



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“HIDRÓLISIS DE LOS RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS
PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE
A NIVEL LABORATORIO”.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

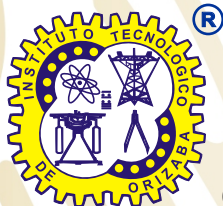
I.Q. Iris Amairani López Muñoz

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Alejandro Alvarado Lassman

CODIRECTOR DE TESIS:

M.I. Norma Alejandra Vallejo Cantú



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

NOVIEMBRE 2019



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

FECHA: 12/11/2019
DEPENDENCIA: POSGRADO
ASUNTO: Autorización de Impresión
OPCIÓN: I

C. IRIS AMAIRANI LOPEZ MUÑOZ
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN:
CIENCIAS EN INGENIERIA QUIMICA

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"HIDROLISIS DE LOS RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS PARA LA PRODUCCION DE UN BIOFERTILIZANTE A NIVEL LABORATORIO".

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

A T E N T A M E N T E

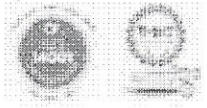

MARIO LEONCIO ARRIJOJA RODRIGUEZ
JEFE DE LA DIV. DE ESTUDIOS DE POSGRADO



Avenida Oriente 9 Núm. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México

Tel. 01 (272) 7 24 40 96, Fax. 01 (272) 7 25 17 28 e-mail: orizaba@itorizaba.edu.mx

www.orizaba.tecnm.mx





EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

FECHA : 14/10/2019

ASUNTO: Revisión de Trabajo Escrito

C. MARIO LEONCIO ARRIJOJA RODRIGUEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACION.
P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C. :

IRIS AMAIRANI LOPEZ MUÑOZ

la cual lleva el título de:

"HIDROLISIS DE LOS RESIDUOS DE FRUTAS Y VERDURAS PARA LA PRODUCCION DE UN BIOFERTILIZANTE A NIVEL LABORATORIO".

Y concluyen que se acepta.

A T E N T A M E N T E

PRESIDENTE : DR. ALEJANDRO ALVARADO LASSMAN

SECRETARIO : M.I. NORMA ALEJANDRA VALLEJO CANTU

VOCAL : M.I. ADRIAN REYES BENITEZ

VOCAL SUP. : DR. ERIK SAMUEL ROSAS MENDOZA

FIRMA
FIRMA
FIRMA
FIRMA

EGRESADO(A) DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA QUIMICA

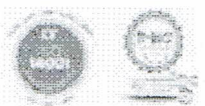
OPCION: I Tesis



Avenida Oriente 9 Núm. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México

Tel. 01 (272) 7 24 40 96, Fax. 01 (272) 7 25 17 28 e-mail: orizaba@itorizaba.edu.mx

www.orizaba.tecnm.mx



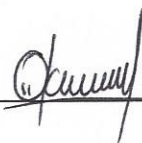
Declaración

Yo, Iris Amairani López Muñoz, certifico que esta tesis, que tiene una extensión de 91 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química bajo la asesoría y dirección de Dr. Alejandro Alvarado Lassman y M.I. Norma Alejandra Vallejo Cantú y no ha sido sometida en ningún otra institución previamente.

Fui admitido como estudiante de la maestría en Agosto 2017 y mi trabajo de tesis fue liberado para su impresión el 12 de Noviembre de 2019.

También declaro que, al presentar esta tesis, el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba tiene permiso para publicarla en formato electrónico bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Fecha: 12 Noviembre 2019 Firma: _____



Vo. Bo.

Asesor: Dr. Alejandro Alvarado Lassman

Firma del asesor: _____



DEDICATORIAS

Primeramente a **Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida con las personas que me aman y apoyan.

A mis padres **José Antonio** y **María del Carmen** por ser los pilares fundamentales en mi vida, con cariño y respeto les dedico la culminación de ésta meta, en agradecimiento al sacrificio puesto para que yo pudiera estudiar, gracias por desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, al darme consejos para no dejarme caer y enfrentar los momentos difíciles de la vida. Nunca tendré suficiente vida para agradecerles tanto. Los amo.

A mi hija **Camila** por ser la mayor motivación en mi vida para seguir adelante y jamás darme por vencida, porque mi vida tal vez sería un desastre sin ti. Porque eres mi mayor orgullo. Te amo Cami.

A mis hermanas **Diana** y **Vania**, quienes siempre me han acompañado en mis fracasos y éxitos, pero que me impulsaron a luchar por mis sueños, por escuchar mis vivencias, a Diana por desvelarse conmigo mientras hacía mis pendientes y soportar mis malhumorados momentos. Afortunada soy de tenerlas como hermanas. Las adoro.

A mis abuelos **Juana**, **Manuel** y **Mica**, esos seres maravillosos, que sin duda me han brindado su cariño, bondad y consejos, los cuales me han servido para enfrentar los retos de la vida, permitiéndome vivir momentos únicos e inolvidables al lado suyo, al mirarlos no puedo evitar pensar que sería de mi vida sin ustedes.

A mi Tía **Lichita**, porque siempre creía que lograría todo lo que me proponía dándome su cariño y apoyo, aunque este último logró no alcanzó a verlo culminado sé que estaría orgullosa.

A mi amiga, **Anahí** por su apoyo incondicional, por sus ilimitados consejos, por siempre sacarme una sonrisa en los momentos más difíciles, por su apoyo en cada una de nuestras metas para poder terminarlas.

A mis amigos **Roberto**, **Viridiana**, **Francisco**, **Pablo**, **Marín** y **Enrique** por sus buenos consejos, la amistad incondicional, por hacer de todos los momentos juntos inolvidables, apoyándome en los momentos difíciles y alegres. Porque sin ustedes el laboratorio no hubiera sido el mismo. La lista es larga, así como estoy segura que nuestra amistad perdurara.

A **Jesús**, compañero de tristezas y alegrías, pero sobre todo de retos, con quien he vivido experiencias y crecimientos, tanto profesionales como personales y comparto la mayor alegría que Dios me pudo dar, nuestra Hija.

RECONOCIMIENTOS

Al **Dr. Alejandro Alvarado Lassman**, gracias por aceptarme y formar parte de su equipo de investigación, quien además de ser un gran investigador es una gran persona, que estuvo pendiente y resolvió todas las dudas e inconvenientes para la realización de este proyecto.

A la **M.I.Q. Norma Alejandra Vallejo Cantú**, quien es una excelente profesora, causándome admiración y respeto por su forma de trabajo, siempre estuvo pendiente de que no nos faltara nada para realizar este proyecto.

Al **M.I.A. Adrián Reyes Benítez**, por ser un excelente profesor, quien sin duda fue uno de los retos en licenciatura y posteriormente para poder integrarme a la maestría dejándome grandes experiencias, también por sus recomendaciones para la realización de este proyecto.

Al **Dr. Erik Samuel Rosas Mendoza**, por todos los conocimientos brindados en la clase de Bioreactores siendo un reto sus exámenes, por sus consejos y los cambios necesarios de esta Tesis.

A todos los docentes que me impartieron clases y me apoyaron para la realización de este proyecto **M.C Gabriel Ríos, Dr. Juan Manuel, Dr. Jesús Atenodoro, Dra. Guadalupe, Dra. Rosalía**, cada uno fue parte importante de este proceso y me brindaron las herramientas necesarias no solo para realizar este proyecto sino para afrontar los retos por venir.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme la beca con número de registro 631953, para poder lograr este grado académico.

RESUMEN

“Hidrólisis de los residuos de frutas y verduras para la producción de un biofertilizante a nivel laboratorio”

Elaborado por: I.Q. Iris Amairani López Muñoz

Dirigida por: Dr. Alejandro Alvarado Lassman

M.I.Q. Norma A. Vallejo Cantú

En esta investigación se estudió el aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras a través de la generación de un biofertilizante a partir de la hidrólisis anaerobia de la fracción líquida de estos residuos. El biofertilizante obtenido se caracterizó con pruebas fisicoquímicas de pH, Carbohidratos, Grasas, Proteínas, Fósforo (P), Nitrógeno (N) y Potasio (K).

Se realizó una complementación nutricional al biofertilizante enriquecidos con dos fuentes ricas en proteína obteniendo así dos biofertilizantes. Al Primer biofertilizante se le adicionó la merma de alimento para perro de tipo comercial proveniente de una empresa de la región. Al segundo se empleó como aditivo los residuos de piel, vísceras y espinas provenientes de pescaderías, esto con el fin de incrementar las fuentes NPK, sin generar un aumento en el costo de producción del biofertilizante utilizando los desechos como fuente de sustrato.

La hidrólisis de los biofertilizantes se realizó durante 24 h a una concentración de 8 g DQO/Ld de la FL de los residuos de frutas y verduras + 1 g DQO/Ld de los aditivos, se alimentaron ambos aditivos por separado en el reactor de hidrólisis anaerobia siendo monitoreados durante 12 días para su estabilización. Los biofertilizantes se sometieron a un tratamiento térmico en un “baño termostático” durante 1 h a 90 °C para su almacenamiento. Se realizó un análisis microbiológico descartando presencia de microorganismos patógenos. Se realizaron pruebas de crecimiento con dos diferentes tipos de plantas y comparando los biofertilizantes obtenidos con un biofertilizante comercial.

ABSTRACT

“Hydrolysis of fruit and vegetable waste for the production of a biofertilizer at the laboratory level”

By: I.Q. Iris Amairani López Muñoz

Advisor(s): Dr. Alejandro Alvarado Lassman

M.I.Q. Norma A. Vallejo Cantú

In this research the use of liquid fraction of fruits and vegetables waste through the generation of a biofertilizer from the anaerobic hydrolysis was studied. The biofertilizer obtained was characterized by physicochemical tests of pH, Carbohydrates, Fats, Proteins, Phosphorus (P), Nitrogen (N) and Potassium (K).

Two sources rich in protein, as a supplements, were added to the biofertilizer, obtaining two new biofertilizers. First, the loss of commercial dog food from a company in the region was added. The second biofertilizer used as an additive wastes from skin, viscera and spines from fishmongers, this in order to increase NPK sources, without generating an increase in the cost of biofertilizer production using waste as a source of substrate.

The hydrolysis of the biofertilizers was carried out for 24 h at a concentration of 8 g COD/Ld of the LF of fruit and vegetable residues + 1 g CDO/Ld of the additives, both additives were fed separately on the anaerobic hydrolysis reactor, being operate during monitored for 12 days for stabilization. The biofertilizers were subjected to a thermal treatment in a thermostatic bath during 1 h at 90 °C for storage. A microbiological analysis was performed discarding the presence of pathogenic microorganisms, growth tests were carried out with two different types of plants and comparing the biofertilizers obtained with a commercial biofertilizer.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABLAS	VI
NOMENCLATURA	VII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
1.1 Residuos	5
1.1.1 Clasificación de residuos	5
1.1.2 Residuos sólidos orgánicos	6
1.1.3 Composición de los Residuos Sólidos Urbanos en México.....	7
1.1.4 Residuos sólidos de frutas y verduras	9
1.2 Digestión Anaerobia (DA).....	10
1.2.1 Etapas de la digestión anaerobia.....	12
1.2.2 Hidrólisis.....	12
1.3 Reactores Hidrolíticos	16
1.3.1 Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Ascendente RHAF.....	16
1.3.2 Reactor hidrolítico anaerobio de membrana	17
1.4 Biofertilizante	18
1.4.1 Definición.....	19
1.4.2 Presentación de los biofertilizantes.....	19
1.4.3 Biofertilizante comercial.....	21
1.4.4 Elementos necesarios en la presentación de un biofertilizante	24
1.4.5 Evaluación de biofertilizantes en el crecimiento de las plantas	26

1.5 ANTECEDENTES.....	28
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.1 Obtención de los RSU.....	33
2.1.1 Separación y cuantificación de los RSU	33
2.1.2 Trituración	33
2.1.3 Filtración.....	34
2.2 Hidrólisis de la Fracción Líquida (FL)	34
2.2.1 Caracterización del potencial nutricional del biofertilizante	35
2.3 Montaje y operación del Reactor de Hidrólisis Anaerobia a Nivel Laboratorio	
37	
2.3.1 Obtención de inóculo.....	37
2.3.2 Material de soporte para la colonización.....	38
2.3.3 Características del Reactor de hidrólisis y operación.....	39
2.3.4 Monitoreo del Reactor de hidrólisis a nivel laboratorio	40
2.4 Complementación nutricional del biofertilizante.....	42
2.5 Estabilización y almacenamiento del Biofertilizante.....	43
2.6 Aplicación a una especie vegetal	44
CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
3.1 Obtención de los RSU.....	48
3.2 Hidrólisis de la Fracción Líquida.....	51
3.2.1 Caracterización del potencial nutricional del Biofertilizante	52
3.3 Montaje y operación del Reactor de Hidrólisis Anaerobia	54
3.3.1 Monitoreo de pH.....	55
3.3.2 Remoción de DQO_T y DQO_S	57

3.3.3	Remoción de ST y STV	59
3.3.4	Monitoreo del RH con la adición de Croquetas	61
3.3.5	Monitoreo del RH con la adición de Pescado	62
3.4	Complementación nutricional del Biofertilizante	64
3.5	Estabilización y almacenamiento del biofertilizante	67
3.5.1	Caracterización microbiológica	68
3.6	Aplicación a una especie vegetal	69
3.6.1	<i>Raphanus Sativus</i>	69
3.6.2	<i>Caléndula officinalis</i>	75
CONCLUSIONES		82
RECOMENDACIONES.....		84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Proporción de los componentes de los RSU (SEMARNAT, 2016)	8
Figura 1.2 Recolección de RSO	9
Figura 1.3 Generación de RSU en el municipio de Orizaba, 2000 a 2017	10
Figura 1.4 Etapas de la digestión anaerobia	14
Figura 1.5 Vista de los RHFA con sus accesorios.....	17
Figura 1.6 Esquema y vista del reactor de membrana	18
Figura 1.7. Presentación líquida y sólida de un biofertilizante.	20
Figura 1.8. Logotipo OMRI en Biofertilizantes certificados.	21
Figura 1.9 Clasificación de nutrientes	24
Figura 2.1 Metodología	32
Figura 2.2 Reactor hidrolítico	35
Figura 2.3 Inóculo obtenido del RH.	38
Figura 2.4 Panel diseñado con el material de soporte para la colonización.....	38
Figura 2.5 Esquema del reactor de hidrólisis a nivel laboratorio.....	39
Figura 2.6 a) Baño termostático y b) Controlador de temperatura	44
Figura 2.7 Especies vegetales	45
Figura 2.8 Experimentos para determinar la efectividad de los biofertilizantes.....	46
Figura 3.1 Cuantificación y separación de los residuos	48
Figura 3.2 Fracción líquida almacenada como sustrato para el RH.....	51
Figura 3.3 Fracción Líquida sin hidrólisis y Fracción Líquida Hidrolizada	52
Figura 3.4 Reactor de Hidrólisis Anaerobia	54
Figura 3.5 Monitoreo de pH a 5 g DQO/Ld.....	56
Figura 3.6 Monitoreo de pH a 8 g DQO/Ld.....	57
Figura 3.7 Remoción de DQO Total y Soluble a 5 g DQO/Ld.....	58
Figura 3.8 Remoción de DQO Total y Soluble a 8 g DQO/Ld.....	59
Figura 3.9 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) a 5 g DQO/Ld.....	60

Figura 3.10 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) a 8 g DQO/Ld.....	60
Figura 3.11 Remoción de DQO Total y Soluble complementado FL con croquetas ..	61
Figura 3.12 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) complementado con FL de croquetas	62
Figura 3.13 Remoción de DQO Total y Soluble complementado FL con croquetas ..	63
Figura 3.14 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) complementado con FL de residuos de pescadería	63
Figura 3.15 Croquetas y fracción líquida de pescado.....	64
Figura 3.16 Tratamiento térmico del biofertilizante	68
Figura 3.17 Crecimiento de la planta de Rábano con el testigo.....	71
Figura 3.18 Crecimiento de la planta de Rábano con el Biofertilizante de Croquetas	71
Figura 3.19 Crecimiento de la planta de Rábano con el Biofertilizante Comercial	72
Figura 3.20 Crecimiento de la planta de Rábano con el Biofertilizante de Pescado ..	72
Figura 3.21 Crecimiento de Rábanos a) Croquetas b) Agua c) Comercial d) Pescado	73
Figura 3.22 Hojas del Rábano con presencia de Plaga de Pulgones	74
Figura 3.23 Hojas del Rábano sin presencia de la Plaga de Pulgones.....	74
Figura 3.24 Siembra de las plantas de Caléndula para cada una de las pruebas	79
Figura 3.25 Crecimiento de las plantas de Caléndula a las 3 semanas.....	80
Figura 3.26 Crecimiento de las plantas de Caléndula a las 12 semanas.....	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición nutricional de diferentes biofertilizantes comerciales y abono animal	23
Tabla 1.2 Macronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas	25
Tabla 1.3 Micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas	25
Tabla 2.1 Parámetros fisicoquímicos	37
Tabla 2.2 Mezclas de alimentación.	43
Tabla 3.1 Composición de cada especie Lote 1	49
Tabla 3.2 Composición de cada especie Lote 2	49
Tabla 3.3 Composición de cada especie Lote 3	50
Tabla 3.4 Composición de cada especie Lote 4	50
Tabla 3.5 Composición de cada especie Lote 5	51
Tabla 3.6 Caracterización de la FLC	52
Tabla 3.7 Resultados obtenidos	53
Tabla 3.8 Caracterización de la Fracción Líquida con la merma de alimento para perros.....	65
Tabla 3.9 Caracterización de la Fracción Líquida de residuos de pescado	65
Tabla 3.10 Caracterización del Biofertilizante con la FL de frutas y verduras.....	66
Tabla 3.11 Caracterización del Biofertilizante con croquetas	66
Tabla 3.12 Caracterización del Biofertilizante con pescado.....	67
Tabla 3.13 Caracterización microbiológica de los biofertilizantes obtenidos.....	68
Tabla 3.14 Crecimiento de las plantas de Rábano	70
Tabla 3.15 Crecimiento del Rábano	73
Tabla 3.16 Crecimiento de la planta Caléndula del Testigo y Biofertilizante complementado con Croquetas	76
Tabla 3.17 Crecimiento de la planta Caléndula del Biofertilizante complementado con residuos de pescado y el Biofertilizante comercial	77

NOMENCLATURA

Abreviatura	Significado
AGV's	Ácidos Grasos Volátiles
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DA	Digestión Anaerobia
FL	Fracción Líquida
FLH	Fracción Líquida Hidrolizada
H ₂	Hidrógeno
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno
pH	Potencial de hidrógeno
PTRS	Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos
RH	Reactor Hidrolítico
RSO	Residuos Sólidos Orgánicos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
Cva	Carga Volumétrica Aplicada
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DQO _T	Demanda Química de Oxígeno Total
DQO _S	Demanda Química de Oxígeno Soluble
ST	Sólidos Totales
STV	Sólidos Totales Volátiles
TRH	Tiempo de Residencia Hidráulica

INTRODUCCIÓN

El incremento de la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) puede explicarse como resultado de múltiples factores, reconociéndose entre los más importantes el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas y el cambio en los patrones de consumo de la población, entre otras. En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de toneladas. Si se expresa por habitante, alcanzó 1.2 kilogramos en promedio diariamente en el mismo año (SEMARNAT, 2016).

