Para evaluar la eficiencia del lecho filtrante utilizando mesocarpo de coco; se calculó el porcentaje de remoción de DBO, SST, E. Coli, Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes y la variación de pH.

3.9. Principios Éticos

Se respetó el principio de autonomía de los autores ya que no existe adulteración de la información.

La presente investigación no cuenta con datos alterados en la parte experimental. Los análisis de cada parámetro controlado en la investigación se realizaron en el área de control de calidad de la Empresa EPSEL SA, empresa seria y responsable que contribuye a mejorar la calidad de vida de la población de Lambayeque.

Los Resultados de los análisis de muestras de agua residual se encuentran anexados en el presente informe con los respectivos sellos y firmas de las personas responsables como son: Gerente General, Gerente Operacional, Área de Control de Calidad, Área de Fisicoquímica, Área de Microbiología, los cuales validan la investigación.

3.10. Criterios de rigor científico

La información utilizada para la redacción en el proyecto de investigación vienen de fuentes confiables y de fuentes reproducibles, así como también de revistas científicas validadas que respaldan la información utilizada para el proyecto, además de tesis que se han encontrado en universidades con gran reputación.

Además, se tendrán en cuenta los procedimientos que permitan obtener datos reproducibles, la cual ayudará a tener una mayor certeza de los procedimientos que se realizara en la parte experimental.

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados en tablas y gráficos

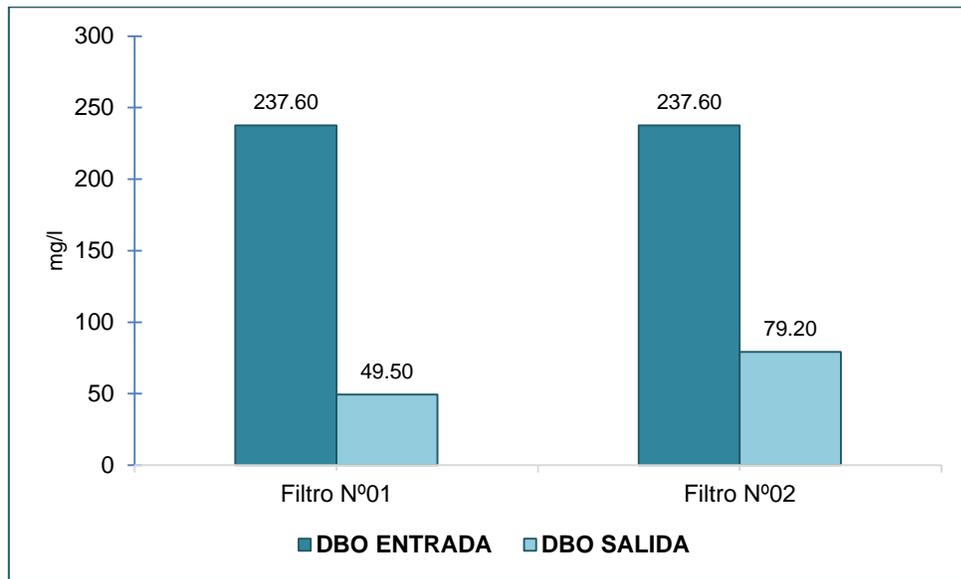
El lecho filtrante se puso en marcha el 21 de Octubre del 2015, con un caudal 1.11 lts/s en el FILTRO N° 01 y 0.68 lts/s en el FILTRO N° 02, luego de 01 hora de funcionamiento de los filtros, considerando ese tiempo para la limpieza de los medios filtrantes, se tomó la primera muestra de agua en la entrada y luego las dos muestras siguientes una a la salida de cada filtro para su posterior análisis de los parámetros analizados como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y Ecoli, parámetros que se comparan en el siguiente estudio. Los resultados de las pruebas de laboratorio se presentan en los siguientes cuadros y gráficos.

Cuadro 4.1
Demanda Bioquímica de Oxígeno

ITEM	DBO	DBO	% Remoción
	mg/l	mg/l	
	Entrada	Salida	
Filtro N°01	237.60	49.50	79.17%
Filtro N°02	237.60	79.20	66.67%

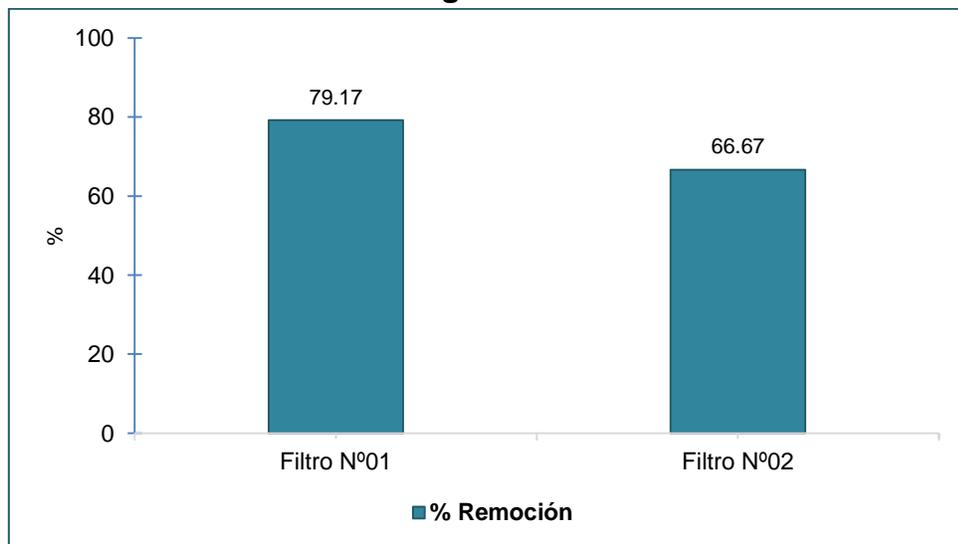
Fuente: Laboratorio EPSEL, 2015

Gráfico 4.1
DBO de entrada y salida de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.1

Gráfico 4.2
% remoción de DBO de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.1

En el gráfico 4.1 se presenta la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del agua residual en la entrada y salida de cada modelo de filtro percolador.

En ambos filtros la concentración de DBO en la entrada es la misma por ser una única muestra (237.60 mg/l). La concentración de DBO en la salida del Filtro N°01 es de 49.50 mg/l, mientras que en la salida del Filtro N°02 la concentración de DBO es de 79.20 mg/l. Ambos resultados en la salida de los filtros, muestran una reducción en la concentración de DBO respecto a la muestra de la entrada de los filtros.