Debido a esto, ha aumentado la preocupación sobre la eliminación de residuos, la aplicación de tecnologías eficientes para su tratamiento y la reducción de su volumen es cada vez más importante. Los residuos de frutas y verduras se producen en grandes cantidades en los mercados de muchas ciudades y constituyen una molestia en los vertederos municipales debido a su alta biodegradabilidad (García-Peña *et al.*, 2011). La fracción orgánica de los residuos sólidos municipales podría ser una alternativa mediante su transformación a partir de procesos biológicos tanto aerobios como anaerobios, siendo estos últimos una tecnología que cada día gana más importancia en el contexto mundial, ya que admite cerrar ciclos de contaminación y al mismo tiempo crear un gran potencial de producción de energías limpias o compostaje a partir de residuos líquidos y sólidos (Puerta-Echeverri, 2004).

La digestión anaerobia, se realiza en cuatro etapas donde la hidrólisis, descompone la materia orgánica por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias, que hidrolizan las grasas, proteínas y carbohidratos, transformándolos en compuestos simples como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos (García-Peña *et al.*, 2011). A partir de la digestión anaerobia de materia orgánica se obtienen tres productos básicos: el biogás (60 % metano y 40 % CO₂), un fertilizante orgánico-líquido, comúnmente denominado “biol” y un fertilizante orgánico-lodoso, denominado “biosol” dando como resultado estos productos que son de alto valor

energético y económico. Los productos sólidos y líquidos de la digestión tienen extraordinarias cualidades agronómicas beneficiosas para los cultivos, debido al contenido de nitrógeno, fósforo y potasio que presentan (que los hace potenciales sustitutos de los fertilizantes químicos NPK) (Mangwandi *et al.*, 2013). Por otra parte, la producción de fertilizantes químicos requiere cantidades significativas de energía fósil, cada vez más costosa por ser una fuente no renovable. En consecuencia, el aprovechamiento del biol y biosol constituye una potencial estrategia para sustituir de forma sostenible el uso de fertilizantes químicos (Moreno y Cotabarrén, 2015). Siendo una alternativa al tratamiento de los residuos sólidos orgánicos municipales la producción de un fertilizante orgánico obtenido a partir del efluente de un digestor o bioreactor anaerobio (Carhuancho y Guerrero, 2015). Por esta razón, se considera importante evaluar la generación de un biofertilizante utilizando el proceso de digestión anaerobia a partir de residuos de frutas y verduras, a fin de demostrar la aplicabilidad de esta tecnología como propuesta a la gestión ambiental de los Residuos Sólidos Orgánicos, generados en el Mercado Municipal de Orizaba, Veracruz.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial biofertilizante de la fracción líquida de los residuos de frutas y verduras, tratados mediante hidrólisis anaerobia.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.- Desarrollar un biofertilizante mediante la hidrólisis de la fracción líquida de los residuos de frutas y verduras.

2.- Evaluar el potencial nutricional del biofertilizante.

3.- Complementar la formulación de acuerdo a las características de un biofertilizante comercial.

4.- Estabilizar el biofertilizante para su almacenamiento mediante un tratamiento térmico.

5.- Aplicación del biofertilizante a una especie vegetal.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Residuos

Los residuos se definen formalmente como los materiales o productos que se desechan ya sea en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que se contienen en recipientes o depósitos, y que necesitan estar sujetos a tratamiento o disposición final con base en lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (SEMARNAT, 2016).

1.1.1 Clasificación de residuos

Los residuos pueden clasificarse según su estado, su origen o su manejo (Durán-Moreno *et al.*, 2013).

a) Estado

Los residuos se pueden clasificar según su estado físico. Por lo tanto, hay tres tipos de residuos: sólidos, líquidos o gases. Es importante notar que el alcance de esta clasificación también incluye el manejo asociado con un desecho específico; por ejemplo, un contenedor de aceite usado es intrínsecamente un líquido, pero se manejará como un sólido ya que es transportado por camiones y no por un sistema hidráulico.

b) Origen

Los residuos también pueden clasificarse en función de la actividad que los origina.

Los tipos más importantes son:

- Los RSU los cuales son generados por actividades domésticas, comerciales y/o institucionales y varían según los hábitos de consumo, los niveles de ingresos y los estándares de vida, entre otros.

- Los residuos industriales que son generados por la actividad industrial, están en función de la tecnología utilizada durante el proceso, la calidad de las materias primas, las propiedades físicas y químicas de los materiales, los combustibles utilizados y el embalaje necesario.
- Los residuos mineros, o también llamados relaves, incluyen todos los materiales eliminados para poder acceder a un mineral y los residuos generados durante el proceso de extracción.
- Los residuos hospitalarios son producidos por hospitales, y en general, su composición varía desde residuos domésticos e industriales hasta residuos médicos que contienen sustancias peligrosas.

c) Gestión

Otra forma de clasificar los residuos es por las características asociadas a su gestión. Dentro de esta clasificación, se pueden definir tres grupos diferentes:

- Los residuos peligrosos, considerado peligroso por tener propiedades intrínsecas que presentan riesgos para la salud y el medio ambiente.
- Residuo inerte es un desperdicio que se vuelve estable después de un período de tiempo y por lo tanto, no producirá ningún impacto ambiental considerable.
- Residuos no peligrosos.

1.1.2 Residuos sólidos orgánicos

Son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica.

La fracción orgánica de la mayoría de los residuos sólidos orgánicos se puede clasificar de la forma siguiente (Jaramillo-Henao y Zapata-Márquez, 2008):

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos.
- Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, un material polímero presente en algunos productos de papel como periódicos.
- Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos.

La característica biológica más importante de la fracción orgánica de los residuos de las ciudades, es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos relativamente inertes.

La producción de olores y la generación de moscas están relacionadas también con la naturaleza putrefactible de los materiales orgánicos encontrados en este tipo de residuos (por ejemplo los residuos de comida).

1.1.3 Composición de los Residuos Sólidos Urbanos en México

La composición de los RSU generados en México es heterogénea, incluyen papel y cartón, restos de alimentos, metales como aluminio, cobre, zinc, entre otros componentes. En la Figura 1.1 se muestra la proporción correspondiente de los diferentes tipos de componentes de los RSU. El principal tipo de residuos es el material orgánico, más del 50 % de los RSU está compuesto por desechos de alimentos y jardines, el 14 % está integrado por papel y cartón, ya que el más significativo. Alrededor del 66 % de los RSU son residuos con una composición

orgánica (residuos de alimentos y productos de papel y productos de cartón), la disposición final y la de estos residuos en los vertederos contribuyen a la generación de metano. Por esta razón, es importante implementar acciones para mitigar su impacto, como el reciclaje de los productos de papel, el compostaje de los residuos de alimentos y jardines, la cogeneración de la energía eléctrica y la quema del metano producido en los vertederos, entre otros. (SEMARNAT, 2016)

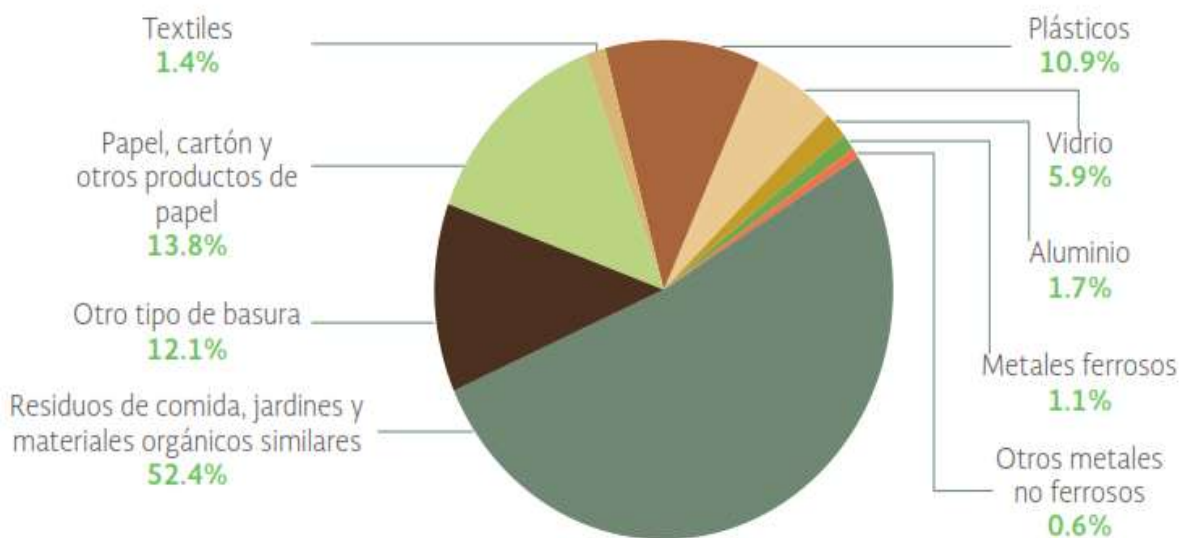


Figura 1.1 Proporción de los componentes de los RSU (SEMARNAT, 2016)

En México el manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos representa un gran reto ambiental, pues se calcula que apenas el 35% de los rellenos sanitarios bajo supervisión municipal cumplen con las normas ambientales, tanto de operación como de construcción de un relleno sanitario, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 que define las especificaciones para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (Escamilla-García, 2015).

1.1.4 Residuos sólidos de frutas y verduras

Existen diversas fuentes que generan residuos de frutas y verduras en cantidades significativas como lo son: industria procesadora de frutas y hortalizas, supermercados, casas habitación, mercados municipales, agroindustrias, empacadoras, entre otras. Describiendo una fuente de generación importante (Romero-Figueiras, 2013):

- **Mercados municipales:** Los mercados municipales han sido considerados grandes generadores de residuos en el ámbito local, al ser recintos de carácter colectivo, concurrencia pública y actividad diaria. Su gestión es responsabilidad de la administración del mercado, y por ello, es imprescindible que la entidad gestora conozca la situación de su mercado y dé una salida adecuada a los residuos que en él se generan (Figura 1.2).



Figura 1.2 Recolección de RSO

- **Generación de RSU en el Municipio de Orizaba**

Durante el año 2017, el municipio de Orizaba generó aproximadamente 36,029.15 Ton de residuos sólidos urbanos, teniendo una generación promedio de aproximadamente 98.71 Ton/día (Figura 1.3) (Coordinación de limpia pública y

ecología , 2017). Cabe mencionar que la generación y composición de los residuos sólidos urbanos está directamente ligada a la participación de la industria y al comercio de la localidad, siendo en este caso Orizaba, un punto geográfico muy importante en el abasto regional de alimentos (Alvarado-García, 2011).

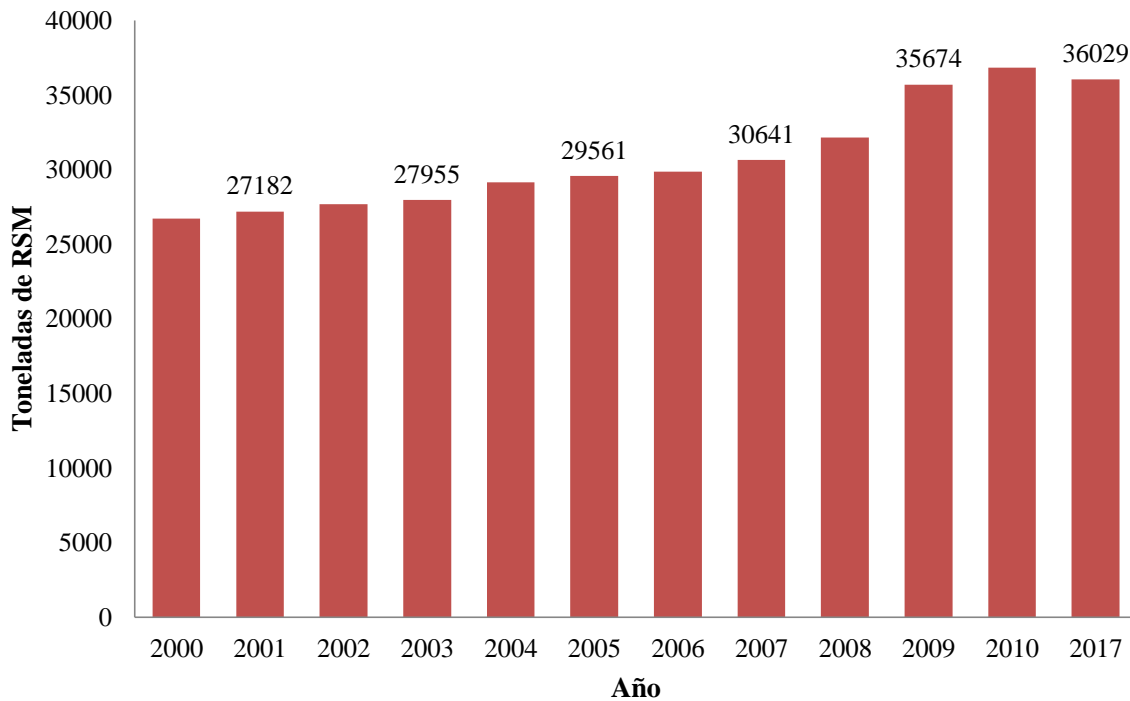


Figura 1.3 Generación de RSU en el municipio de Orizaba, 2000 a 2017

1.2 Digestión Anaerobia (DA)

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida,

restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales (Adekunle y Okolie, 2015).

La digestión anaerobia de residuos orgánicos es también una tecnología ambientalmente útil. Los beneficios de este proceso es para reducir la contaminación ambiental de dos formas principales: el entorno sellado del proceso evita la salida de metano a la atmósfera, mientras que la combustión del metano liberará dióxido de carbono neutro en carbono (sin efecto neto en la atmósfera) dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero). La composición química y la estructura de los materiales lignocelulósicos dificultan la tasa de biodegradación de los residuos sólidos orgánicos. Se ha documentado que la hidrólisis de la materia orgánica compleja en compuestos solubles es la etapa limitante de los procesos anaerobios para desechos con un alto contenido de sólidos. En consecuencia, se requieren diversos tratamientos físicos, químicos y enzimáticos para aumentar la solubilidad del sustrato y acelerar la tasa de biodegradación de los residuos orgánicos sólidos (Khalid *et al.*, 2011).

En la actualidad la digestión anaerobia se utiliza para muchos procesos, por ejemplo el tratamiento de aguas residuales, el tratamiento de residuos industriales, residuos agrícolas, residuos de tipo urbano, agua residual bruta, y la fracción orgánica de residuos sólidos municipales. La digestión anaerobia es un proceso en etapas en el que cada grupo microbiano, relacionado tróficamente, aprovecha como sustrato los productos generados por el metabolismo de los microorganismos responsables del paso anterior. Es así como, la digestión anaeróbica, es un método de tratamiento de residuos, que permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, al estabilizarla y la producción también de biofertilizantes. Así mismo, contribuye a mejorar las condiciones sanitarias mediante el control de la contaminación (Mojica *et al.*, 2016).

1.2.1 Etapas de la digestión anaerobia

Durante este proceso participan varios grupos de microorganismos que dividen el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica en cuatro etapas como se muestra en la Figura 1.4 (Varnero-Moreno, 2011):

1. Hidrólisis
2. Fermentación ácida o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H_2 y CO_2 (Varnero-Moreno, 2011).

1.2.2 Hidrólisis

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos (carbohidratos, lípidos y proteínas). La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido en sólidos. Incluso en caso donde las fases acidogénicas o

metanogénicas son consideradas como pasos limitantes, la hidrólisis puede afectar el conjunto del proceso (Pavlosthatis y Giraldo-Gómez, 1991).

Para llevar a cabo la biodegradación, ciertos microorganismos secretan diferentes tipos de enzimas, llamadas enzimas extracelulares que “cortan” moléculas grandes en pedazos más pequeños para que los microorganismos pueden tomar dentro de la célula y utilizarla como una fuente de energía y nutrición. Los microorganismos que rompen diferentes azúcares son llamados sacarolíticos, mientras que los que rompen proteínas son llamados proteolíticos (Hassan y Nelson, 2012).

La hidrólisis de los polímeros naturales se realiza a través de enzimas sintetizadas por los microorganismos, tales como celulasa, proteasa y lipasa. Estas enzimas, denominadas hidrolíticas, pueden ser excretadas al medio (exoenzimas) o estar asociadas a la envoltura celular. Se necesita una amplia variedad de bacterias para asegurar la presencia de exoenzimas y endoenzimas para la degradación del sustrato presente (Parra Huertas y Campos Montiel, 2013). Los principales géneros que hacen parte de los microorganismos hidrolíticos se encuentran: *Bacillus*, *Peptostreptococcus*, *Propionibacterium*, *Bacteroides*, *Miroccus* y *Clostridium*, *Acetovibrio*, *Micrococcus* y *Staphylococcus* (Gerardi, 2003).

Las bacterias hidrolíticas son responsables de la degradación de monómeros que estarán disponibles para el siguiente grupo de bacterias, si la materia base es compleja, la fase hidrolítica es relativamente lenta, por lo que esta etapa es considerada la limitante del proceso anaerobio (Poirrier González , 2005).

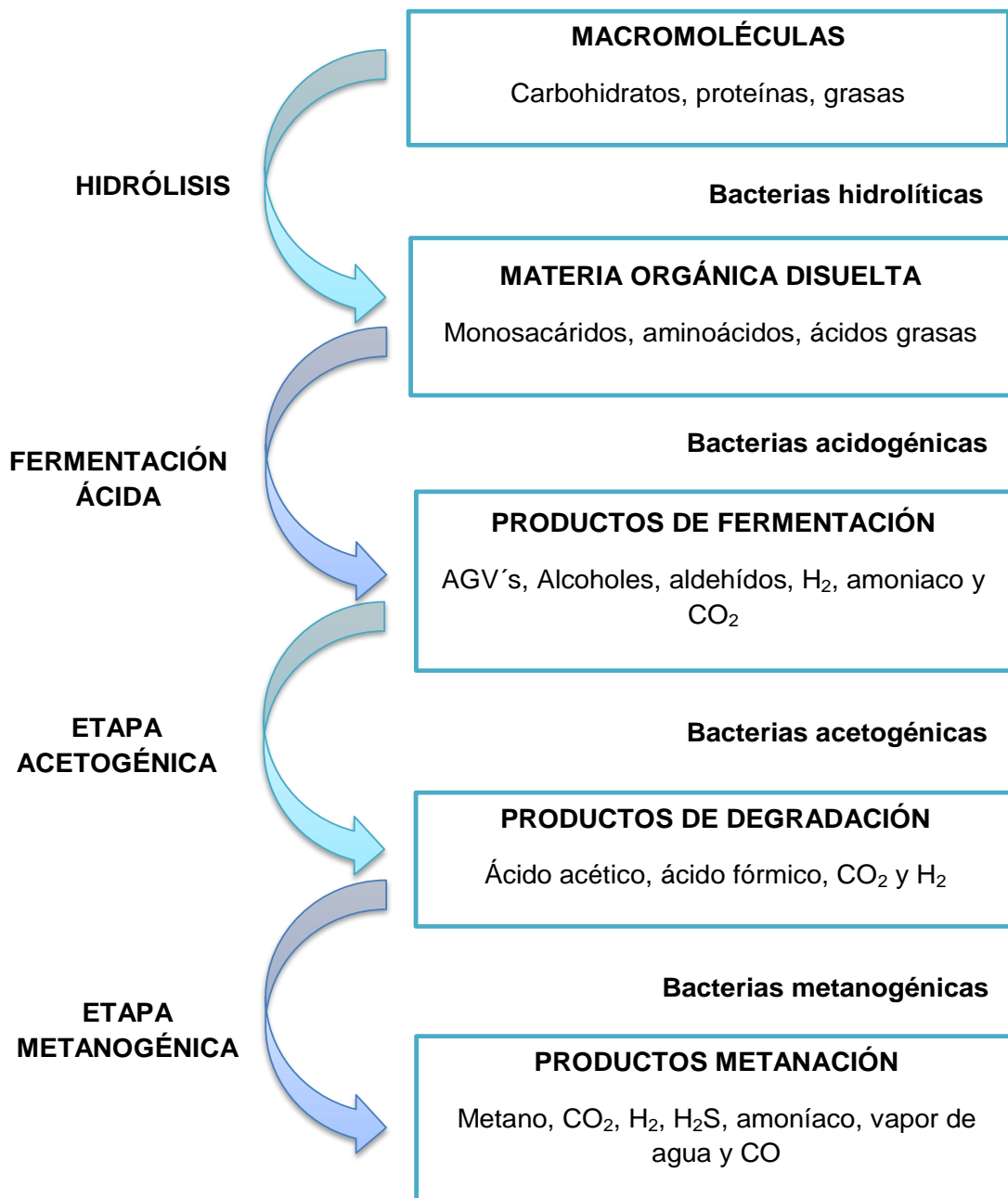


Figura 1.4 Etapas de la digestión anaerobia

1.2.2.1 Hidrólisis de carbohidratos

Los carbohidratos están formados a partir de la unión de monosacáridos por medio de enlaces glicosídicos, y su hidrólisis requiere la acción de diversos sistemas

enzimáticos específicos y modos de acción diferentes. Así por ejemplo la degradación de celulosa es llevada a cabo por una mezcla enzimática compuesta por exo-glucanasas, endo-glucanasas y celobiasas, siendo esta mezcla comúnmente denominada celulasas. Las quitinasas hidrolizan la quitina y el quitosano; y el almidón requiere de la acción de una compleja mezcla enzimática formada por α y β amilasas, glucoamilasas y glucanasas. Si bien es cierto, no se ha determinado que la presencia de aminoácidos ejerza algún efecto negativo sobre la actividad enzimática, se encontró que el amonio puede inhibir la fermentación de carbohidratos.

Elbeshbishy y Nakhla (2012) mencionan que los carbohidratos son primero hidrolizados por enzimas a azúcares, los cuales son degradados por microorganismos acidógenos a ácidos grasos volátiles, antes de seguir la conversión por acetógenos a acetato, dióxido de carbono e hidrógeno. Por último el acetato y CO_2 / H_2 son convertidos por metanógenos a metano.

La hidrólisis de los residuos puede ser catalizada por el mismo número de microorganismos; sin embargo, la velocidad de hidrólisis de polímeros puede ser diferente. En los reactores durante esta etapa, los procesos anaerobios de hidrólisis de polímeros a monómeros son más lentos que la fermentación de monómeros a ácidos y otros productos de fermentación (Lim y Wang, 2013).

1.2.2.2 Hidrólisis de proteínas

La hidrólisis óptima de proteínas requiere de un pH neutro. En contraste a la fermentación de carbohidratos, lo cual disminuye el pH debido a la formación de Ácidos Grasos Volátiles (AGVs), la fermentación de aminoácidos en reactores de aguas residuales no provoca un cambio de pH significativo debido a la formación de amonio y ácidos (Lim y Wang, 2013).

Las proteínas son hidrolizadas por proteasas en péptidos. Los péptidos son desdoblados por peptidasas a aminoácidos. Los aminoácidos son degradados por

diferentes rutas a varios productos finales, incluyendo ácidos orgánicos, amonio, CO₂ y pequeñas cantidades de H₂ y componentes conteniendo sulfuro. En la oxidación de aminoácidos, el electrón aceptor podría ser otro aminoácido o bacterias consumidoras de hidrógeno (Hassan y Nelson, 2012). Generalmente la tasa de hidrólisis de proteínas es menor que la de los carbohidratos.

1.2.2.3 Hidrólisis de lípidos

Los lípidos generalmente están presentes en la forma de triacilglicéridos, siendo hidrolizados a glicerol y una mezcla de tres ácidos grasos de cadena larga. Este proceso es llevado a cabo por enzimas denominadas comúnmente lipasas; este tipo de enzima actúa solo en la interfase agua-aceite y no en el medio. En este caso los ácidos grasos de cadena larga pueden ser tóxicos debido a que se absorben sobre la superficie celular bloqueando los mecanismos de transporte (Hernández-Martínez, 2012).

1.3 Reactores Hidrolíticos

Dentro del concepto de biodegradabilidad anaerobia de residuo, los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio contemplan la separación de las fases Hidrolítica-Acidogénica y Metanogénica. Por tal razón, en los tanques que conforman los reactores para dichas fases, se experimentan reacciones bioquímicas diferentes.

1.3.1 Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Ascendente RHFA

Cerquera Rivera (2017) evaluó el desempeño del Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Ascendente como tratamiento primario de las aguas mieles del café en el departamento del Valle del Cauca.

Este reactor está conformado por un tanque de polietileno negro en tronco de cono, multiusos, de 2 m³, la altura total es de 156 cm sin tapa, un diámetro superior de 146 cm y un diámetro inferior de 115 cm, el agua residual ingresan al reactor por el fondo a través de un conducto con llave de de control lateral para cualquier obstrucción, las aguas tratadas salen a una altura de 56 cm del fondo a través del accesorio denominado cuello de ganso. Estos reactores (Figura 1.5) tiene un TRH de 48 horas, que favorecen el contacto íntimo tanto de la biopelícula como del Floc granular suspendido con las aguas residuales, permite el trabajo específico de las bacteria especializas en la hidrólisis y acidogénicos y alcanza una alta retención de insolubles.

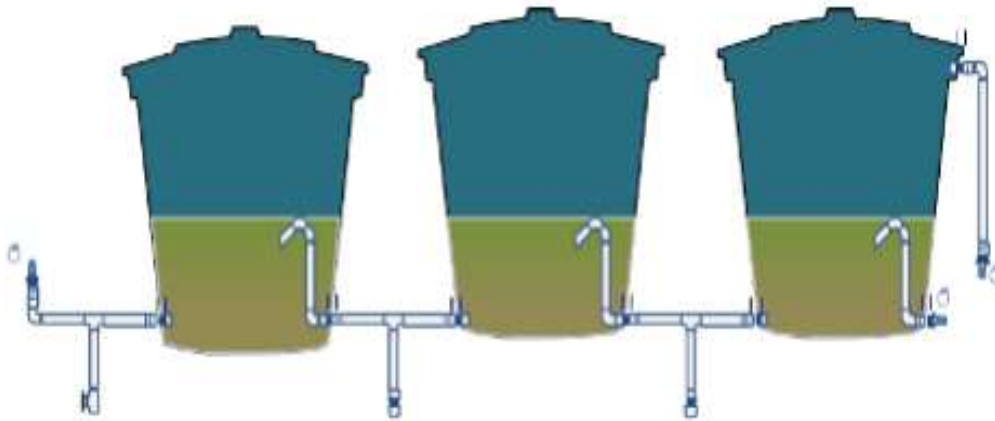


Figura 1.5 Vista de los RHAFA con sus accesorios.

1.3.2 Reactor hidrolítico anaerobio de membrana

Escobar Unapanta (2011) implementó un reactor CSTR de 1,75 L de volumen de trabajo seguido de un módulo externo de microfiltración de fibra hueca, Microza, Pall, tamaño de poro 0,1 μm de Polivinildenofluoruro (PVDF), longitud 13 cm, diámetro 2,5 cm. Manómetros 2.5", 1/4"NPT, 0-60 PSI, Winters. Mangueras de alta presión Pharmmed L/S 16, Masterflex. Bombas persitálticas de alimentación y recirculación (Masterflex, Console Drive 7520-00, 1-100 rpm. Cabezales Easy Load. En la Figura

1.6 se presenta un esquema y una vista del reactor hidrolítico anaerobio de membrana implementado.

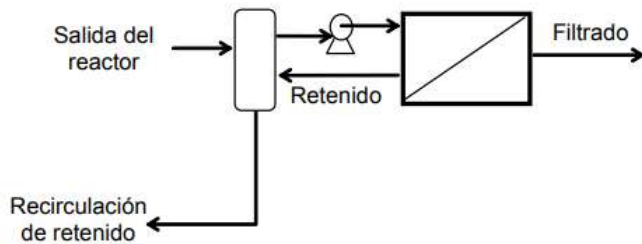


Figura 1.6 Esquema y vista del reactor de membrana

El reactor CSTR se inoculó con lodo anaerobio no metanogénico con características hidrolíticas provenientes de un reactor hidrolítico de mantención. Se operó a 15 °C con diferentes TRH 24, 12, 6 y 3 h y caudales de recirculación del retenido al reactor CSTR de 15, 30 y 45 mL/min. En el reactor hidrolítico se mantuvo una concentración de biomasa de alrededor de 18 gSST/L y 16 gSSV/L.

1.4 Biofertilizante

Uno de los aspectos más importantes en cuanto al proceso de elaboración de los biofertilizantes líquidos, es el medio donde se produce la digestión de la materia orgánica por parte de los microorganismos, si éste es aeróbico a anaeróbico, a causa de que los procesos, microorganismos involucrados y productos resultantes, serán distintos en cada uno de ellos, el término biofertilizante se refiere a un efluente resultante de la fermentación de la materia orgánica de origen animal o vegetal, por

un determinado tiempo, en un biodigestor. El resultado de este proceso es un sistema de dos fases: una sólida usada como abono orgánico y otra líquida utilizada como fertilizante de riego o foliar (Tarigo *et al.*, 2004).

1.4.1 Definición

Se denomina biofertilizante a un producto que contiene uno o varios microorganismos y puede ser aplicado a la semilla o al suelo con el fin de incrementar su número, asociarse directa o indirectamente al sistema radical de las plantas, favorecer su interacción e incrementar las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas y se hacen más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos. El uso de estos biopreparados presenta como ventajas que, origina procesos rápidos, como son en general los de origen microbiano, consumen escasa energía no renovable, y, son "limpios", es decir, no contaminan el medio ambiente. (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

Los biofertilizantes son más baratos de producir que los fertilizantes químicos y eso permite que su precio sea más bajo que el de los fertilizantes químicos y por tanto se reducen los costos de producción. Al reducir o eliminar el uso de los fertilizantes químicos, la productividad y la rentabilidad también serán mayores (SAGARPA-COFUPRO-UNAM, 2013).

1.4.2 Presentación de los biofertilizantes

El sustrato o vehículo en el que se encuentran los biofertilizantes tienen la capacidad de mantener a los microorganismos con vida para que su funcionamiento sea adecuado y además facilite su aplicación. Existen diferentes presentaciones en las que se pueden encontrar (SAGARPA-COFUPRO-UNAM, 2013):



Figura 1.7. Presentación líquida y sólida de un biofertilizante.

▪ Presentación líquida

El vehículo puede ser un medio que contiene agua y minerales (medios nutritivos). Para evitar su contaminación con otros organismos no deseados y garantizar la viabilidad de los microorganismos que contiene debe ser envasado en condiciones de esterilidad y en un recipiente que no sea tóxico para los microorganismos o para el ambiente. Si el biofertilizante líquido se hincha o al abrirlo se escucha el escape de un gas o tiene olor a putrefacción el producto, éste se ha contaminado y puede representar un riesgo para la salud, por lo que no se podrá garantizar su adecuado funcionamiento y por lo tanto no debe ser utilizado. El sustrato o vehículo en el que se encuentran los biofertilizante tiene la capacidad de mantener a los microorganismos con vida para que su funcionamiento sea adecuado y además facilite su aplicación. Para garantizar que estos sustratos fueron manejados adecuadamente y que han sido esterilizados y no representan un riesgo para el cultivo o para la salud, el producto debe indicar en la etiqueta el registro contra riesgos sanitarios RSCO, que garantiza que el producto fue evaluado por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (SAGARPA-COFUPRO-UNAM, 2013).

- **Presentación sólida**

Los biofertilizantes en presentaciones sólidas pueden tener una variedad de sustratos como vehículo, como arcilla, turba o peat moss, así como suelo estéril. Las indicaciones en el producto nos dirán como trabajar con cada uno.

En el caso de los biofertilizantes en estado sólido será necesario utilizar un adherente si su aplicación es en la semilla. Un adherente es la sustancia que permitirá que el biofertilizante se pegue a las semillas, no es tóxico ni peligroso y no altera la sanidad de las semillas, su capacidad de germinación o de absorber agua del suelo, sólo servirá para adherir los microorganismos a la semilla para su siembra. La mayor parte de los biofertilizantes sólidos incluyen su propio adherente en forma de un polvo soluble en agua, la mayoría consiste de 5 % carboximetil-celulosa que una vez disuelto se utiliza para hidratar la semilla antes de la aplicación del biofertilizante, es un poco pegajoso.

1.4.3 Biofertilizante comercial

Instituto de Evaluación de Materiales Orgánicos (OMRI) es una organización internacional sin fines de lucro que determina qué productos están permitidos para uso en la producción y procesamiento orgánico. Los fertilizantes provistos del logotipo OMRI (Figura 1.8) han sido aceptados y se pueden usar en la producción biológica certificada según las normas del programa nacional orgánico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA National Organic Program Rule).



Figura 1.8. Logotipo OMRI en Biofertilizantes certificados.

Las características principales de este biofertilizante son:

- Aportar nutrientes para las plantas.
- Estimular el desarrollo del sistema radicular, mejorando la absorción de nutrientes y agua.
- Activar los microorganismos benéficos del suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes y ayudando a combatir las enfermedades del suelo.
- En fertirriego ayuda como limpiador de las líneas de goteros, disolviendo las sales que se acumulan en ellas.

El fabricante garantiza el contenido en este producto de: 9 % de aminoácidos, 5 % de Nitrógeno orgánico, 1 % de Óxido de Potasio, 0.05 % de Calcio, 0.08 % de Magnesio y 25 % de Materia orgánica. La densidad aparente del producto es de 1.25 g/mL (Tarigo *et al.*, 2004).

En la Tabla 1.1 se muestra la composición nutricional de algunos biofertilizantes comerciales.

Los nutrientes se encuentran formando complejos, agregados o están disueltos en el agua retenida, los elementos químicos raramente se encuentran formando distintos compuestos químicos como sales, ácidos, etc. Las sales y otros compuestos tiene propiedades eléctricas, que poseen una carga positiva y otra negativa atrayéndose entre sí y de esta manera se mantienen unidas a los elementos nutritivos. Los nutrientes se clasifican en macronutrientes los que se obtienen del agua, aire, minerales y materia orgánica y en micronutrientes los que provienen del suelo como iones disueltos en el agua provenientes de la roca madre (Figura 1.9) (Ttito Huahuachampi, 2019).