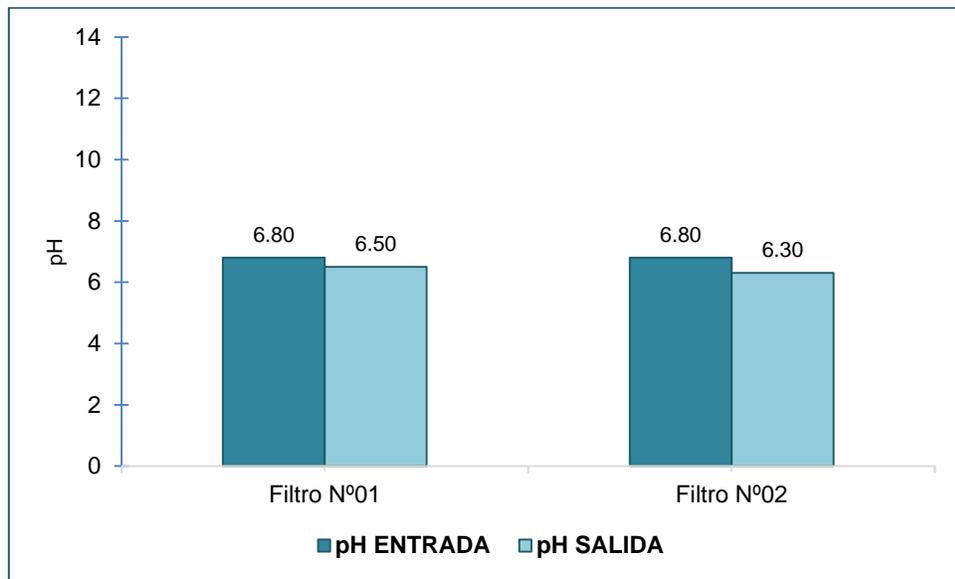
El gráfico N° 4.2 muestra el porcentaje de remoción de DBO que se obtuvo en el proceso de filtración. Se observa que el Filtro N°01 tiene mayor porcentaje de remoción con (79.17%), respecto al Filtro N°02 con (66.17%). Estos valores indican que el mesocarpo de coco ubicada en dos niveles en el Filtro N°02, reduce en un menor porcentaje la DBO de las aguas residuales.

Cuadro 4.2
pH

ITEM	pH Entrada	pH Salida	Variación
Filtro N°01	6.80	6.50	-0.3
Filtro N°02	6.80	6.30	-0.5

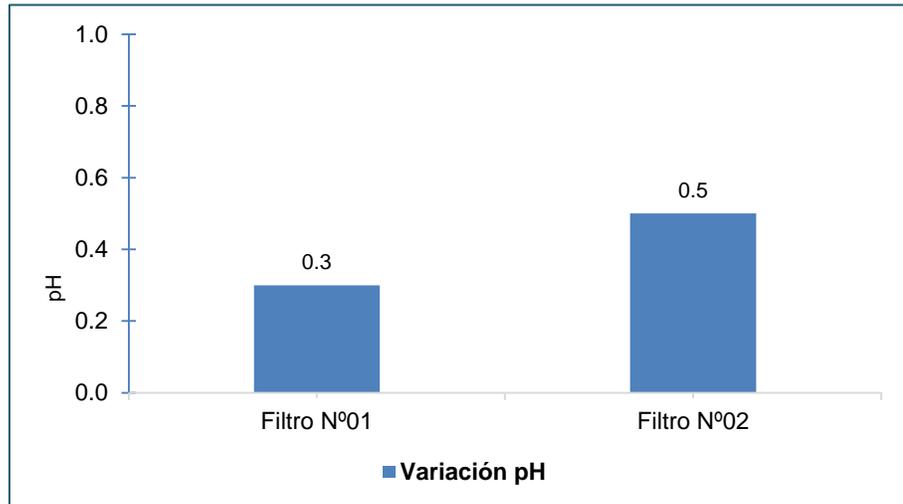
Fuente: Laboratorio EPSEL, 2015

Gráfico 4.3
pH de entrada y salida de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.2

Gráfico 4.4
Variación de pH de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.2

En el gráfico 4.3 se presenta la concentración pH del agua residual en la entrada y salida de cada modelo de filtro percolador.

En ambos filtros el pH en la entrada es el mismo por ser una única muestra (6.8). El pH en la salida del Filtro N°01 es de 6.5, mientras que en la salida del Filtro N°02 el pH es de 6.3. Ambos resultados en la salida de los filtros, muestran una reducción de pH respecto a la muestra de la entrada de los filtros.

El gráfico N° 4.4 muestra la variación de pH que se obtuvo en el proceso de filtración. Se observa que el Filtro N°01

tiene una variación de pH de -0.3, respecto al Filtro N°02 con -0.5. Estos valores indican que el mesocarpio de coco ubicada en dos niveles en el Filtro N°02, reduce el nivel de pH en las aguas residuales.

Cuadro 4.3

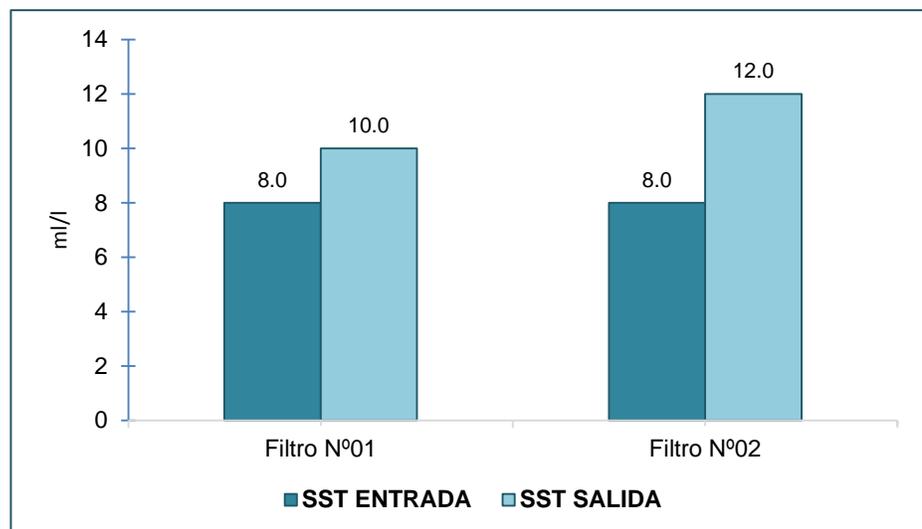
Solidos Suspendidos Totales

ITEM	SST ml/l Entrada	SST ml/l Salida	% Remoción
Filtro N°01	8	10.00	-25.00%
Filtro N°02	8	12.00	-50.00%