Tabla 1.1 Composición nutricional de diferentes biofertilizantes comerciales y abono animal

Composición	Bioestimulante orgánico Trébol	Fertilizante orgánico líquido de lombriz San Rafael	Aminon- Solo	Abono animal
Referencias	Orgánicos, 2017	Ramírez-Castañeda <i>et al.</i> , 2011	Tarigo <i>et al.</i> , 2004	Maldonado-Rebollo, 2012
Nitrógeno total	0.5 %	6 %	5 %	1.7 – 7.8 %
Fósforo	0.3 %	3.5 %		0.3 – 2.3 %
Potasio	2 %	10 %	1 %	2.8 %
Sulfato	7.3 %	-	-	-
Azufre	-	0.23 %	-	-
Calcio	-	0.01 %	0.05 %	0.3 – 8.1 %
Magnesio	-	0.0075 %	0.08 %	0.29 – 0.63 %
Cobre	-	0.0175 %		16 -105 mg/kg
Boro	900 ppm	0.010 %		-
Zinc	700 ppm	0.06 %		56 – 215 mg/kg
Hierro	170 ppm	0.0040%		0.02—0.13 %
Manganeso	15 ppm	0.008 %		-
Carbohidratos	18 %	-		-
Aminoácidos	15 %	-	9 %	-
Ácidos húmicos	10 %	-		-
Ácidos fúlvicos	10%	-		-
Materia orgánica	-	-	25 %	-
Presentación	Líquido	Líquido	Líquido	Sólido

1.4.4 Elementos necesarios en la presentación de un biofertilizante

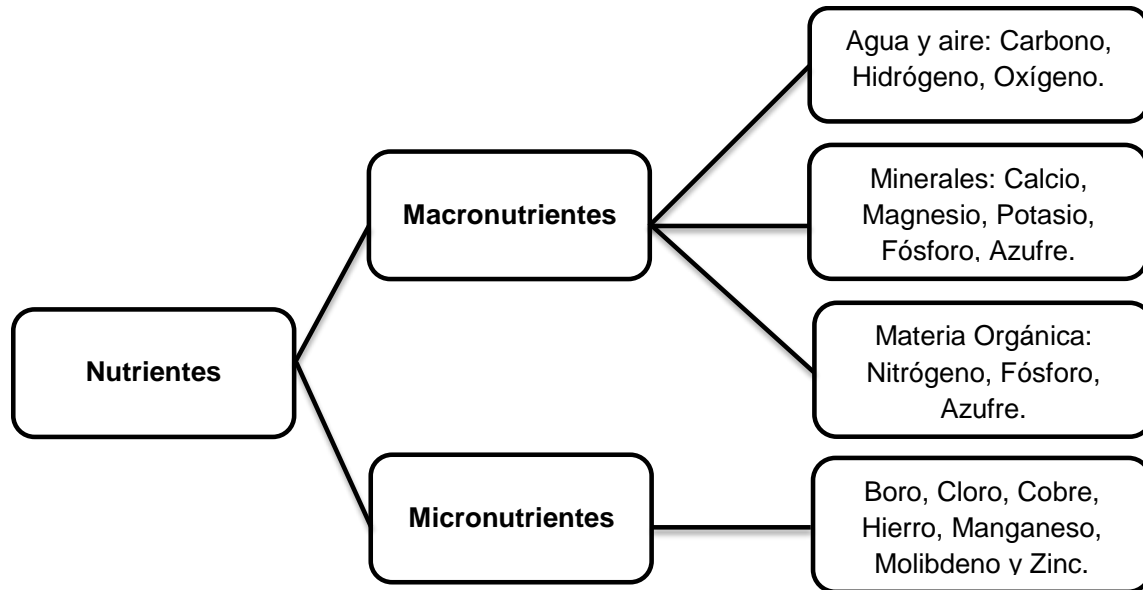


Figura 1.9 Clasificación de nutrientes

Las plantas toman del suelo, a través de sus raíces, una serie de sustancias denominadas elementos nutritivos de los cuales depende su crecimiento, fructificación y calidad de la misma. Estos elementos son absorbidos por las plantas a través de las hojas y los tallos. Se clasifican según la importancia y cantidades requeridas por las plantas en la Tabla 1.2 y 1.3 (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

Los elementos más importantes para el biofertilizante son el N, P Y K. Esto se debe a que son requeridos por la planta en grandes cantidades en relación con otros nutrientes y son los nutrientes que se encuentran más probablemente para limitar el crecimiento y desarrollo de la planta en los sistemas del suelo (Alfa *et al.*, 2014).

Tabla 1.2 Macronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas

Nutriente	Función
Nitrógeno (N)	Acelera el crecimiento de las plantas y da su color verde.
Fosforo (P)	Actúa en la formación de las raíces estimulando su crecimiento e interviene en la formación y calidad de las semillas.
Potasio (K)	Da vigor a las plantas, ayuda al desarrollo radicular y es fundamental en la formación de los frutos.
Azufre (S)	Es importante para la formación de nódulos nutrificantes en las leguminosas.
Calcio (Ca)	Importante en la descomposición de la materia orgánica, ayuda a la simulación de ciertos nutrientes como el (P) por parte de la planta y estimula la producción de granos y semillas.
Magnesio (Mg)	Es necesario en la formación de azúcares y regula el consumo de otros elementos nutritivos.
Cloro (Cl)	Actúa como activador de enzimas para producción de oxígeno a partir del agua de la fotosíntesis.

Tabla 1.3 Micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas

Nutriente	Función
Manganeso (Mn)	Participa en la producción fotosintética de oxígeno a partir del agua y formar parte en la formación de clorofila.
Cobre (Cu)	Se involucra en la formación de la pared celular y es parte de algunas enzimas.
Zinc (Zn)	Necesario para la formación de ácido indolacético.
Hierro (Fe)	Encargado de la síntesis de clorofila y como portador de electrones en la fotosíntesis.
Molibdeno (Mo)	Forma parte del nitrato.reductasa.
Boro (B)	Encargado del transporte de carbohidratos y viabilidad del polen.

El Nitrógeno, N₂ es el motor del crecimiento de la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas. Un buen aporte de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes (Román *et al.*, 2013).

El Fósforo, P juega un papel importante en la transferencia de energía, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde el pH limita su disponibilidad, favoreciendo la fijación (Román *et al.*, 2013).

El Potasio, K juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, y por ende en la estructura de la planta. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades (Román *et al.*, 2013).

1.4.5 Evaluación de biofertilizantes en el crecimiento de las plantas

Ortega-Martínez *et al.*, (2010) Evaluaron el efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*lycopersicum esculentum mill*) bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron cuatro sustratos base: aserrín compostado de pino (*Abies religiosa*), composta de estiércol de ovino, suelo local (tierra agrícola), tezontle rojo y la mezcla entre estos a un volumen proporcional 1:1 aplicados a las plántulas de tomate. Las variables evaluadas fueron Altura (cm), diámetro de tallo (cm) realizando mediciones cada 25 días después del trasplante (ddt). Se empleó cinta metálica milimetrada (con error de lectura de 0.05 cm). Los puntos de referencias fueron la base del tallo y la yema apical; número de flores del primer hasta el quinto racimo, número total de frutos obtenido por la suma de frutos, chicos, medianos, grandes y extra grandes; rendimiento total por planta (kg), y por metro cuadrado (kg/m²).

Ramírez Vargas y Nienhuis (2012) Mediante un experimento, se evaluaron el crecimiento y la productividad de tres genotipos de tomate en tres localidades de Costa Rica con un sistema de cultivo protegido (San Blas de Carrillo en la provincia de Guanacaste; Santa Clara de San Carlos en la Provincia de Alajuela y también en Zapote de Zarcero en la provincia de Alajuela). Se evaluaron 19 variables fisiológicas de crecimiento y productividad para nueve tratamientos o interacciones. Las variables fueron: Peso Seco Total, Peso seco follaje, Peso seco del tallo, Peso seco de raíz, Peso seco vegetativo, Peso seco de frutos, Relacion vegetativa entre productiva, Altura de la planta, Grosor del tallo, Hojas por planta, Racimos por planta, Flores abiertas por planta, Frutos por planta, Flores promedio por racimo, Frutos promedio por racimo, Peso total de frutos por planta, Peso promedio de frutos, Producción en kg de frutos por m² e Índice de área foliar.

Rojas-Peña *et al.*, (2016) Monitorearon el crecimiento de las plantas cada dos días durante 20 días para registrar y fotografiar cambios que se presentaran en las plántulas tanto de arveja como de frijol. Las variables medidas fueron: tamaño de la plántula (durante todo el experimento), tamaño de la raíz (sólo al final del estudio) y peso seco (solo al final del estudio); aunque también se observaron otras características de las plántulas como color y número de hojas, pero estos datos no se tuvieron en cuenta para los análisis. Una vez se concluyó el experimento cada plántula se sacó del semillero cuidadosamente, se midió su parte vegetativa (tallo) y su raíz completas.

Ormeño Díaz *et al.*, (2018) Utilizaron un diseño de experimento en bloques completamente al azar, con un testigo y siete tratamientos, con cuatro bloques (repeticiones), 20 plantas de cada tratamiento por repetición, para un total de 80 plantas por tratamiento y 640 plantas evaluadas en total. Los tratamientos utilizados fueron: T1 (sustrato + agua), T2 (sustrato + té de estiércol 20 %), T3 (sustrato + vermicompost de lombriz 10 %), T4 (sustrato + Azotobacter), T5 (sustrato + Azotobacter + té de estiércol 20 %), T6 (sustrato + Azotobacter + solubilizador de

fósforo), T7 (sustrato + té de estiércol 20 % + vermicompost de lombriz 10 %), T8 (sustrato + raquis de plátano 10 %) para los sectores Río Bonito y El Estanquillo, en el sector La Victoria el T8 utilizado fue sustrato + organismos eficientes.

Las variables estudiadas en el crecimiento de las plántulas de café a los 4 meses fueron la altura total de la planta hasta el último verticilo formado (ALT) medido con regla, número total de hojas expandidas (NH), diámetro del tallo (DT) a un centímetro del cuello de la planta, diámetro de la raíz principal (DR) a un centímetro del cuello, usando un vernier digital-manual y número total de raíces secundarias (NR).

1.5 ANTECEDENTES

Tejada *et al.*, (2016). Estudiaron el efecto de un biofertilizante obtenido a partir de lodo de una depuradora sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos de maíz, el biofertilizante utilizado en el experimento, se obtuvo por hidrólisis enzimática (*Bacillus licheniformis*) en un bioreactor a 60 °C, con un pH 8.5 durante 120 min. El biofertilizante se aplicó de dos maneras: (I) al suelo, a tasas de 0, 10 y 20 Mg ha⁻¹ antes de la siembra, y (II) a través de la fertilización foliar, aplicando 0, 3.6 y 7.2 L ha⁻¹ tres veces durante cada temporada de crecimiento representa una tasa total de 0, 10.8 y 21.6 L ha⁻¹. Los resultados mostraron que, cuando el biofertilizante se aplicó directamente al suelo, los macro y micronutrientes analizados tanto en el suelo como en las hojas no tuvieron ningún efecto sobre el suelo, la nutrición del maíz, la calidad del grano o el rendimiento. Sin embargo, la aplicación por pulverización foliar del biofertilizante aumentó las concentraciones foliares de macro y micronutrientes, ambas tasas de prueba produjeron un aumento significativo en el rendimiento de maíz en comparación con el control sin fertilización.

Ma *et al.*, (2017). Realizaron un estudio con dos enfoques holísticos para la co-digestión del lodo activado y el desperdicio de alimentos. En el Método 1, el lodo activado y los residuos de alimentos se hidrolizaron primero con mezcla de hongos, y

el hidrolizado producido sin separación se sometió directamente a digestión anaeróbica. En el Método 2, el sólido generado después de la hidrólisis del desperdicio de alimentos por mezcla de hongos se convirtió directamente en biofertilizante, 1 kg de residuos de alimentos (peso seco) con la mezcla de hongos durante 8 h de hidrólisis ultra rápida obtuvo 0.652 kg biofertilizante, mientras que el líquido separado con alta concentración de DQO soluble se co-digerió con lodo activado para la producción de biometano. Los dos enfoques desarrollados en este estudio mostraron claramente que la co-digestión de lodo activado y residuos alimenticios pretratados con hongos fúngicos ofrecen una opción factible y económicamente viable para el manejo adecuado del lodo activado y residuos de comida.

El grupo de investigación en Ingeniería Ambiental del ITO en la Planta Piloto de Aprovechamiento de RSOM y el laboratorio de ambiental 1 realizaron los siguientes proyectos:

Alvarado-García, (2011). Cuantificó y caracterizó los Residuos Sólidos Municipales (RSM) generados en el mercado “Emiliano Zapata” de la ciudad de Orizaba, los RSM fueron utilizados como sustrato líquido por su alto contenido de materia orgánica siendo tratados mediante proceso de digestión anaerobia, también mejoró la etapa de hidrólisis a través de la realización de un tratamiento hidrolítico previo a la digestión anaerobia de la fracción soluble de RSM, estudiando el comportamiento de tres tratamientos hidrolíticos que obtuvieron remociones por encima de 80 % de DQO, mejorando la producción de biogás y la estabilidad del proceso biológico.

Hernández-Martínez, (2012). Implementó un reactor de biopelícula anaerobia a nivel planta piloto especializado en la hidrólisis de la fracción soluble de los residuos sólidos orgánicos urbanos obtenidos del “Mercado Zapata” ubicado en Orizaba, evaluando 3 diferentes valores de CVA (0.5, 1.6 y 3.2 gDQO/L d), el reactor de hidrólisis tuvo una remoción máxima de DQOs del 32 % y alcanzó un grado de

hidrólisis máximo del 27 %. Como parte complementaria operó y monitoreó dos reactores de biopelícula anaerobia a nivel laboratorio (R1 y R2), donde el Reactor 1 presentó un mejor comportamiento ante los aumentos de carga manteniendo remociones de DQOs por arriba del 90 %.

Aguilar-Montor, (2014). Realizó un estudio de distribución de tiempos de residencia en un RLF, posteriormente se acopló el reactor de biopelícula acondicionado para que solo realice las etapas de hidrólisis y acidificación denominándolo reactor de hidrólisis (RH), creando un sistema de digestión anaerobia en dos etapas para el tratamiento de la fracción soluble de residuos sólidos orgánicos municipales, determinando que el sistema anaerobio en dos etapas tiene mayor capacidad para degradar materia orgánica de la fracción soluble de los RSOM, ya que, de forma independiente, el RH degradaba 17.1 gDQO/d (85.5 % de una CVA de 20 gDQO/Ld considerando que el volumen útil del reactor es de 1 L) y el RLF 11.3 gDQO/d (90.3 % de una CVA de 7.5 gDQO/Ld considerando que el volumen útil del reactor es de 1.67 L), mientras que después de ser acoplados, en conjunto lograron remociones de 44.68 gDQO/d, esto es 20.64 gDQO/d (43 % de una CVA de 48 gDQO/Ld) y 23.94 gDQO/d (92.5 % de una CVA de 15.5 gDQO/L*d) en el RH y el RLF respectivamente, que a diferencia de los reactores por separado, ya que removió un 46.3 % más de materia orgánica.

Alvarado-Lassman *et al.*, (2017). Determinaron la composición específica de RSOM. Realizaron tratamiento mecánico para separar y caracterizar las fracciones líquidas y sólidas. Evaluaron la digestión anaerobia para la producción de biogás de la primera fracción. La digestión anaeróbica dio como resultado un tiempo de retención hidráulica (TRH) reducido de dos días con alta eliminación de DQO, es decir, 88% en promedio, con el beneficio adicional de reducir casi el 80 % en el peso de los desechos sólidos.

CAPÍTULO 2
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 2.1 se presenta de manera esquemática la metodología que se siguió para el cumplimiento de los objetivos establecidos en el proyecto investigación.

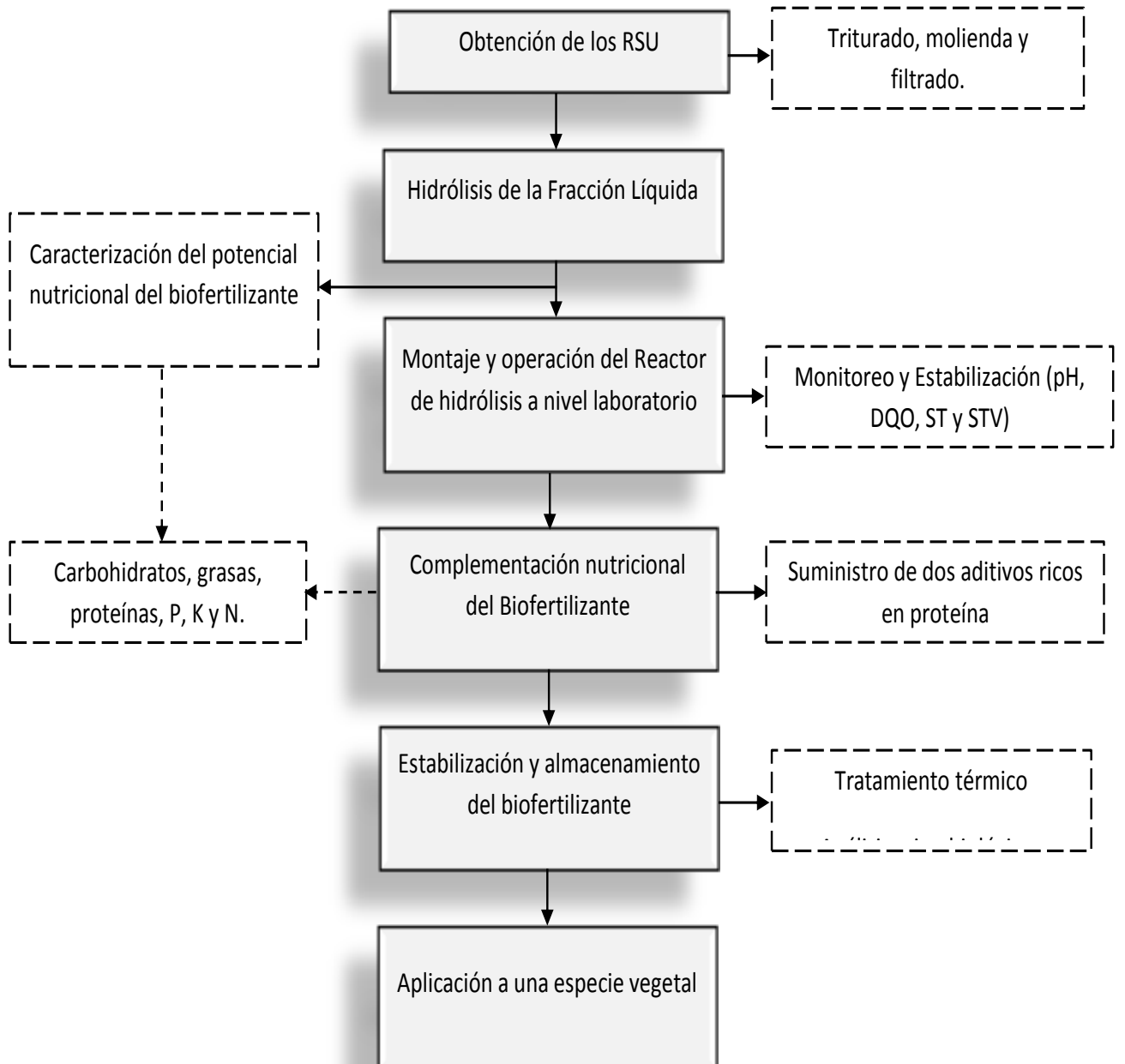


Figura 2.1 Metodología

2.1 Obtención de los RSU

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se obtuvieron del mercado “Emiliano Zapata” ubicado en la ciudad de Orizaba Ver., estos residuos estaban compuestos principalmente de frutas y verduras. La recolección se realizó de dos o tres veces por semana, dependiendo de la cantidad de residuo acumulado, dichos residuos se transportaron en tambos de 200 L hasta la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos (PTRS) dentro del Instituto Tecnológico de Orizaba.

2.1.1 Separación y cuantificación de los RSU

De manera manual los residuos de frutas y verduras se separaron por especie en cubetas de 20 L, posteriormente se pesó y cuantificó la cantidad de cada especie de frutas y verduras, de igual forma se retiró material inorgánico y componentes fibrosos o lignocelulósicos no útiles para la obtención de la fracción líquida. De los residuos de frutas y verduras se obtuvieron 5 lotes para determinar si existía variación en la obtención de la FL.

2.1.2 Trituración

La trituración de los residuos de frutas y verduras se realizó en un molino triturador de cuchillas con tornillo transportador marca VEYCO modelo MCV 320 con una capacidad máxima de 100 kg/h, una vez que la materia fue triturada se realizó una dilución 1:1 para la obtención de la fracción líquida.

2.1.3 Filtración

Después de la trituración se llevó a cabo una filtración centrífuga, para esto la fracción líquida se pasó a una centrifuga que cuenta con una canastilla que tiene orificios de 3 mm de diámetro y opera a una velocidad de 1700 RPM, posteriormente se guardó la fracción líquida de los residuos de frutas y verduras en un tanque de almacenamiento para la alimentación del Reactor Hidrolítico (RH). Finalmente se recolectó 1 L de la FL almacenada y se analizó fisicoquímicamente con los parámetros de la Tabla 2.1.

2.2 Hidrólisis de la Fracción Líquida (FL)

El reactor hidrolítico está construido en fibra de vidrio, color negro, con una capacidad de volumen total de 1200 L, diámetro interno de 1.1 m, altura de 0.95 m y un volumen útil de 1000 L, con una chaqueta exterior de calentamiento de 280 L y diámetro de 1.26 m. A su vez, dispone de 2 bombas centrífugas de 0.5 HP, una se utiliza para el bombeo a partir del tanque de almacenamiento de la fracción líquida y la segunda para llevar la recirculación del sustrato en el interior del RH.

Cuenta con un área de soporte de fibras de nylon-poliéster fijadas a una canaleta de aluminio en forma de “U” en un arreglo de 12 rieles y con un diseño de 6 paneles de policarbonato que contienen 12 fibras de nylon-poliéster de tamaño de 15x24 cm por cada panel (Apanco Rosas, 2018).

A partir del tanque de almacenamiento, se tomaron 100 L de la FL con una dilución 1:1, ajustando su pH a 5.5 para alimentar el RH de la PTRS. La hidrólisis se realizó durante 24 horas, transcurrido ese tiempo se recolectó 1 L de la Fracción Líquida Hidrolizada (FLH).

Se hidrolizaron por separado cada uno de los 5 lotes obtenidos en el RH, recolectando una muestra para su análisis fisicoquímico antes y después de la hidrólisis.



Figura 2.2 Reactor hidrolítico

2.2.1 Caracterización del potencial nutricional del biofertilizante

A la fracción líquida hidrolizada obtenida a partir de los 5 lotes se les realizaron las determinaciones fisicoquímicas mostradas en la Tabla 2.1 fundamentada principalmente en Standard Methods (SM) y Norma Mexicana (NMX), cada determinación se realizó por triplicado para obtener mayor confiabilidad de los datos.

- **Nitrógeno total (NT)**

Las determinaciones para la concentración de nitrógeno presente en la entrada y salida del reactor se realizaron mediante el método estandarizado HACH 10071 con un rango de medición de 0.5-25.0 mgN/L mediante la digestión de persulfato y lectura con espectrofotómetro.

- **Fósforo Total (FT)**

Debido a que el fósforo puede estar presente en combinación con la materia orgánica, es necesario para determinar el fósforo total, preparar la muestra mediante un método de digestión capaz de oxidar la materia orgánica efectivamente, para liberar el fósforo como ortofosfato, para su posterior determinación por el Método del Ácido Ascórbico. La concentración de fósforo total se registra como mgP/L. El método de digestión utilizado es el del ácido sulfúrico - ácido nítrico, recomendado en el Standard Methods 20ed.

- **Potasio**

La Espectroscopía Atómica abarca un conjunto de técnicas basadas en la emisión, absorción y fluorescencia de la radiación producida por el vapor atómico. Las mediciones para potasio se llevaron a cabo mediante el Método Apha. Fotometría de llama, en la cual los átomos excitados del analito sirven como fuente de radiación.

- **Carbohidratos**

La técnica de carbohidratos por el método Antrona-Sulfúrico Finleyand *et al.* 1973 consiste en la determinación colorimétrica en la cual el medio ácido hidroliza el enlace glucosídico de la sacarosa y los monosacáridos resultantes reaccionan con la antrona produciendo un color verde-azulado.

- **Grasas**

En el Método de Soxhlet, el componente de interés son las grasas, y su solubilidad es la propiedad en la que se basa. Las grasas se disuelven en disolventes no polares, como el cloroformo, el hexano y el éter de petróleo.

- **Proteínas**

El método de Lowry (1951) es un método colorimétrico de valoración cuantitativa de las proteínas 1) Los iones Cu_2^+ , en medio alcalino, se unen a las proteínas formando complejos con los átomos de nitrógeno de los enlaces peptídicos. Estos complejos Cu_2^+ proteína tienen un color azul claro.

Tabla 2.1 Parámetros fisicoquímicos

Químicos	Unidades.	Método.
pH	---	Potenciométrico 4500-H+ B Standard Methods
Carbohidratos	g/L	Antrona-Sulfúrico Finleyand <i>et al.</i> 1973
Grasas	g/L	Extracción Soxhlet 5220 D Standard Methods
Proteínas	g/L	Método de Lowry
Nitrógeno (N)	g/L	Nitrógeno Total Kjeldahl NMX-AA-026-SCFI-2010
Fósforo (P)	mg/L	Método 4500-PB 4. Digestión con H_2SO_4 - HNO_3
Potasio (K)	%	Método volumétrico NMX-Y-027-1979

2.3 Montaje y operación del Reactor de Hidrólisis Anaerobia a Nivel Laboratorio

2.3.1 Obtención de inóculo

El inóculo que se utilizó para el montaje del Reactor de Hidrólisis a Nivel Laboratorio provino del Reactor Hidrolítico que se encuentra en la PTRS. El inóculo se extrajo de la parte inferior del RH, debido a que ahí se encontraba exceso de biomasa sedimentada obteniendo 2 L de éste como se muestra en la Figura 2.3. El inóculo

contiene las bacterias hidrolíticas para llevar cabo la etapa de hidrólisis en el Reactor a Nivel Laboratorio.



Figura 2.3 Inóculo obtenido del RH.

2.3.2 Material de soporte para la colonización

Se acondicionaron 4 configuraciones de fibras de nylon-poliéster recubiertas en su contorno con placas de aluminio. Cada fibra tiene 13 cm de ancho, 55 cm de largo y 1 cm de espesor, dando un área de 1566 cm^2 por fibra. El área total de las 4 configuraciones es de 6264 cm^2 . Las fibras se sujetaron dentro de un panel de aluminio hueco con una separación de 1.75 cm. El panel diseñado se colocó dentro del reactor.



Figura 2.4 Panel diseñado con el material de soporte para la colonización.

2.3.3 Características del Reactor de hidrólisis y operación

El reactor de hidrólisis anaerobia está construido de un tubo de acrílico con un diámetro externo de 20.32 cm, diámetro interno de 19.12 cm, altura total de 66 cm, altura útil de 55 cm y volumen total de 15.50 L.

Para el arranque del reactor se fijaron condiciones operacionales como: temperatura mesofílica de 35 ± 2 °C, pH de alimentación entre 5.5 y 6.5 del sustrato, durante un periodo de 24 horas.

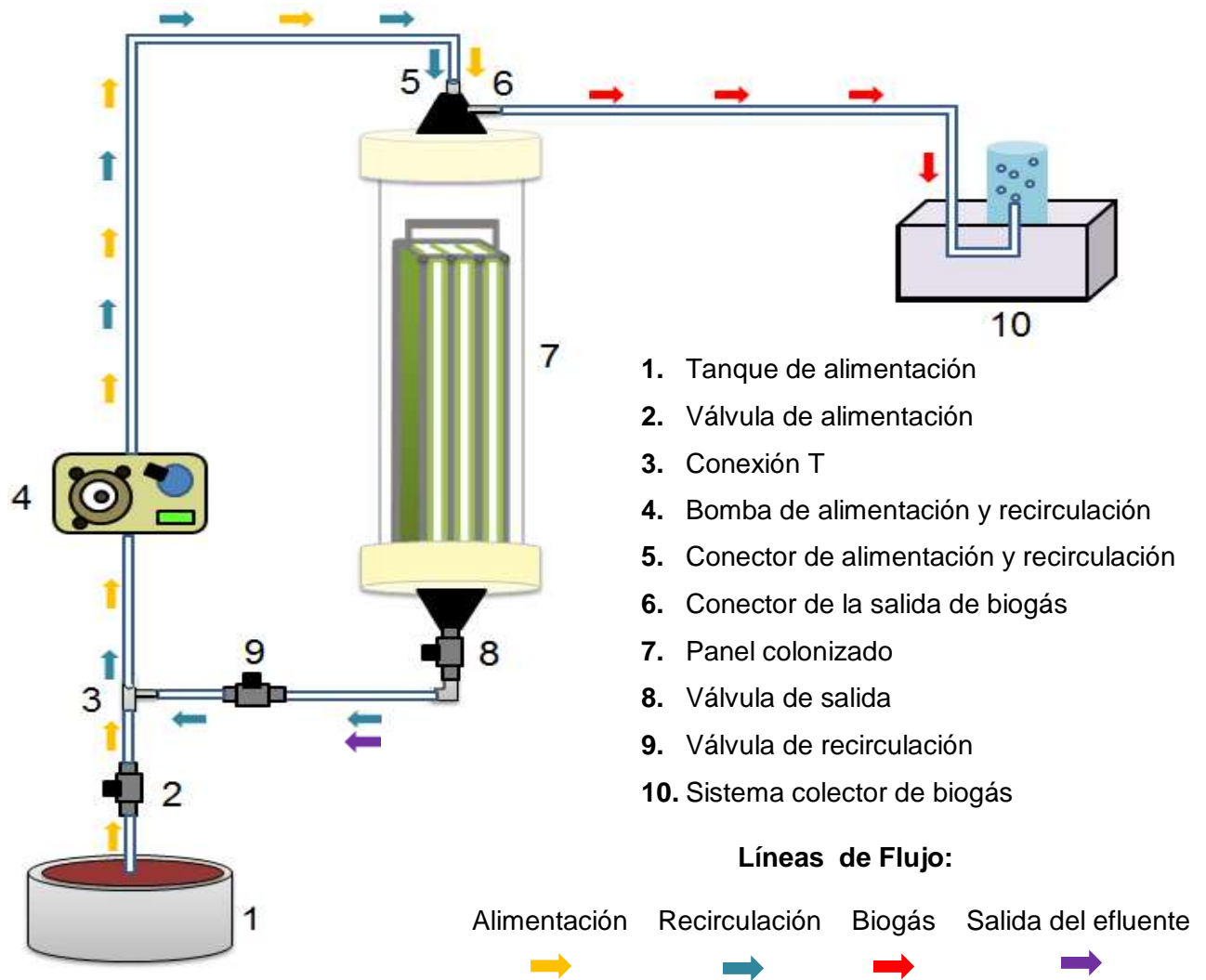


Figura 2.5 Esquema del reactor de hidrólisis a nivel laboratorio.

La operación del reactor de hidrólisis a nivel laboratorio se puede observar en la Figura 2.5 a partir del tanque de alimentación se adicionaban las mezclas de cada biofertilizante, la válvula de alimentación era abierta y posteriormente se alimentaba el reactor durante una hora. La recirculación se realizó mediante el cerrado de la válvula de alimentación durante un TRH de 24 horas en el cual se llevó a cabo la hidrólisis anaerobia. Al término de la hidrólisis, la válvula de recirculación permaneció cerrada y desconectando la manguera de la válvula de salida se recolectó el biofertilizante hidrolizado.

2.3.4 Monitoreo del Reactor de hidrólisis a nivel laboratorio

Para la estabilización del reactor se alimentó 30 % de inóculo y 70 % (sustrato-agua) a una dilución 1:1 y se dejó recirculando 2 semanas con el fin de que las bacterias hidrolíticas se adhirieran al panel.

Posteriormente se alimentó el reactor a dos Cva, siendo la primera carga de 5 g DQO/Ld monitoreada en un periodo de 7 días, mientras que la segunda fue de 8 g DQO/Ld de igual manera en un periodo de 12 días.

Las variables consideradas en el monitoreo del Reactor de Hidrólisis Anaerobia en la entrada y salida de éste se describen a continuación:

2.3.4.1 Determinación de pH

El principio básico de la medida electrométrica del pH es la determinación de la actividad de los iones hidrógeno por medición potenciométrica usando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia. Se determinó el pH (método potenciométrico 4500-H+ B standard methods) en un seguimiento diario.

2.3.4.2 Determinación de DQO_T y DQO_S

Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio. Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente. Se determinó DQO_T y DQO_S (Micro método colorimétrico 5220 Standard Methods). El porcentaje de remoción de la DQO se calculó con la ecuación (1).

$$\% \text{ Remoción DQO} = \frac{\text{DQO}_{\text{Entrada}} - \text{DQO}_{\text{Salida}}}{\text{DQO}_{\text{Entrada}}} * 100 \quad \dots (1)$$

2.3.4.3 Determinación de ST y STV

El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas, así como la cantidad de materia orgánica contenida en aguas residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

Se determinaron Sólidos Totales y Sólidos Totales Volátiles Gravimétrico 2540 B Standard methods y Gravimétrico 2540 E Standard methods respectivamente), el porcentaje de remoción de ST se calculó con la ecuación (2) y los STV con la ecuación (3).

$$\% \text{ Remoción ST} = \frac{\text{ST}_{\text{Entrada}} - \text{ST}_{\text{Salida}}}{\text{ST}_{\text{Entrada}}} * 100 \quad \dots (2)$$

$$\% \text{ Remoción STV} = \frac{\text{STV}_{\text{Entrada}} - \text{STV}_{\text{Salida}}}{\text{STV}_{\text{Entrada}}} * 100 \quad \dots (3)$$

2.3.4.4 Carga Volumétrica Aplicada (CVA)

La CVA se controló a la entrada del sistema de alimentación del reactor con los datos de volumen útil, volumen de alimentación y la concentración de la materia orgánica del parámetro de DQO_T como se muestra en la ecuación (4).

$$\text{CVA} = \frac{\text{Vol. de alimentación} \left(\frac{\text{L}}{\text{d}}\right) * \text{DQO}_T \left(\frac{\text{g}}{\text{L}}\right)}{\text{Vol. util (L)}} = \frac{\text{gDQO}_T}{\text{L}} * \text{d} \quad \dots (4)$$

2.4 Complementación nutricional del biofertilizante

Después del proceso de hidrólisis, a partir de la FL de los RSO, se obtuvo un biofertilizante el cual fue complementado con dos aditivos ricos en proteínas. Los cuales fueron alimento comercial para perros debido a su alto contenido de proteína y residuos de pescaderías. Se alimentaron ambos aditivos por separado en el reactor de hidrólisis anaerobia en proporciones de 1 g DQO/L día para enriquecer la fracción líquida de frutas y verduras.

Para el caso de alimento para perro se preparó el sustrato de 100 g de croquetas en 800 ml de agua, se dejó en reposo durante 1 hora para poder licuarlo y así obtener la fracción líquida. A los residuos de pescado se aplicó un pretratamiento de triturado

para reducir su tamaño, se licuó 266 gr de residuos de pescado (sierra) con 1 L de agua, se retiraron los sólidos para obtener solo la fracción líquida.

Posteriormente se realizaron las mezclas que se observan en la Tabla 2.2 con la cual se alimentó el Reactor de hidrólisis anaerobia. Los sustratos fueron caracterizados con los parámetros de la Tabla 2.1.

Tabla 2.2 Mezclas de alimentación.

Biofertilizante 1		Biofertilizante 2	
Agua	7038 mL	Agua	7085 mL
FL de frutas y verduras	1650 mL	FL de frutas y verduras	1630 mL
FL de Croquetas	112 mL	FL de Pescado	85 mL

En la Tabla 2.2 se realizaron los cálculos necesarios para determinar la cantidad necesario en mL de la FL de frutas y verduras a una concentración de 8 g DQO/Ld y 1 g DQO/Ld para cada uno de los aditivos ricos en proteínas. La hidrólisis de cada mezcla de los biofertilizantes se realizó por separado.

2.5 Estabilización y almacenamiento del Biofertilizante

Los dos biofertilizantes hidrolizados obtenidos de las mezclas se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 mL con tapa para posteriormente llevarlos a un sistema de calentamiento denominado “Baño termostático con controlador de temperatura” durante un periodo de 1 hora a 90 °. En la Figura 2.6 se muestra el esquema.

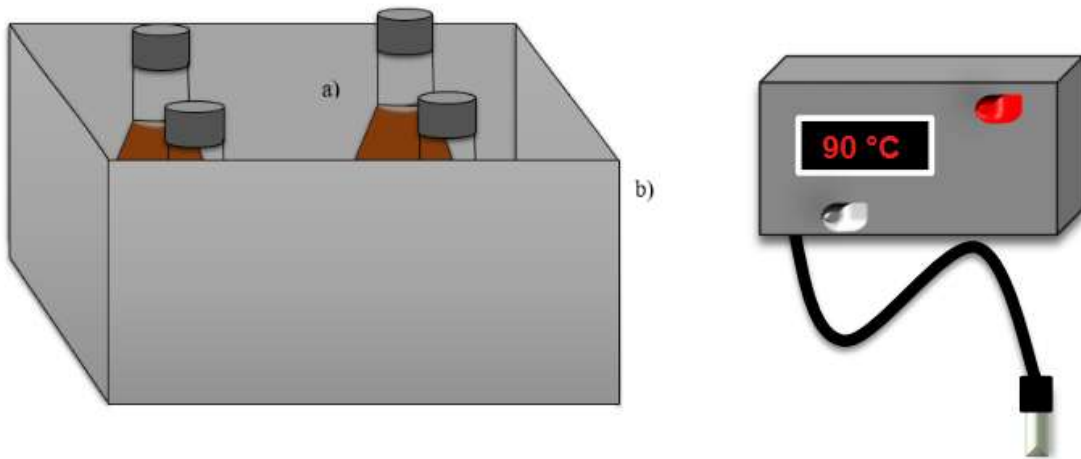


Figura 2.6 a) Baño termostático y b) Controlador de temperatura

Posteriormente a las muestras pretratadas térmicamente se realizó un análisis microbiológico los cuales se muestra en la Tabla 2.3 y así determinar si es adecuado para su almacenamiento. El biofertilizante se almacenó en frascos de plástico color blanco de 1 L a temperatura ambiente.