Fuente: Laboratorio EPSEL, 2015

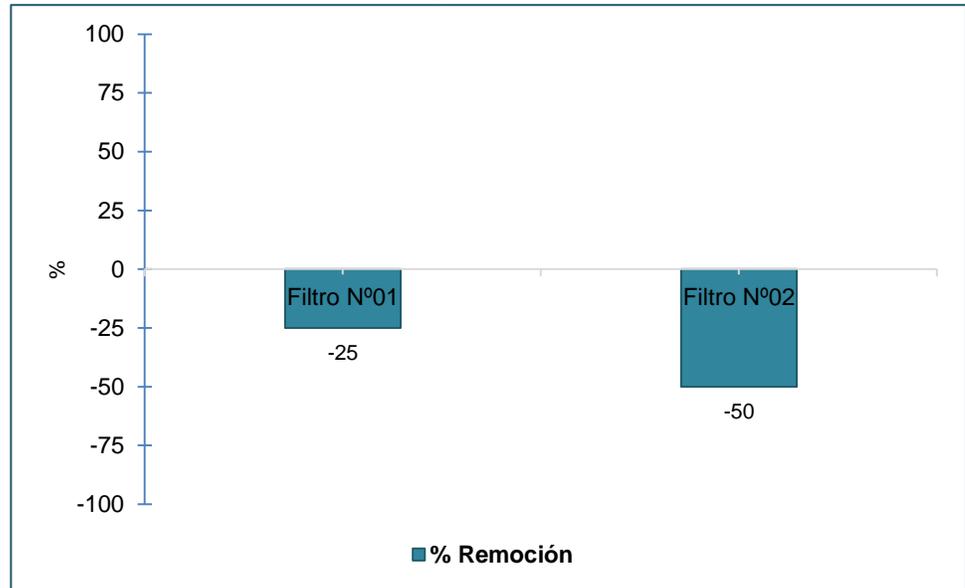
Gráfico 4.5

SST de entrada y salida de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.3

Gráfico 4.6
% remoción de SST de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.3

En el gráfico 4.5 se presenta la concentración de Sólidos Suspendedos Totales (SST) del agua residual en la entrada y salida de cada modelo de filtro percolador.

En ambos filtros la concentración de SST en la entrada es la misma por ser una única muestra (8.0). La concentración de SST en la salida del Filtro N°01 es de 10.0, mientras que en la salida del Filtro N°02 la concentración de SST es de 12.0. Ambos resultados en la salida de los filtros, muestran un incremento en la concentración de SST respecto a la muestra de la entrada de los filtros.

El gráfico 4.6 muestra el porcentaje de remoción de SST que se obtuvo en el proceso de filtración. Se observa que el Filtro

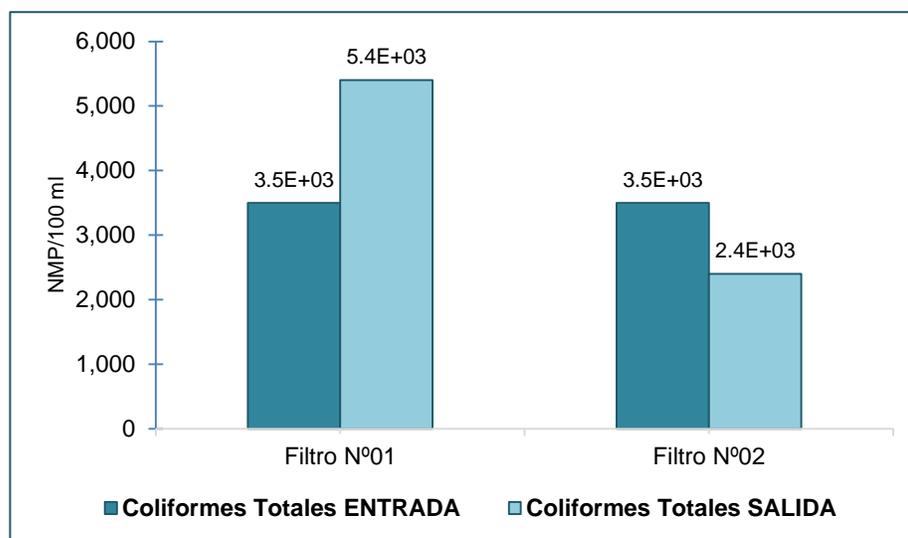
Nº01 tiene una variación de SST de -25%, respecto a la muestra de agua de la entrada y el Filtro Nº02 tiene una variación de SST de -50%. Estos valores indican que el mesocarpo de coco ubicada en dos niveles en el Filtro Nº02, aumenta el nivel de SST en las aguas residuales.

Cuadro 4.4
Coliformes Totales

ITEM	Coliformes Totales NMP/100 ml Entrada	Coliformes Totales NMP/100 ml Salida	% Remoción
Filtro Nº01	3.5E+03	5.4E+03	-54.29%
Filtro Nº02	3.5E+03	2.4E+03	31.43%

Fuente: Laboratorio EPSEL, 2015

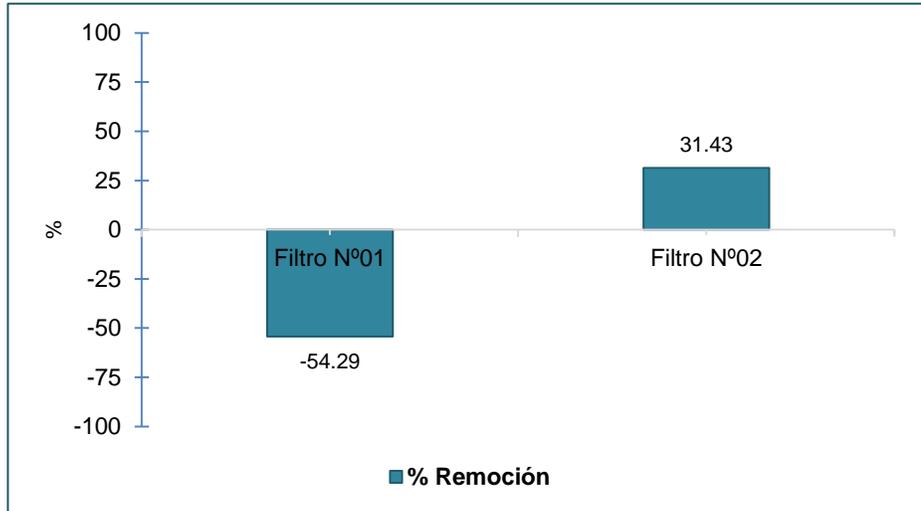
Gráfico 4.7
Coliformes Totales de entrada y salida de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.4

Gráfico 4.8

% remoción de Coliformes Totales de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.4

En el gráfico 4.7 se presenta la concentración Coliformes Totales del agua residual en la entrada y salida de cada modelo de filtro percolador.

En ambos filtros la concentración de Coliformes Totales en la entrada es la misma por ser una única muestra (3500 NMP/100 ml). La concentración de Coliformes Totales en la salida del Filtro N°01 es de 5400 NMP/100 ml, mientras que en la salida del Filtro N°02 la concentración de Coliformes Totales es de 2400 NMP/100 ml.

El gráfico 4.8 muestra el porcentaje de remoción de Coliformes Totales que se obtuvo en el proceso de filtración. Se observa que el Filtro N°01 tiene un % de remoción de Coliformes Totales de -54.29%, respecto a la

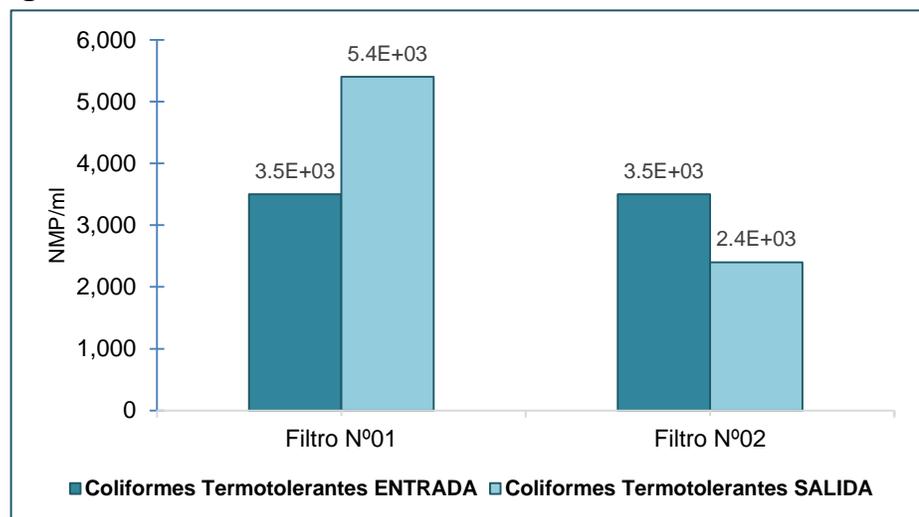
muestra de agua de la entrada y el Filtro N°02 tiene % de remoción de Coliformes Totales de 31.43%. Estos valores indican que el mesorcapo de coco ubicada en dos niveles en el Filtro N°02, disminuye el nivel de Coliformes Totales en las aguas residuales.

Cuadro 4.5
Coliformes Termotolerantes

ITEM	Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml Entrada	Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml Salida	% Remoción
Filtro N°01	3.5E+03	5.4E+03	-54.29%
Filtro N°02	3.5E+03	2.4E+03	31.43%

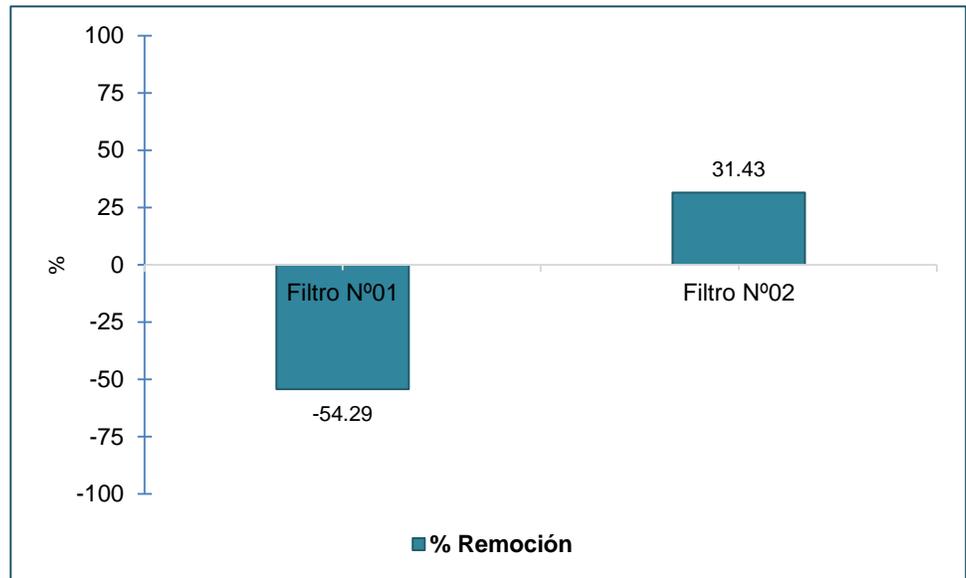
Fuente: Laboratorio EPSEL, 2015

Gráfico 4.9
Coliformes Termotolerantes de entrada y salida de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.5

Gráfico 4.10
% remoción de Coliformes Termotolerantes de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.5

En el gráfico 4.9 se presenta la concentración de Coliformes Termotolerantes del agua residual en la entrada y salida de cada modelo de filtro percolador.

En ambos filtros la concentración de Coliformes Termotolerantes en la entrada es la misma por ser una única muestra (3500 NMP/100 ml). La concentración de Coliformes Termotolerantes en la salida del Filtro N°01 es de 5400 NMP/100 ml, mientras que en la salida del Filtro N°02 la concentración de Coliformes Termotolerantes es de 2400 NMP/100 ml.

El gráfico N° 4.10 muestra el porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes que se obtuvo en el proceso de filtración. Se observa que el Filtro N°01 tiene un % de remoción de Coliformes Termotolerantes de -54.29%, respecto a la muestra de agua de la entrada y el Filtro N°02 tiene una variación de Coliformes Termotolerantes de 31.43%. Estos valores indican que el mesocarpo de coco ubicada en dos niveles en el Filtro N°02, disminuye el nivel de Coliformes Termotolerantes en las aguas residuales.