Tabla 2.3 Parámetros microbiológicos

Microbiológicos	Unidades.	Método.
Coliformes	NMP/gST	NOM-004 SEMARNAT 2002.
Salmonella spp	NMP/gST	NOM-004SEMARNAT 2002.
Huevos de helmintos	HH/gST	NOM-004SEMARNAT 2002.

2.6 Aplicación a una especie vegetal

Una vez obtenidos los biofertilizantes se procedió a analizar pruebas de crecimiento para determinar su calidad. Utilizando 2 tipos de semillas las cuales fueron semillas de rábano y semillas de caléndula como se muestran en la Figura 2.7. Se utilizó la

semilla del rábano debido a su rápido crecimiento el cual fue durante un periodo de 5 semanas, mientras que para las semillas de caléndula su periodo de crecimiento es más largo, por lo cual se monitoreo durante 12 semanas.



Figura 2.7 Especies vegetales

Las semillas se sembraron en macetas de plástico que contenían como sustrato tierra negra, cada tipo de semilla se sembró por triplicado realizando 4 experimentos, el primero como blanco solamente con la adición de agua, el segundo con la aplicación del biofertilizante complementado con la merma de croquetas para perros, el tercero con la aplicación del biofertilizante complementado con residuos de pescado y el cuarto adicionando un biofertilizante comercial. Para identificar cada experimento se utilizó macetas de diferentes colores como se observa en la Figura 2.8. De acuerdo con Morales y Pico (2019) que realizaron una siembra de forma similar utilizando un testigo, el biofertilizante obtenido por ellos y humus de lombriz.

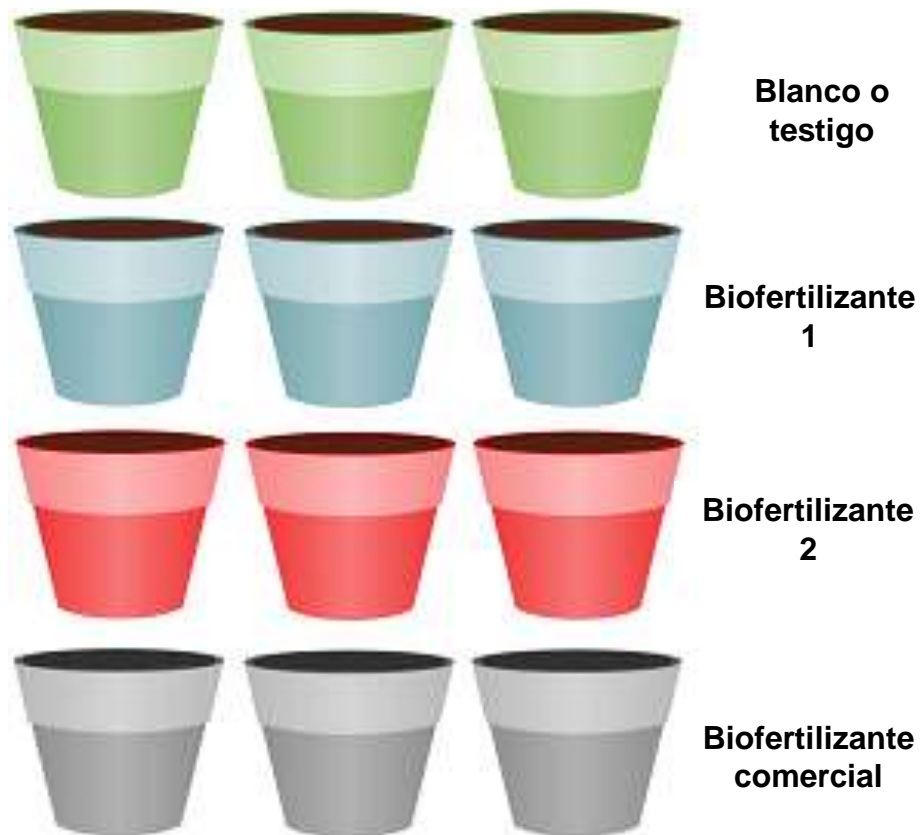


Figura 2.8 Experimentos para determinar la efectividad de los biofertilizantes

Posteriormente durante un periodo de 5 semanas se monitoreó el crecimiento del rábano y 3 meses se monitoreo la semilla de caléndula en cada experimento.

CAPÍTULO 3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la metodología descrita en el capítulo anterior, así como las discusiones de los mismos.

3.1 Obtención de los RSU

Los RSU fueron recolectados del mercado municipal “Emiliano Zapata” posteriormente se cuantificaron y se separaron por especie como se observa en la en la Figura 3.1, creando 5 lotes para observar si presenta variación en la caracterización del potencial nutricional.



Figura 3.1 Cuantificación y separación de los residuos

Los lotes obtenidos fueron pesados por especie en cubetas de 20 L, las cuales ya habían sido taradas antes de utilizarlas para así obtener el peso neto y se determinó su porcentaje como se muestra de la Tabla 3.1 a la 3.5.

Tabla 3.1 Composición de cada especie Lote 1

Especie	Peso (kg)	%
Tuna	19.226	25.11
Jitomate	14.208	18.31
Sandía	11.27	14.13
Chiles	5.738	6.39
Mango	5.356	5.98
Granada	4.116	5.13
Limón	4.392	4.62
Cebolla	0.558	0.77
Otros	14.18	19.56
Σ=	72.51	100

Tabla 3.2 Composición de cada especie Lote 2

Especie	Peso (kg)	%
Papaya	11.592	16.05
Nopal	11.104	15.31
Mango	7.096	9.19
Jitomate	6.62	8.63
Pepino	6.486	8.27
Limonas	5.72	7.11
Chayote	3.864	5.86
Manzana	3.708	4.21
Plátano	3.334	3.53
Sandía	3.184	3.30
Melón	1.836	2.79
Otros	10.376	15.74
Σ=	65.92	100

Tabla 3.3 Composición de cada especie Lote 3

Especie	Peso (kg)	%
Pepino	17.97	24.42
Jitomate	17.59	23.92
Mango	8.61	10.97
Melón	8.30	10.52
Naranja	4.82	5.61
Otros	18.07	24.57
Σ=	69.34	100

Tabla 3.4 Composición de cada especie Lote 4

Especie	Peso (kg)	%
Jitomate	25.89	24.78
Pepino	24.64	23.43
Sandía	8.33	7.92
Chayote	9.13	7.87
Mango	4.89	4.20
Aguacate	4.60	3.88
Plátano	3.58	3.87
Nopal	4.22	3.55
Pitaya	2.05	2.22
Papaya	1.41	1.53
Otros	16.52	16.77
Σ=	92.48	100

Tabla 3.5 Composición de cada especie Lote 5

Especie	Peso (Kg)	%
Mango	52.01	57.29
Papaya	14.53	14.93
Jitomate	12.82	14.08
Nopal	2.69	3.21
Pepino	3.49	3.06
Chile	3.37	2.91
Limón	2.60	1.99
Platano	1.27	1.51
Chayote	0.85	1.02
Otros	27.38	30.23
Σ=	109.163	100

3.2 Hidrólisis de la Fracción Líquida

Posteriormente de obtener cada uno de los 5 lotes anteriormente cuantificados. Se realizó su acondicionamiento mediante triturado, molienda y filtrado de los residuos hasta obtener la fracción líquida como se observa en la Figura 3.2 para poder alimentar el reactor de hidrólisis.



Figura 3.2 Fracción líquida almacenada como sustrato para el RH

3.2.1 Caracterización del potencial nutricional del Biofertilizante

Se realizó la caracterización de la Fracción Líquida Concentrada (FLC) de cada uno de los 5 lotes de los residuos de frutas y verduras obteniendo un promedio, los resultados se pueden observar en la Tabla 3.6.

Pruebas	(FLC)
pH	4.06
Grasas (g/L)	0.385
Carbohidratos (g/L)	88.50
Fósforo (mg/L)	34.44
Nitrógeno (mg/L)	135.82
Potasio (mg/L)	50.2

Se recolectaron muestras de cada una de los 5 lotes antes de ser alimentada la fracción líquida al RH y después de la hidrólisis. En la Figura 3.3 de lado izquierdo se puede observar la fracción líquida antes de su tratamiento y de lado derecho fracción líquida hidrolizada. Cada prueba se realizó por triplicado.



Figura 3.3 Fracción Líquida sin hidrólisis y Fracción Líquida Hidrolizada

En la Tabla 3.7 muestran los valores promedio de la caracterización de cada lote, demostrando que a pesar de que su composición era diferente no existe gran variación en los resultados obtenidos de cada prueba. Observando que tienen una desviación estándar entre cada uno de los 5 lotes menor a ± 1 para todos los parámetros a excepción del nitrógeno que la desviación estándar está por encima de ± 4 .

Tabla 3.7 Resultados obtenidos

	Pruebas	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Promedio
FL	pH	4.53	4.21	4.15	4.65	4.43	4.39 \pm 0.21
	Grasas (g/L)	0.72	0.73	0.73	0.75	0.76	0.74 \pm 0.02
	Carbohidratos (g/L)	87.3	87.4	87.8	87.77	87.62	87.58 \pm 0.22
	Fósforo (mg/L)	14.45	14.44	14.45	14.45	14.43	14.44 \pm 0.01
	Nitrógeno (mg/L)	58.51	63.43	70.62	65.28	66.72	64.91 \pm 4.45
	Potasio (mg/L)	19.4	21.3	20.4	20.7	21.5	20.66 \pm 0.83
FLH	pH	7.3	7.8	8.1	8.17	7.7	7.81 \pm 0.35
	Grasas (g/L)	0.67	0.69	0.67	0.68	0.68	0.68 \pm 0.01
	Carbohidratos (g/L)	85.3	86.2	85.8	85.4	86.1	85.76 \pm 0.40
	Fósforo (mg/L)	13.78	14.18	14.22	13.82	14.2	14.04 \pm 0.22
	Nitrógeno (mg/L)	22.35	28.45	27.03	27.15	25.66	26.13 \pm 2.33
	Potasio (mg/L)	8.4	7.6	9.5	7.8	8.3	8.32 \pm 0.74

Los resultados de la caracterización de la fracción líquida de frutas y verduras muestran una opción para su uso como biofertilizante ya que contiene los macronutrientes principales NPK para las plantas.

Morales y Pico (2019) obtuvieron valores de NPK en su biofertilizante de 35/20/17 mg/L respectivamente, utilizaron como materia prima residuos de frutas y verduras,

licuaron los residuos y obtuvieron 2 L de extracto el cual estuvo en un recipiente abierto durante 20 días y posteriormente fue caracterizado. Comparando los resultados obtenidos de Morales y Pico (2019) con los de esta investigación encontramos mayores resultados de NPK 135/34/50 como se puede observar Tabla 3.6 y a diferencia de los valores de la Tabla 3.7 disminuyen debido a que se realizó la dilución con la cual se alimentó el reactor de hidrólisis y en la salida debido a la degradación por las bacterias hidrolíticas.

3.3 Montaje y operación del Reactor de Hidrólisis Anaerobia

La estrategia de colonización del reactor consintió en la inoculación del panel de nylon poliéster en la cual las bacterias hidrolíticas se adhirieron mediante la recirculación de la mezcla de sustrato de frutas y verduras e inóculo (70/30) del Reactor de Hidrólisis de la PTRS como se observa en la Figura 3.4, debido a que las bacterias están acostumbradas a ese sustrato se alimentó con dos diferentes cargas durante su estabilización para posteriormente adicionar los nuevos sustratos.

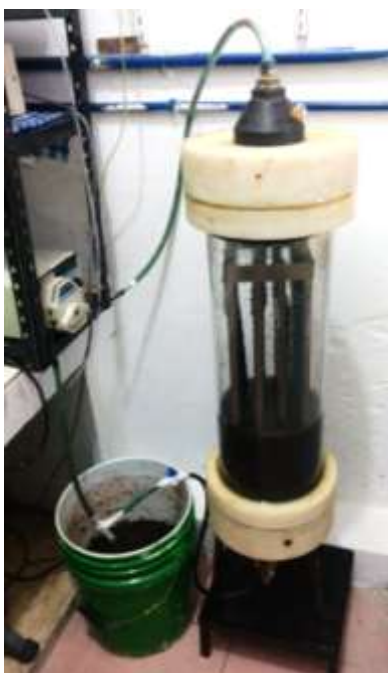


Figura 3.4 Reactor de Hidrólisis Anaerobia

Se monitoreó el reactor con los parámetros de pH, DQO, ST Y STV diariamente en la entrada y salida, el sustrato de alimentación presenta un pH con carácter ácido el cual se debe ajustar antes de la alimentación con bicarbonato de sodio (NaHCO_3) entre un pH de 5.5 y 6.5 óptimo para realizar la hidrólisis.

El Reactor de Hidrólisis Anaerobia tuvo una operación de 56 días, de estos 14 días se mantuvo en recirculación con sustrato diluido para lograr la colonización de las bacterias en el soporte de fibras de nylon poliéster, una vez inoculado el soporte se procedió a la alimentación con sustrato de frutas y verduras iniciando una concentración de 5 g DQO/Ld por 6 días, continuando con una carga mayor a 8 g DQO/Ld, durante 12 días después se continuo la operación del reactor combinando dos sustratos a diferentes concentraciones, los sustratos ocupados fueron croquetas para perro y una mezcla de residuos de pescado, ambos a una concentración de 1 gDQO/L.

3.3.1 Monitoreo de pH

De acuerdo con las condiciones de operación en el Reactor Hidrolítico y en la primera etapa de la digestión anaerobia el pH es una parámetro importante para la reproducción de las bacterias hidrolíticas, el rango se encuentra entre 5.5 – 6.5 (Parra-Orobio *et al.*, 2014) y esta condición se mantuvo durante la operación del Reactor como lo muestra la Figura 3.5 para la carga de 5 g DQO/Ld y la Figura 3.6 para la carga de 8 g DQO/Ld.

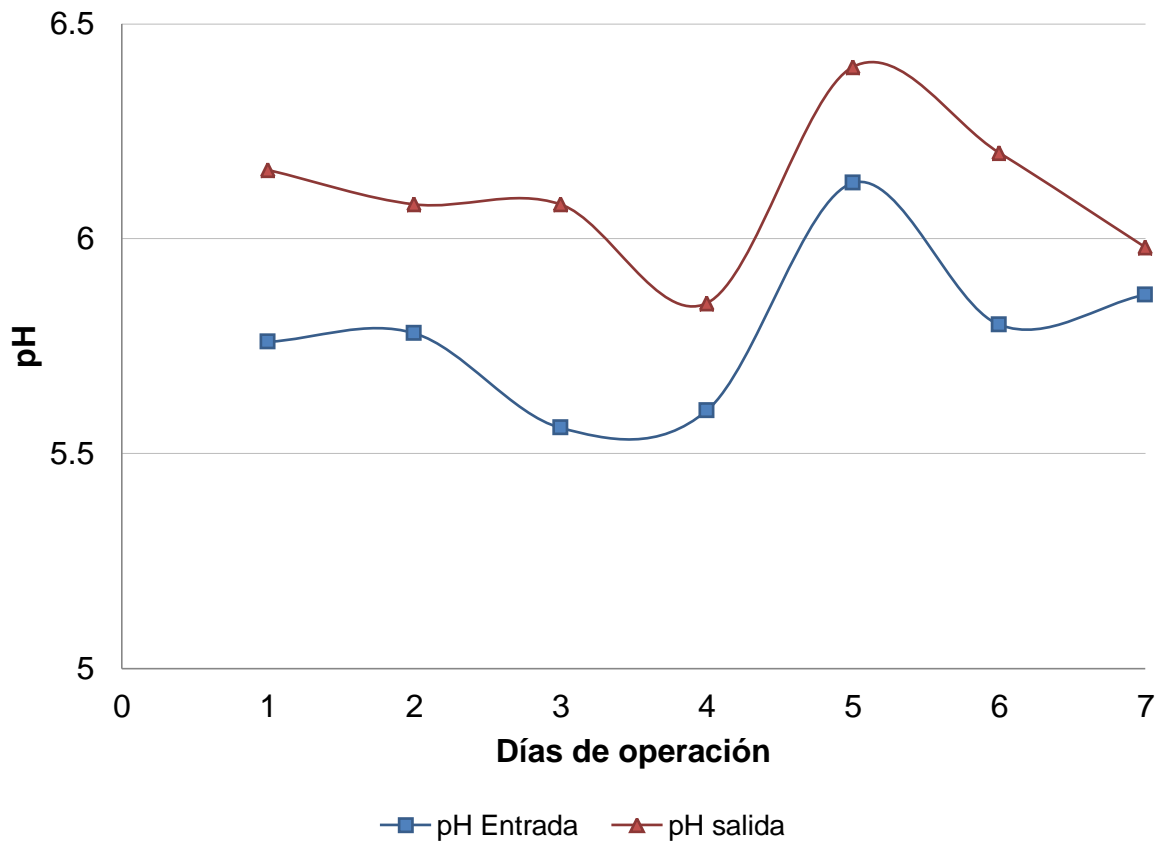


Figura 3.5 Monitoreo de pH a 5 g DQO/Ld

Los resultados que se muestran son del seguimiento diario. Se observó que el reactor presenta un pH estable obteniendo hasta el momento un valor promedio 5.78 en la entrada y un valor de 6.1 para la salida en el Reactor de Hidrólisis con Cva de 5 g DQO/Ld mientras que para la Cva de 8 g DQO/Ld el valor promedio fue 5.7 en la entrada y un valor de 5.82 para la salida.