Cuadro 4.6

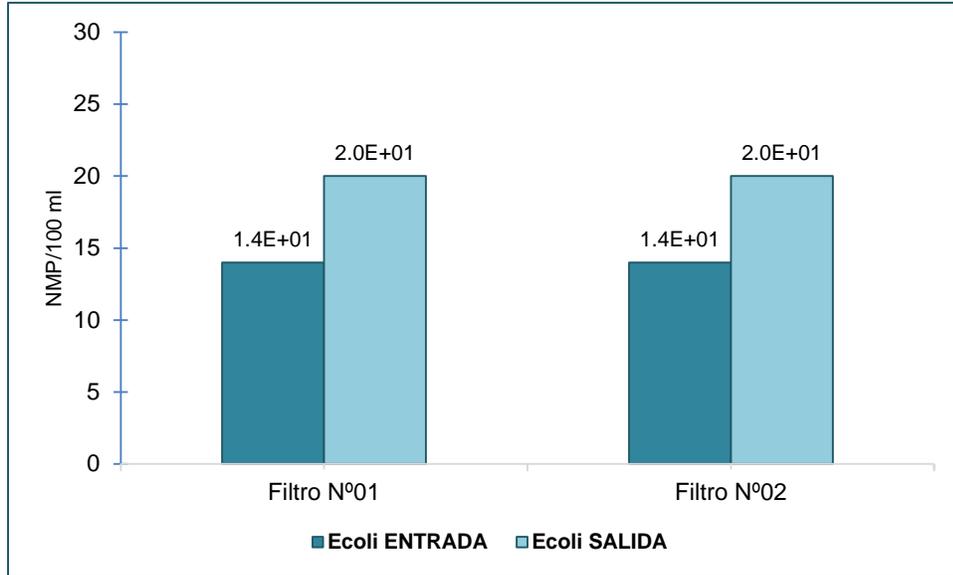
E. Coli en cada uno de los filtros

ITEM	E. Coli	E. Coli	% Remoción
	NMP/100 ml	NMP/100 ml	
	Entrada	Salida	
Filtro N°01	1.4E+01	2.0E+01	-42.86%
Filtro N°02	1.4E+01	2.0E+01	-42.86%

Fuente: Laboratorio EPSEL, 2015

Gráfico 4.11

E. Coli de entrada y salida de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.6

Gráfico 4.12

% remoción salida de las aguas residuales



Fuente: Cuadro 4.6

En el grafico 4.11 se presenta la concentración de E. Coli del agua residual en la entrada y salida de cada modelo de filtro percolador.

En ambos filtros la concentración de E. Coli en la entrada es la misma por ser una única muestra (14 NMP/100 ml). La concentración de E. Coli en la salida de ambos filtros es de 20 NMP/100 ml

El gráfico 4.12 muestra el porcentaje de remoción de E. Coli que se obtuvo en el proceso de filtración. Se observa que ambos filtros tienen un % de remoción de E. Coli de - 42.86%, respecto a la muestra de agua de la entrada. Estos valores indican que el mesocarpo de coco ubicada en ambos filtros, aumenta el nivel de E. Coli en las aguas residuales.

4.2. Discusión de los resultados

4.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

De los resultados obtenidos, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es uno de los principales parámetros para la caracterización de las aguas residuales. En este estudio se puede ver que el porcentaje de remoción es importante en ambos filtros respecto a la DBO de la muestra de agua en la entrada, con 79.17% y 66.17% en el Filtro N°01 y

Filtro N°02 respectivamente; pero el mayor porcentaje de remoción se vio en el Filtro N°01, el cual contenía sólo un nivel de 19 cm de mesocarpo de coco, deduciéndose con ello que el mesocarpo de coco no fue el principal medio filtrante para que se logre la reducción de DBO.

Sin embargo estos resultados son positivos comparados con los obtenidos por otros autores como Hernández C. donde la eficiencia de DBO varió entre -32 y 22%, con un promedio de -16%, el mesocarpo de coco incrementó los niveles de contaminación y en consecuencia la carga contaminante, porque se produjo la descomposición de la misma en contacto con el agua residual.

Con ambos sistemas de filtración se pudo reducir la concentración de DBO de 237.60 mg/l a 49.50 mg/l en el Filtro N°01 y 79.20 mg/l en el Filtro N°02; pero aun con estos valores no se cumple con lo establecido en la categoría III de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua con un límite de 15 mg/l.

4.2.2. Potencial de Hidrogeno

Según el estudio se observa que el pH del agua residual en la entrada de los filtros es de 6.8 para ambos filtros por ser única la muestra; El pH en la salida del Filtro N°01 es de 6.5, mientras que en la salida del Filtro N°02 el pH es de 6.3, mostrando un reducción con respecto a la muestra de

entrada. Estas a su vez obtienen una variación de -0.3 y -0.5 respectivamente; lo cual deduce que el mesocarpo de coco reduce el pH en ambos casos

Comparando estos resultados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, en la categoría III – Riego de vegetales y Bebidas de Animales el resultado obtenido en el Filtro N°01 está dentro de los límites máximo permitidos por el MINAN: 6.5. – 8.5; por otro lado el resultado obtenido el Filtro N°02 no está dentro de los límites.

4.2.3. Solidos Suspendidos Totales

La concentración de Solidos Suspendidos Totales en la entrada es la misma por ser una única muestra (8.0). La concentración de SST en la salida del Filtro N°01 es de 10.0, mientras que en la salida del Filtro N°02 la concentración de SST es de 12.0. Ambos resultados muestran un incremento en la concentración de SST respecto a la muestra de la entrada de los filtros; estas a su vez muestran una variación de -25% y 50% respectivamente; lo cual indica que el mesocarpo de coco ubicado en dos niveles en el Filtro N°02 aumenta el nivel de los Solidos Suspendidos Totales

Respecto a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental en la categoría III - Riego de vegetales y Bebidas

de Animales, no considera el parámetro de Sólidos Suspendidos Totales, por ende no se puede hacer una comparación sobre los límites máximos permitidos (LMP).

4.2.4. Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y E. coli

El porcentaje de remoción de Coliformes Totales (Coliformes Totales Presuntiva) y Coliformes Termotolerantes (Coliformes Totales Confirmativa) en los resultados de las muestras de agua en la salida de ambos filtros fueron los mismos; -54.29 en el Filtro N°01 y 31.43% en el Filtro N°02. Demostrándose con ello que el mesocarpo de coco diseñada en dos niveles en el Filtro N°02 reduce la concentración de Coliformes Totales y Termotolerantes de 3500 NMP/100 ml a 2400 NMP/100 ml.

Contrastando los resultados con los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la categoría III: Riego de vegetales de tallo alto, con un límite de 2000 NMP/100 ml para Coliformes Termotolerantes y 5000 NMP/100 ml para Coliformes Totales, indican que los resultados obtenidos en el Filtro N°01, son desfavorables, porque la concentración de Coliformes se incrementó a 5400 NMP/100 ml.

En el Filtro N°02, al cual se le adaptó dos capas de mesocarpo de coco, de 19 cm/ cu, sí mostró una reducción

favorable de Coliformes, siendo las aguas procesadas por este filtro aptas para el riego de vegetales de tallo alto.

La concentración de E. Coli en la muestra de agua antes de iniciar el proceso de filtrado fue de 14 NMP/100 ml, registrándose este valor como muy aceptable en la categoría III de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua con un límite de E. Coli de 100NMP/100 ml. Sin embargo después del proceso de filtrado en ambos filtros la concentración de Ecoli aumento 20 NMP/100 ml, registrándose aun en concentración favorable para el riego de vegetales.