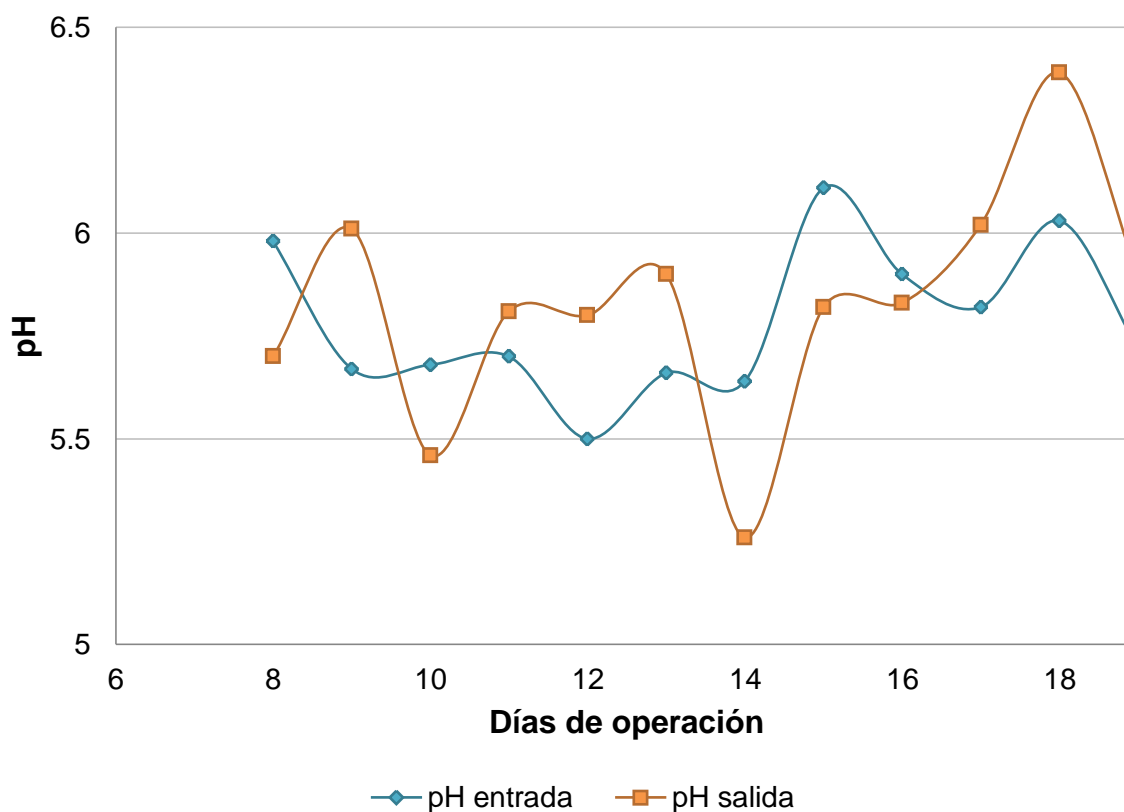


Figura 3.6 Monitoreo de pH a 8 g DQO/Ld

3.3.2 Remoción de DQO_T y DQO_S

Se puede apreciar que los primeros 19 días el Reactor de hidrólisis a nivel laboratorio se alimentó con sustrato de residuos de frutas y verduras diluido a dos cargas, empezando con una Cva de 5 g DQO/Ld alcanzando una remoción del 49.52 % en DQO_T y 44.84 % en DQO_S como se muestra en la Figura 3.7. Seguido de una segunda concentración de 8 g DQO/Ld alcanzando una remoción de hasta el 60.76 % en DQO_T y 58.32 % en DQO_S . A pesar de que el monitoreo a diferentes cargas de Cva fue poca la remoción se mantuvo en aumento. En la Figura 3.8 igual se muestra una disminución de la remoción en el monitoreo, esto debido a que el panel de fibras de nylon poliéster se estaba lavando y por lo tanto las bacterias se desprendieron del panel y para evitar esto se disminuyó la velocidad de alimentación.

Comparando los resultados se puede apreciar que los obtenidos del monitoreo realizado son mayores a los reportados por Apanco-Rosas (2018) donde se obtenía 21 % de Remoción en DQO_T .

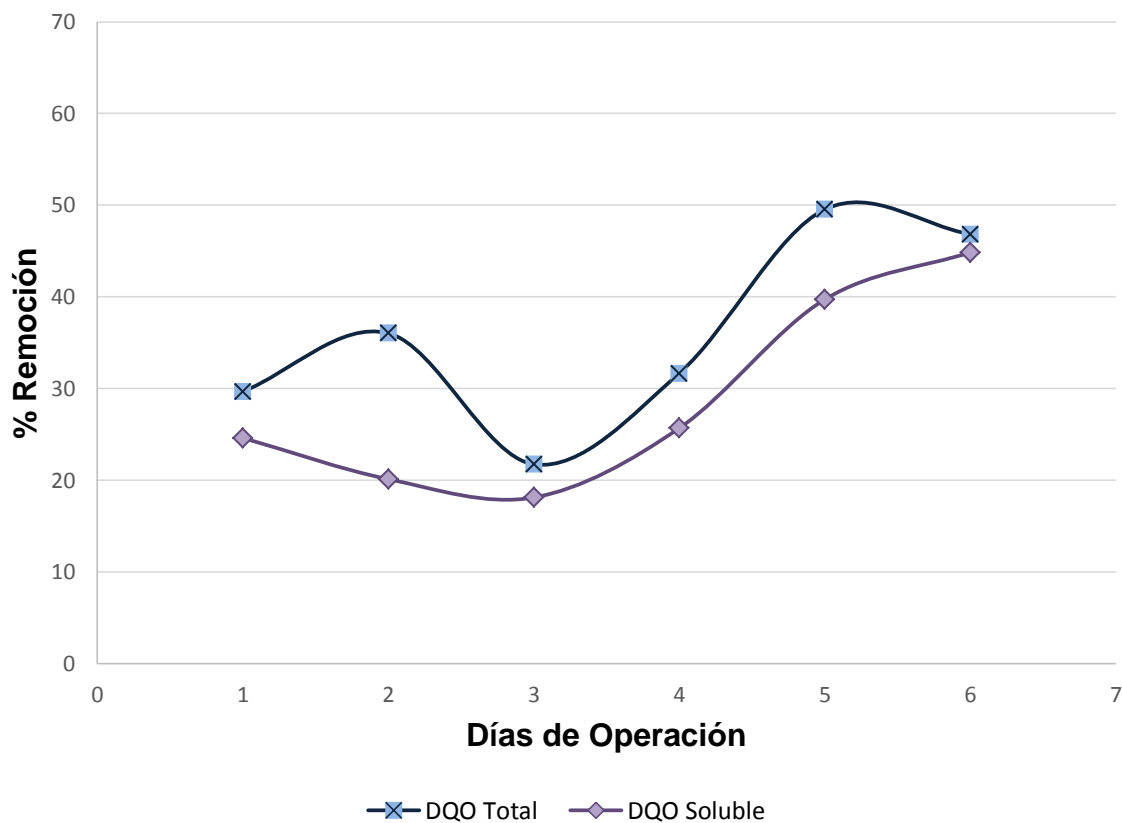


Figura 3.7 Remoción de DQO Total y Soluble a 5 g DQO/Ld

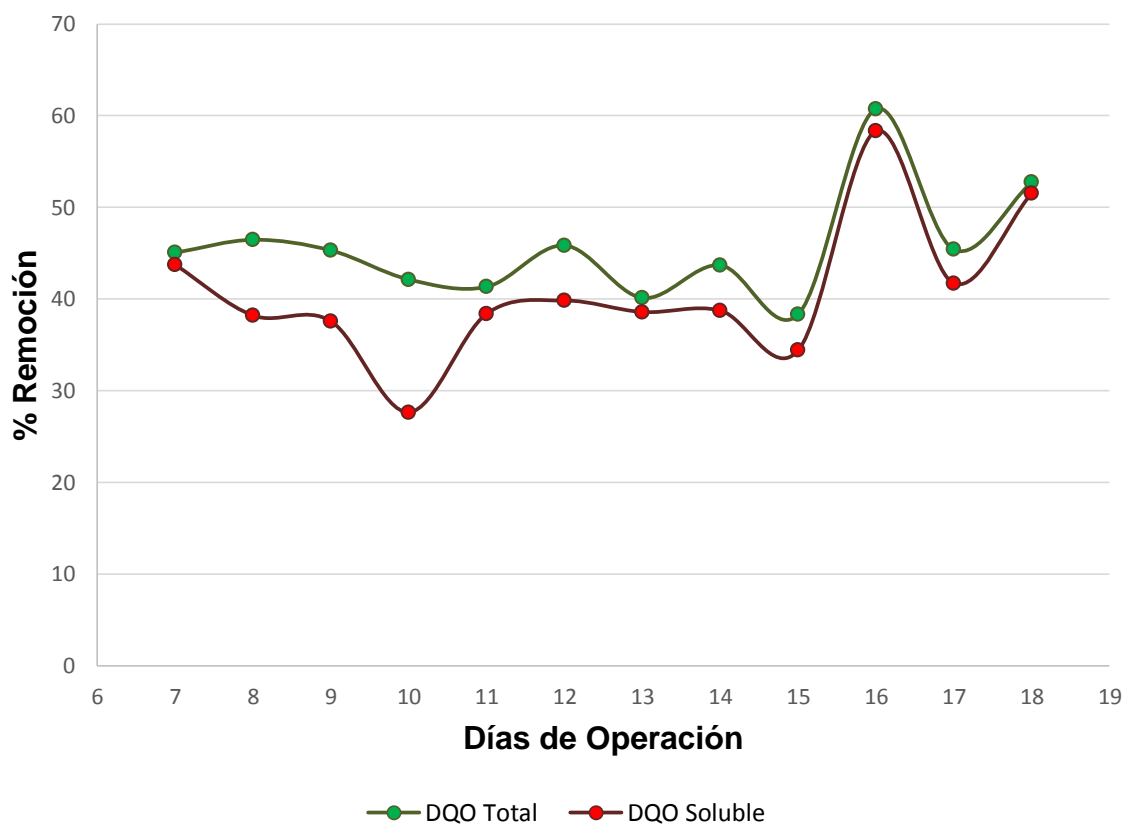


Figura 3.8 Remoción de DQO Total y Soluble a 8 g DQO/Ld

3.3.3 Remoción de ST y STV

En las Figuras 3.9 y 3.10 podemos observar el porcentaje de remoción de los ST y STV alcanzando remociones de 37.64 % y 32.95 % a 5 g DQO/Ld y 49.98 % y 46.94 % a 8 g DQO/Ld estos valores de degradación pueden ser corroborados por Apanco Rosas (2018), que reporta un valor promedio de remoción de 30 %, obteniendo valores de remoción más altos, ya que menciona que a mayor concentración menor remoción.

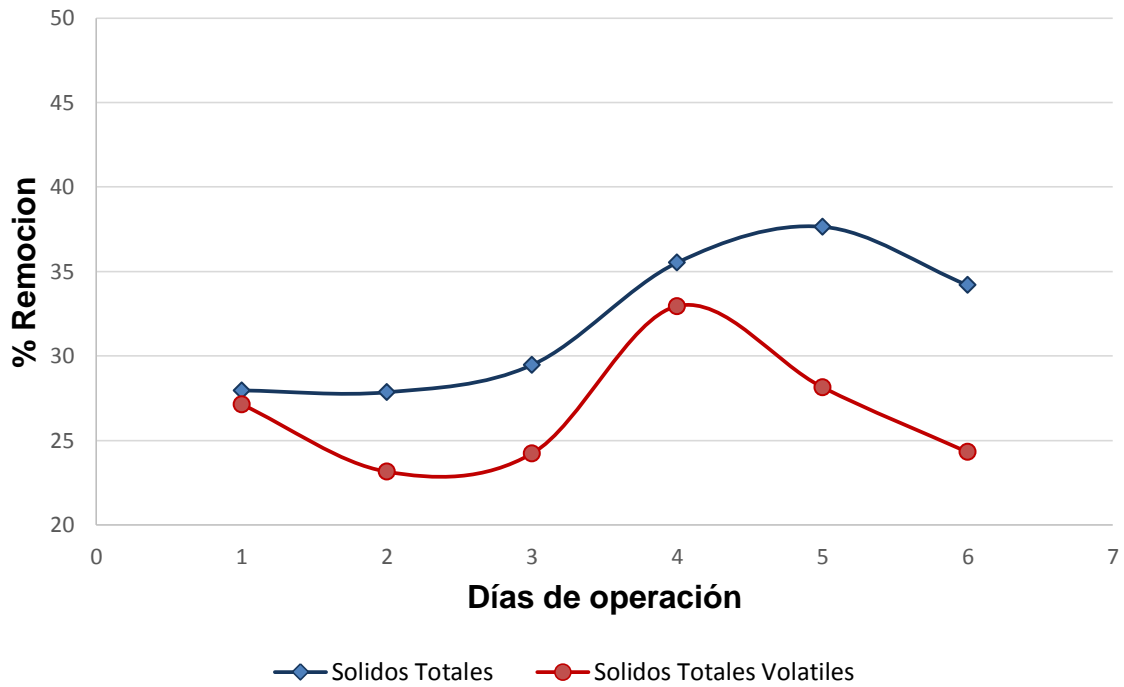


Figura 3.9 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) a 5 g DQO/Ld

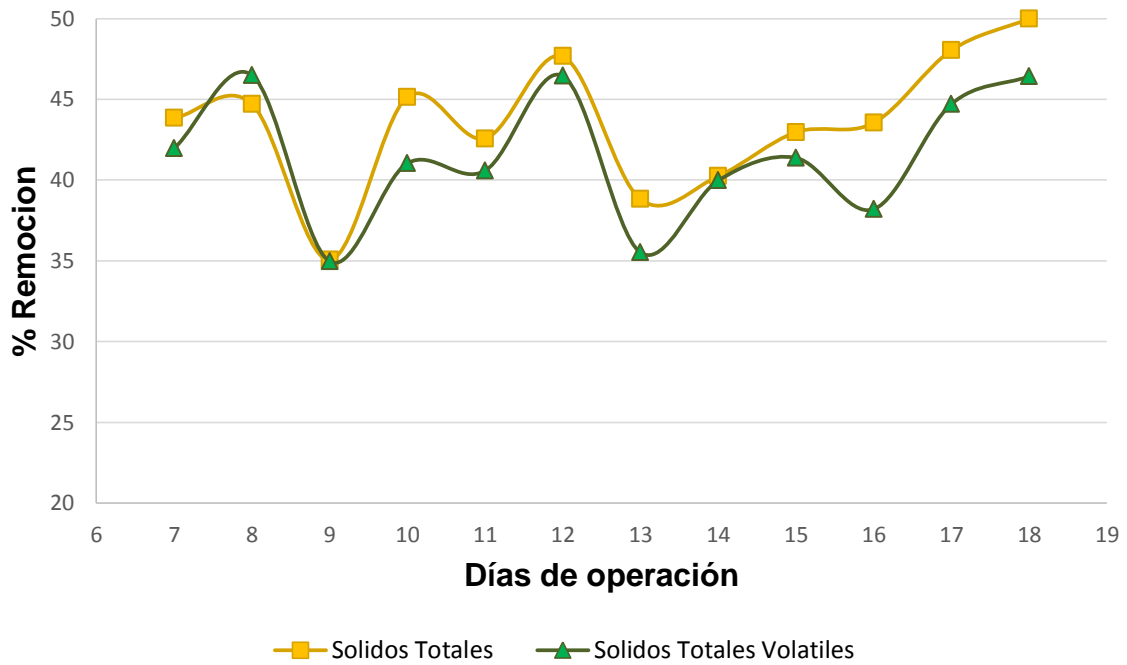


Figura 3.10 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) a 8 g DQO/Ld

3.3.4 Monitoreo del RH con la adición de Croquetas

Para realizar la hidrólisis con la adición de la fracción líquida de la merma de croquetas para perros se realizó un periodo de estabilización durante 12 días en los cuales se alimentó el reactor a una concentración de 8 g DQO/Ld de la fracción líquida de los residuos frutas y verduras + 1 g DQO/Ld de Croquetas, realizando las pruebas de DQO, ST y STV en la entrada y salida del reactor para observar el comportamiento de las bacterias hidrolíticas mediante la degradación de la materia orgánica, como se puede observar en la Figura 3.11 a partir del día 5 el porcentaje de remoción empezó a ser de manera ascendente alcanzando una máxima remoción de 95.04 % en DQO_T y 93.96 % en DQO_S, posteriormente se realizó la caracterización del potencial nutricional complementado del biofertilizante.

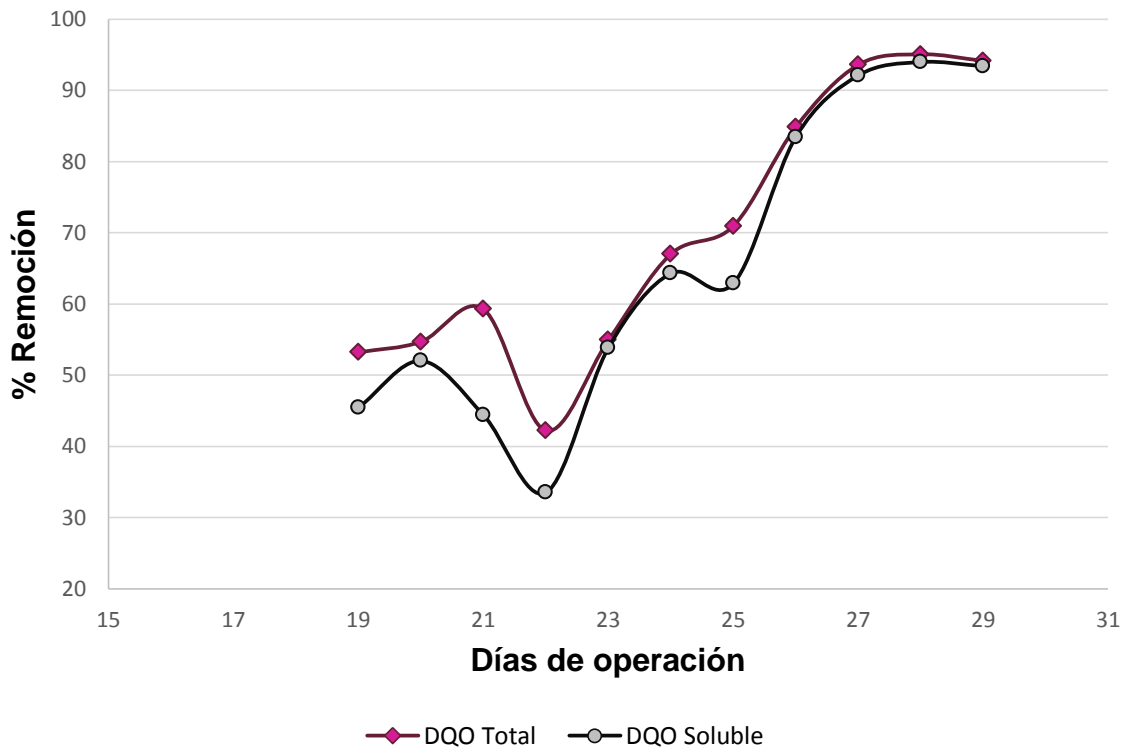


Figura 3.11 Remoción de DQO Total y Soluble complementado FL con croquetas

En la Figura 3.12 podemos observar los valores del porcentaje de Remoción para ST es 68.5 % y 59.2 % para STV, obteniendo buenos resultados durante la estabilización.