En el trabajo de investigación de los autores Arias F. y Tiquillahuanca T, donde un estanque de desinfección instalado en un lombrifiltro para el tratamiento de riles generados en la planta Agromar Industrial S.A., reduce en un 95.101% la presencia de Coliformes fecales. En la presente investigación se hubieran obtenido resultados favorables en la reducción de carga microbiana de haberse instalado un sistema de clarificación, pero cabe indicar que en la industria de banano organico, el agua de riego no puede tener sustancias cloradas que puedan degradarse en percloratos que son absorbidos fácilmente por las raíces de este cultivo y presentar residuos en la fruta, según informe de la European Food Safety Authority.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La Demanda Bioquímica de Oxígeno en la entrada de los filtros fue de 237.60 mg/L. La DBO en la salida del filtro N°01 fue de 49.50mg/L y la DBO en la salida del filtro N°02 fue de 79.20 mg/L.

El Potencial de Hidrogeno de la entrada de los filtros fue de 6.8 . El pH de la salida del Filtro N°01 fue de 6.5 y el pH de la salida del Filtro N°02 fue de 6.3.

Los Solidos Suspendidos Totales en la entrada de los filtros fue de 8.0 ml/L. Los SST en la salida del Filtro N°01 fue de 10.0 ml/L y los SST en la salida del Filtro N°02 fue de 12.0 ml/L.

Los Coliformes Totales (Coliformes Totales Presuntiva) y Coliformes Termotolerantes (Coliformes Totales Confirmativa) en la entrada de los filtros fue de 3500 NMP/100ml. Los coliformes Totales y Termotolerantes en la salida del Filtro N° 01 fue de 5400 NMP/100ml. Los coliformes Totales y Termotolerantes en la salida del Filtro N° 02 fue de 2400 NMP/100ml.

E.Coli en la entrada de los filtros fue de 14 NMP/100 ml, E.Coli la salida del filtro N°01 y filtro N°02 fue de 20 NMP/100ml.

5.2. Recomendaciones

Disminuir el tamaño de la tubería para que el caudal disminuya y los medios filtrantes realicen un mejor proceso de filtración de las aguas residuales, pero para ello las aguas residuales se tienen que trasladar a un tanque de reserva ya que los procesos de empaque de banano son diarios y se requiere hacer limpieza y mantenimiento de las tinas de lavado.

No realizar una clarificación ya que las sustancias de los insumos utilizados para este fin pueden dejar residuos en las frutas cosechadas.

Considerando el gran consumo de agua ($1,170 \text{ m}^3$ / día aprox.) que se utiliza para el proceso de lavado de banano en el valle del Chira, aguas que se desechan sin uso posterior, se debe comprometer a las empresas bananeras a realizar algún tipo de investigación de este tipo para tratar las aguas generadas por sus actividades.

REFERENCIAS

- Arias, F. Y Tiquillahuanca, M. (2012). *Aplicación de un lombifiltro para el tratamiento de riles generados en la Planta Agromar Industrial SA, Sullana. Lambayeque – Perú*. Tesis de Ingeniería, Universidad Señor de Sipán, Lambayeque – Perú.
- Brack, E. (2009) *Política Nacional del Ambiente*. Consultado en: <http://www.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2013/08/Pol%C3%ADtica-Nacional-del-Ambiente.pdf>
- Cáceres, J. (2010). *Implementación De Material De Desecho Pet Como Elemento Filtrante En Filtros Biológicos*. Tesis Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala
- Da Silva, A. (2013). *Tratamientos Integrados Aplicados a Aguas Residentes de Pequeñas y Medianas Queserías*. Tesis Doctoral; Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Gonzales, A. (2013) *Botánica Morfológica. Morfología de plantas Vasculares*. Consultado en: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema24>.
- Ibarz, G. (2008). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. España. Editorial Mundi-Prensa
- Mendez, M. Y Feliciano, O. (2010). *Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes*. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de ingeniería, Lima – Perú

- Medarno, L (2010). *Guía técnica del cultivo de coco*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador.
- Núñez, R. (2010). *Estudio Tecnológico Del Componente Fibra de Dos Variedades De Coco Enano (Cocos Nucífera) De Los Distritos De Lamas, Tarapoto y Pucacaca en La Región San Martín*. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto – Perú.
- Preciado, M. Y Rojas, A. (2010). *Diseño De Biofiltro Con Fibra De Coco (Cocos Nucífera) Para El Tratamiento De Aguas Residuales*. Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica de Guanajuato, México.
- Quintanilla, M. (2010). *Industrialización De La Fibra De Estopa De Coco*. Tesis de Ingeniería, Universidad de El Salvador; El Salvador.
- Rodríguez, M. (1969). *Metabolismo de las plantas*. 1ª ed. España: Editorial Alambra,
- Sosa, D.; Viguera, J. y Holguín, E. (2010). *La Biofiltración: Una Alternativa Sustentable Para El Tratamiento De Aguas Residuales*. Vidsupra – Visión Científica
- Silva, P. (2010). *Diseño de un Sistema de Biofiltración para la eliminación de Estireno en una corriente gaseosa procedente de la Industria Química*. Tesis de Ingeniería, Universidad de Cádiz, España

Villanueva, J.; Gómez, J.; Vázquez, R, et al (2012). *Evaluación de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en dos biofiltros con diferentes empaques*. Ciencias de la Unicach

Villacr ez, E. (2013). *Las aguas residuales y su incidencia en la salud de los habitantes de los barrios sur y subcentro del Cantón Santiago de Quero provincia de Tungurahua*. Tesis de Ingeniería. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

ANEXOS

Evaluación estadística: SPSS

Análisis de fiabilidad con el Alfa de Cronbach:

Resumen del procesamiento de los casos

		N	%
Casos	Válidos	6	100,0
	Excluidos	0	,0
	Total	6	100,0

a. Eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,932	2

El presente análisis de Cronbach determina que la fiabilidad en los resultados de los parámetros siguientes: DBO, PH, SST, Coliformes totales, coliformes termotolerantes y E. Coli.

La fiabilidad es de un 0.932.

Análisis descriptivos moda, media, mediana:

Estadísticos

		Muestral	Muestra2
N	Válidos	6	6
	Perdidos	0	0
Media		13,1333	17,3833
Mediana		5,9500	4,3500
Moda		5,40	2,40
Desv. tip.		17,99952	30,52464

Tabla de frecuencia

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	2,00	1	16,7	16,7	16,7

5,40	2	33,3	33,3	50,0
6,50	1	16,7	16,7	66,7
10,00	1	16,7	16,7	83,3
49,50	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	

Muestra2

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	2,00	1	16,7	16,7
	2,40	2	33,3	50,0
	6,30	1	16,7	66,7
	12,00	1	16,7	83,3
	79,20	1	16,7	100,0
	Total	6	100,0	100,0

Análisis de Media de muestras:

Se realizó una media con las características incorporados como parámetros, obteniendo los siguientes resultados:

DBO (Demanda bioquímica de oxígeno): 64,35.

PH: 6,8.

Sólidos Totales: 11,0.

Coliformes Totales: 3,9.

Coliformes Termotolerantes: 3,9.

E. Coli: 2,0

Parametros	Muestralni...	Muestra1	Muestra2	Media
DBO	237,60	49,50	79,20	64,35
PH	6,80	6,50	6,30	6,40
SST	8,00	10,00	12,00	11,00
Coliformes Totales	3,50	5,40	2,40	3,90
Coliformes Termotolerantes	3,50	5,40	2,40	3,90
E. Coli	1,40	2,00	2,00	2,00

Comparativo de medias:

En el presente apartado se realiza la comparación de los parámetros incorporados en el estudio.

DBO:

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Incluidos		Excluidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
DBO	3	60,0%	2	40,0%	5	100,0%

Informe

DBO

Media	N	Desv. tip.
122,1000	3	101,12225

PH:

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Incluidos		Excluidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
PH	3	60,0%	2	40,0%	5	100,0%

Informe

PH

Media	N	Desv. tip.
6,5333	3	,25166

□

SST:

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Incluidos		Excluidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
SST	3	60,0%	2	40,0%	5	100,0%

Informe

SST

Media	N	Desv. tip.

10,0000	3	2,00000
---------	---	---------

Coliformes Totales:

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Incluidos		Excluidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
<u>Coliformes Totales</u>	3	60,0%	2	40,0%	5	100,0%

Informe

Coliformes Totales

Media	N	Desv. tip.
3,7667	3	1,51767

Coliformes Termotolerantes:

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Incluidos		Excluidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
<u>Coliformes Termotolerantes</u>	3	60,0%	2	40,0%	5	100,0%

Informe

Coliformes Termotolerantes

Media	N	Desv. tip.
3,7667	3	1,51767

E. Coli:

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Incluidos		Excluidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
<u>E. Coli</u>	3	60,0%	2	40,0%	5	100,0%

Informe

E. Coli

Media	N	Dasv. tip.
1,8000	3	,34641

DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES EN EL LECHO FILTRANTE

Altura del filtro: 85 cm

Diámetro: 58 cm.

Tamaño de las capas: 19cm

DETERMINACIÓN DEL AREA

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{3.1416 (0.58m)^2}{4}$$

$$A = \frac{1.06m^2}{4}$$

$$A = 0.265m^2$$

DETERMINACIÓN DEL PERIMETRO

$$p = \pi D$$

$$p = 3.1416 (0.58m)$$

$$p = 1.822 m$$

DETERMINACION DEL RADIO HIDRAULICO

$$RH = \frac{A}{P}$$

$$RH = \frac{0.265 \text{ m}^2}{1.822 \text{ m}}$$

$$RH = 0.145 \text{ m}$$

CAUDAL

Filtro N°01= 1.11 lts/s

Filtro N°01 = 0.00111 m³/s

Filtro N°02 = 0.68 lts/s

Filtro N°02 = 0.00068 m³/s

VELOCIDAD FILTRO N° 01

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0.00111 \text{ m}^3/\text{s}}{0.265 \text{ m}^2}$$

$$v = 0.0042 \text{ m/s}$$

VELOCIDAD FILTRO N° 02

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0.00068 \text{ m}^3/\text{s}}{0.265 \text{ m}^2}$$

$$v = 0.0026 \text{ m/s}$$

FLUJO GLOBAL LAMINAR-TURBULENTO FILTRO N° 01

- Cálculo de la superficie específica de la partícula

$$a_{s0} = \frac{\text{Superficie partícula}}{\text{Volumen partícula}}$$

Dimensiones de la partícula cilíndrica:

Diámetro: $d_p = 0,001 \text{ m}$

Altura: $H = 0,1 \text{ m}$

- Superficie partícula: $2(\pi/4)d_p^2 + \pi d_p H = 31,573 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

- Volumen partícula: $(\pi/4)d_p^2 H = 8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$

Por tanto: $a_{s0} = 3946,6 \text{ m}^{-1}$

A partir de este valor es posible calcular el diámetro equivalente de partícula:

$$d_p = 6\Gamma/a_{s0}$$

si se supone que el factor de forma es la unidad ($\Gamma = 0.58$), se obtiene que el diámetro equivalente de partícula es: $d_p = 0,882 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Viscosidad:

$$\eta = 100.2 \times \frac{10^5 \text{ Kg}}{\text{m} \times \text{s}}$$

Longitud Filtro N°01:

$$L = 19 \text{ cm}$$

Porosidad:

$$\varepsilon = 0.88$$

Velocidad Filtro N°01:

$$v = 0.0042 \text{ m/s}$$

Flujo Laminar turbulento Filtro N°01

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2 \eta}{\varepsilon^3 d_p^2} v + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon) \rho}{\varepsilon^3 d_p} v^2$$

$$\frac{(-\Delta P)}{0.19 \text{ m}} = 150 \frac{(1 - 0.88)^2 \times 100.2 \times 10^5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}\right)}{(0.88)^3 \times (0.882 \times 10^{-3} \text{ m})^2} 0.0042 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 1,75 \frac{(1 - 0.88) 1000}{(0.88)^3 \times (0.882 \times 10^{-3} \text{ m})} \left(0.0042 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$(-\Delta P) = 3.25791071 \times 10^{10} \text{ atm}$$

FLUJO GLOBAL LAMINAR-TURBULENTO FILTRO N° 02

- Cálculo de la superficie específica de la partícula

$$a_{s0} = \frac{\text{Superficie partícula}}{\text{Volumen partícula}}$$

Dimensiones de la partícula cilíndrica:

Diámetro: $d_p = 0,001 \text{ m}$

Altura: $H = 0,1 \text{ m}$

- Superficie partícula: $2(\pi/4)d_p^2 + \pi d_p H = 31,573 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

- Volumen partícula: $(\pi/4)d_p^2 H = 8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$

Por tanto: $a_{s0} = 3946,6 \text{ m}^{-1}$

A partir de este valor es posible calcular el diámetro equivalente de partícula:

$$d_p = 6\Gamma/a_{s0}$$

si se supone que el factor de forma es la unidad ($\Gamma = 0.58$), se obtiene que el diámetro equivalente de partícula es:

$$d_p = 0,882 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Viscosidad:

$$\eta = 100.2 \times \frac{10^5 \text{ Kg}}{\text{m} \times \text{s}}$$

Longitud Filtro N°02:

$$L = 38 \text{ cm}$$

Porosidad:

$$\varepsilon = 0.88$$

Velocidad Filtro N°02:

$$v = 0.0026 \text{ m/s}$$

Flujo Laminar turbulento Filtro N°01

$$\frac{(-\Delta P)}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2 \eta}{\varepsilon^3 d_p^2} v + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon) \rho}{\varepsilon^3 d_p} v^2$$

$$\frac{(-\Delta P)}{0.38m} = 150 \frac{(1 - 0.88)^2 \times 100.2 \times 10^5 \left(\frac{kg}{m \times s}\right)}{(0.88)^3 \times (0.882 \times 10^{-3} m)^2} 0.0026 \frac{m}{s} + 1,75 \frac{(1 - 0.88)1000}{(0.88)^3 \times (0.882 \times 10^{-3} m)} \left(0.0026 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$(-\Delta P) = 3.549571287 \times 10^{10} \text{ atm}$$

CARGO

"AÑO DE LA PROMOCION DE LA INDUSTRIA RESPONSABLE Y DEL COMPROMISO CLIMATICO"

385199

EPSEL S.A.
RECIBIDO
07 OCT 2015
HORA 11:40 AM
TRAMITE DOCUMENTARIO

Chiclayo, 01 de Octubre del 2015

Señores,

Presente.- EPSEL S.A.

Att.: Ing. Nestor Salinas Vásquez

Ref.: **COTIZACION DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA**

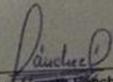
Estimados señores:

Reciba nuestro cordial y atento saludo. Somos estudiantes del X Ciclo de la escuela de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior de la Universidad Señor de Sipán. Por medio de la presente, solicitamos cotización para análisis microbiológicos de 03 muestras de agua de proceso de banano con los siguientes con los siguientes servicios parámetros:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Coliformes Totales NMP/100 ml
- Coliformes Termotolerantes
- PH
- Determinación de E.Coli

A la espera de su pronta respuesta a nuestra solicitud, quedamos de Ustedes agradecidos

Atentamente,


Katherine Lisbeth Sánchez Zapata

Dirección: Calle Obregon N° 113
Urb. Remigio Silva

Teléfono: 991569550

Ci: 387217

Solicitud de cotización – Empres EPSEL

KATHERINE LISSETH SÁNCHEZ ZAPATA



ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE
SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.
RUC: 20103448591

Boleta

N°: 1- 0000078552

PERIODO: octubre 2015

Datos Generales	
N° Inscripción:	Código:
Nombre : SANCHEZ ZAPATA KATHERINE LISSETH	
Dirección : CALLE LUIS ORBEGOSO N° 113 URB. REMIGIO SILVA	
D.N.I / R.U.C : 47457195	

Concepto	Monto
SERVICIOS VARIOS - VENTA	578.39
IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS	104.11

Observaciones

CARTA N° 892-2015 EPSEL S.A GG DE FECHA 23-10-2015
PRESUPUESTO ANALISIS DE MUESTRA DE AGUA

Son: SEISCIENTOS OCHENTA Y DOS CON 50/100 NUEVOS SOLES **682.50**

Solicitud de Servicio	766576
Fecha Emisión	27/10/2015
Ultimo día de pago	27/10/2015

Cliente

Periodo: octubre 2015 Documento : 1- 0000078552

D.N.I / R.U.C :	47457195	Nombres :	SANCHEZ ZAPATA KATHERINE LISSETH
Fecha Emisión	27/10/2015	Ultimo día de pago	27/10/2015
		Total :	682.50
Son: SEISCIENTOS OCHENTA Y DOS CON 50/100 NUEVOS SOLES			

0000078552

Emisor

Boleta de Pago Empresa EPSEL



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

*"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE"*

Chiclayo, 10 NOV. 2015

CARTA N° 932-2015-EPSEL S.A.-GG

SRTA. KATHERINE LISSETH SÁNCHEZ ZAPATA
Calle Orbegoso N° 113 Urb. Remigio Silva - Chiclayo
Ciudad.-

ASUNTO : Resultados Análisis de Muestra de Agua Residual
REFERENCIA : SOLICITUD S/N DEL 15.09.15 (385199)
INFORME N° 325-2015-EPSEL S.A.- GO/OCC (389332)

Es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo comunicarle que adjunto al presente hago llegar a su despacho los resultados de análisis Físico Químico y Microbiológicos de una (03) muestras de agua residual.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle los sentimientos de mi mayor consideración.

Atentamente,



[Firma]
M. Sc. ING NESTOR SALINAS VÁSQUEZ
Gerente General EPSEL S.A.

Añ. INF. N° 465-2015-EPSEL S.A.-GG/GO

OFICINAS: Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo - Teléf. 253479 - 252291 - Telefax 253520
Gerencia Operacional Teléf. 254132 - Av. Miguel Grau N° 451 Gerencia Comercial Teléf. 273609 - 235757
Emergencias Teléf. 238363 - 208877 - Pág. Web: www.epsel.com.pe

Resultados de Análisis de Muestra Residual



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CÚDELA NO LA DESPERDICIE"

EPSEL S.A.
GERENCIA OPERACIONAL
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOS - QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
EMPACADORA ALGARROBO**

PARAMETROS	A1-2015-T TINA DE LAVADO	A1-2015-F1 FILTRO 1	A1-2015-F2 FILTRO 2
Código de muestra	LCC - 4493 - 15	LCC - 4494 - 15	LCC - 4495 - 15
Fecha de Análisis:	22/10/2015	22/10/2015	22/10/2015
DBO, mg/l	237.60	49.50	79.20
pH	6.80	6.50	6.30
Sól. Sedimentables Suspendidos Totales ml/l	8	10	12
Coliformes Totales Presuntiva, NMP/100 ml	3.5E+03	5.4E+03	2.4E+03
Coliformes Totales Confirmativa, NMP/100 ml	3.5E+03	5.4E+03	2.4E+03
Determinación de E. Coli, NMP/100 ml	1.4E+01	2.0E+01	2.0E+01

OBSERVACIONES:
Las muestras fueron recolectadas y alcanzadas al laboratorio de la Oficina de Control de Calidad de EPSEL S.A. por personal interesado.



OFICINAS: Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo - Telef. 253479 - 252291 - Telefax 253520
Gerencia Operacional Telef. 254132 - Av. Miguel Grau N° 451 Gerencia Comercial Telef. 273609 - 235757
Emergencias Telef. 238363 - 208877 - Pág. Web: www.epsel.com.pe

Resultados de Análisis de las muestras de agua residual