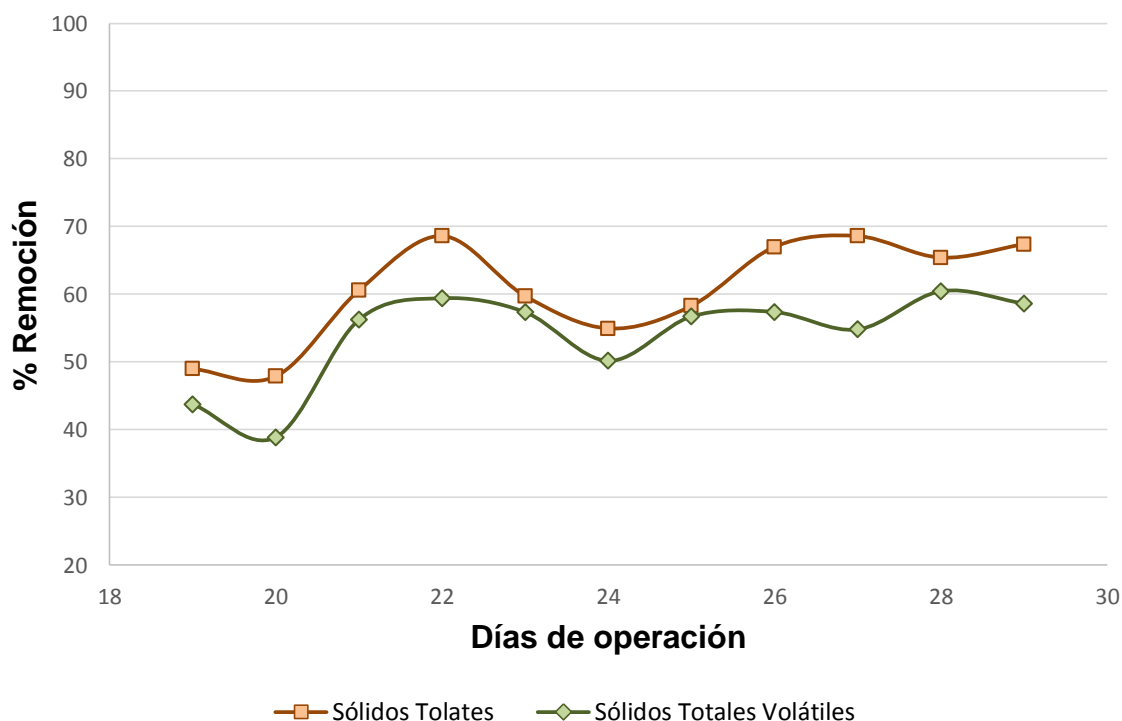


Figura 3.12 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) complementado con FL de croquetas

3.3.5 Monitoreo del RH con la adición de Pescado

De igual forma se realizó el periodo de estabilización del RH para la fracción líquida de residuos de pescadería durante un periodo de 12 días en los cuales se alimentó el reactor a una concentración de 8 g DQO/Ld de la fracción líquida de los residuos frutas y verduras + 1 g DQO/Ld de residuos de pescado. En la Figura 3.13 podemos observar que en los primeros 3 días el comportamiento en el porcentaje de Remoción alcanzo valores arriba de 77 % en DQO_T y posteriormente en los demás días la degradación disminuyo hasta 63 %, en la Figura 3.14 los valores obtenidos

son 49 % ST y 47 % STV, a diferencia del monitoreo con las croquetas el % de Remoción fue menor.

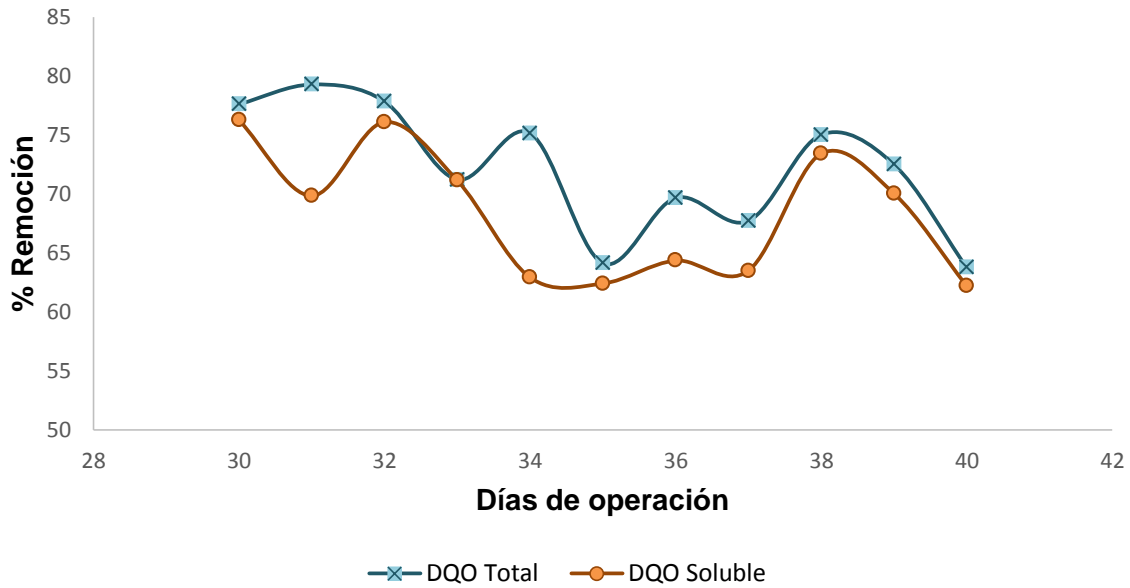


Figura 3.13 Remoción de DQO Total y Soluble complementado FL con croquetas

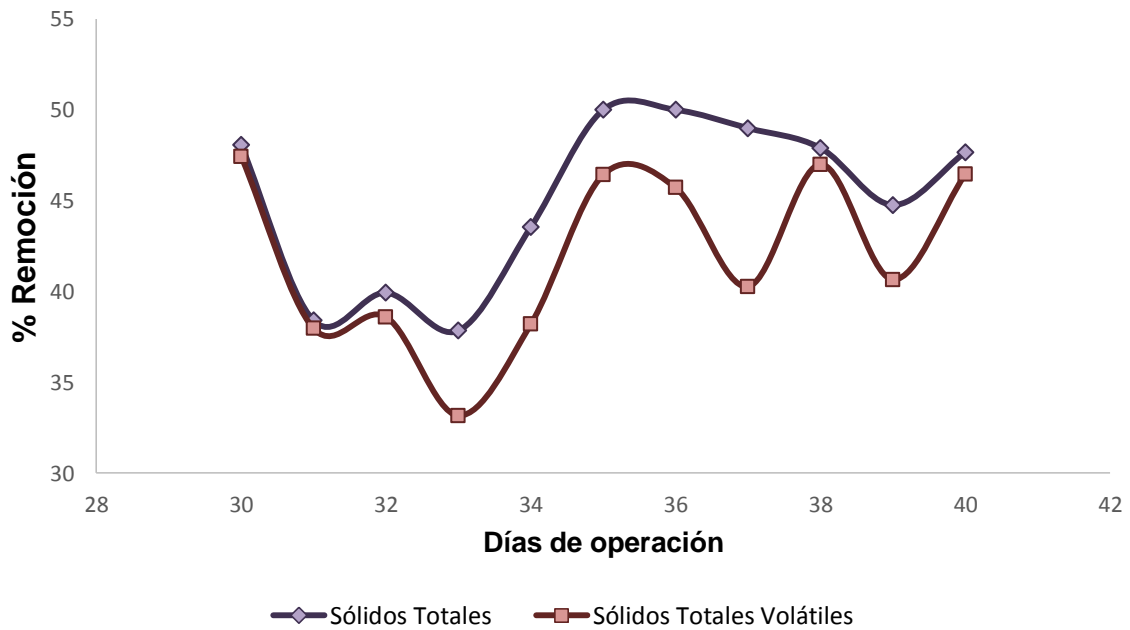


Figura 3.14 Remoción de Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) complementado con FL de residuos de pescadería

3.4 Complementación nutricional del Biofertilizante

Para determinar los nutrientes presentes en los sustratos para nutrir el biofertilizante se realizó la caracterización de cada uno de ellos. Los sustratos fueron acondicionados para poder utilizarlos en la alimentación del Reactor de Hidrólisis Anaerobia obteniendo la fracción líquida de cada uno como se observa en la Figura 3.15.

El alimento para perro tiene un alto contenido de nutrientes como se muestra en la Tabla 3.8 debido a esto se eligió como complemento para el primer biofertilizante.



Figura 3.15 Croquetas y fracción líquida de pescado

La Tabla 3.9 se muestran los nutrientes que contiene el segundo sustrato para complemento del biofertilizante, una mezcla de pescado compuesta de piel, huesos y cabeza. Los cuales fueron triturados y filtrados para solo obtener la fracción líquida.

Tabla 3.8 Caracterización de la Fracción Líquida con la merma de alimento para perros

Sustrato Croquetas (1)	Resultado	Unidades
DQO_T	78.5	g/L
DQO_S	57.85	g/L
ST	6.705	g/L
STV	4.23	g/L
Grasas	49	g/L
Proteínas	6	g/L
Carbohidratos	29	g/L
Nitrógeno	47	mg/L
Fósforo	286.5	mg/L
Potasio	28	mg/L

Tabla 3.9 Caracterización de la Fracción Líquida de residuos de pescado

Sustrato Pescado (2)	Resultado	Unidades
DQO_T	43.3	g/L
DQO_S	39.14	g/L
ST	42.27	mg/L
STV	39.79	mg/L
Grasas	12.68	g/L
Proteínas	8	g/L
Carbohidratos	25	g/L
Nitrógeno	70.4	mg/L
Fósforo	256	mg/L
Potasio	193	mg/L

De acuerdo con las Tablas 3.8 y 3.9 se observa que las croquetas tienen una mayor cantidad de nutrientes y esto es un beneficio para el tratamiento en el Reactor

hidrolítico debido a que las bacterias aprovechan estos nutrientes, siendo un beneficio para el crecimiento de las plantas y así poder complementar el biofertilizante. Se realizó la caracterización de los biofertilizantes obtenidos de la hidrólisis del reactor antes y después de la complementación nutricional. En la Tabla 3.10 se observan los resultados obtenidos.

Para el primer biofertilizante el efluente tratado en el Reactor Hidrolítico se complementó con alimento para perro con una concentración de 1 g DQO/L combinada con el sustrato de frutas y verduras a una concentración de 8 g DQO/L, los resultados presentados en la Tabla 3.11 muestran que después del tratamiento de hidrólisis en el Reactor los nutrientes disminuyeron debido a que las bacterias degradan estos componentes, a excepción del fósforo.

Tabla 3.10 Caracterización del Biofertilizante con la FL de frutas y verduras

Reactor de Hidrólisis Anaerobia	Unidades	Entrada	Salida
pH	-	5.7	6.3
Grasas	g/L	0.38	0.19
Proteínas	g/L	3.8	2.4
Carbohidratos	g/L	12.2	6
Nitrógeno	mg/L	11.4	7.9
Fósforo	mg/L	11.26	11.17
Potasio	mg/L	9.7	4.3

Tabla 3.11 Caracterización del Biofertilizante con croquetas

Biofertilizante (1)	Unidades	Entrada	Salida
pH	-	6.02	6.46
Grasas	g/L	5.56	2.50
Proteínas	g/L	7.9	5.72
Carbohidratos	g/L	2.5	0.5
Nitrógeno	mg/L	16.7	11.1
Fósforo	mg/L	13.84	13.33
Potasio	mg/L	12.3	8.6

En la Tabla 3.12 muestra la cantidad de nutrientes presentes en el biofertilizante creado a partir de la mezcla de residuos de pescado de igual manera que el sustrato

de croquetas, se complementó para el tratamiento del sustrato de frutas y verduras con una concentración de 8 g DQO/L combinado con la mezcla de pescado a una concentración de 1 g /DQOL.

Tabla 3.12 Caracterización del Biofertilizante con pescado

Biofertilizante (2)	Unidades	Entrada	Salida
pH	-	5.72	6.9
Grasas	g/L	0.81	0.51
Proteínas	g/L	8.3	5.92
Carbohidratos	g/L	2	1
Nitrógeno	mg/L	24.2	14.8
Fósforo	mg/L	12.92	11.31
Potasio	mg/L	14.4	10.3

La caracterización del biofertilizante con la FL de frutas y verduras obtiene valores de NPK de 7/11/4 mg/L, por lo cual cuenta con los nutrientes principales para el crecimiento de las plantas. Al enriquecer el biofertilizante con los dos aditivos ricos en proteínas se obtienen valores de NPK para el biofertilizante enriquecido con la fracción líquida con la merma de alimento para perros fueron de 11/13/8 mg/L y para el biofertilizante enriquecido con la fracción líquida de residuos de pescado de 14/11/10 mg/L.

Por lo cual podemos decir que al adicionar 1 g DQO/Ld si existe un incremento en los nutrientes de NPK para los biofertilizantes obtenidos. Recordando que es una concentración baja de nuestros aditivos ricos en proteínas.

3.5 Estabilización y almacenamiento del biofertilizante

Para poder almacenar los biofertilizantes obtenidos se sometieron a un tratamiento térmico como se observa en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Tratamiento térmico del biofertilizante

Esto con el fin de eliminar microorganismos patógenos que estuvieran presentes, por lo cual posterior al tratamiento se realizó las pruebas de Coliformes, Salmonella y Huevos de Helminetos.

3.5.1 Caracterización microbiológica

Los resultados obtenidos de la caracterización microbiológica y de los análisis posteriores fueron los siguientes de acuerdo a las normas NOM-004 SEMARNAT 2002, NMX-AA-042-SCFI-2015 y NMX-AA-113-SCFI-1999 respectivamente.

- Salmonella spp: <3 NMP/100 mL
- Coliformes fecales: <3 NMP/100 mL
- Huevos de Helminetos: 0 H_L

Tabla 3.13 Caracterización microbiológica de los biofertilizantes obtenidos

Pruebas	Biofertilizante 1	Biofertilizante 2
Salmonella spp	1.32 NMP/100 mL	1.11 NMP/100 mL
Coliformes fecales	0.89 NMP/100 mL	0.64 NMP/100 mL
Huevos de Helminetos	0 H _L	0 H _L

Para ambos biofertilizantes en las pruebas microbiológicas como se observa en la Tabla 3.13 se obtuvieron valores menores a los límites máximos permisibles por la norma, por lo cual se descarta la presencia de agentes patógenos, corroboran con Hernández-Vásquez (2017) que de acuerdo a las condiciones óptimas encontradas para el tratamiento térmico de 90°C durante 1 h se eliminan los microorganismos patógenos.

3.6 Aplicación a una especie vegetal

3.6.1 *Raphanus Sativus*

Para la siembra de Rábano se compraron macetas grandes de forma circular, se sembraron 9 semillas en cada maceta a una separación de 5 cm una de la otra, para los 3 biofertilizantes y el testigo (agua). Se agregó 3 mL de cada biofertilizante por cada planta sembrada esto equivale a tres disparos de sus respectivos atomizadores. El biofertilizante fue agregado una vez por semana en la dosificación anteriormente mencionada.

Las semillas de los 3 biofertilizantes germinaron a partir del segundo día mientras que para el agua fue hasta el tercero, contando a partir del día de la germinación el crecimiento semanal del tamaño de la hoja y la longitud de la planta para cada una de las pruebas el crecimiento se observa en la Tabla 3.14.

Las primeras hojas tienen forma de corazón y son lisas, conforme pasaron los días estas perdieron su forma y pasaron a ser de forma alargada y rugosa como podemos observar la forma y crecimiento a diferentes semanas en las Figuras 3.17 a la 3.20.

Tabla 3.14 Crecimiento de las plantas de Rábano

Agua			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	1.5	0.8	1
2	3.5	1.2	1.5
3	7	4.5	4.6
4	13	4.5	5.8
5	17	4.5	7.5
Biofertilizante de Croquetas (1)			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	2	1.2	1.5
2	4.3	1.5	2
3	10	5	7.5
4	15.7	5	9
5	18.5	5.2	11
Biofertilizante de pescado (2)			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	2.1	1.2	1.3
2	4.8	1.5	1.8
3	7	4.5	7.6
4	11.2	5.1	8.5
5	15.4	5.6	10.3
Biofertilizante Comercial Guano de Murciélago			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	2.2	1.3	1.2
2	4.8	1.5	1.7
3	8	5	8.2
4	15.6	5.2	9
5	20	5.5	11

El monitoreo de las semillas de Rábano se llevó a cabo durante un periodo de 5 semanas debido a que este tipo de planta es de rápido crecimiento y de acuerdo a León-Morales *et al.*, 2019 el crecimiento del rábano maduro se encuentra entre las 4 y 6 semanas posterior a la germinación.

El crecimiento de las hojas de la planta del rábano de acuerdo a los resultados obtenidos el que obtuvo el mayor crecimiento se encontró el biofertilizante comercial “Guano de Murcielago” con una longitud de la planta de 20 cm y en las hojas de 5.5 y 11 cm de ancho y largo respectivamente. Seguido de los biofertilizantes obtenidos en esta investigación y por último el testigo.



Figura 3.17 Crecimiento de la planta de Rábano con el testigo



Figura 3.18 Crecimiento de la planta de Rábano con el Biofertilizante de Croquetas



Figura 3.19 Crecimiento de la planta de Rábano con el Biofertilizante Comercial



Figura 3.20 Crecimiento de la planta de Rábano con el Biofertilizante de Pescado

A pesar de que las medidas del Rábano entre los biofertilizantes son muy similares en la quinta semana para el biofertilizante comercial “Guano de Murciélago” las plantas se empezaron a poner de color amarillento.

En la Figura 3.21 se observan los rábanos que se extrajeron de la tierra en la quinta semana y se midió el ancho y largo con un Vernier para cada prueba los resultados se observan en la Tabla 3.15.



Figura 3.21 Crecimiento de Rábanos a) Croquetas b) Agua c) Comercial d) Pescado

Tabla 3.15 Crecimiento del Rábano

Rábano	Largo (cm)	Ancho (cm)
Agua	3.8	3.4
Biofertilizante con croquetas	3.8	4.6
Biofertilizante con pescado	3.1	2.55
Biofertilizante comercial Guano de Murcielago	3.7	3.2

El resultado del crecimiento del rábano fue favorable en cuanto a las medidas obtenidas siendo el biofertilizante enriquecido con la merma de alimento para perros el que obtuvo el mayor crecimiento en el rábano de 3.8 cm de largo y 4.6 cm de ancho en comparación con los demás experimentos.

A pesar de que el biofertilizante comercial en cuanto al crecimiento de la planta obtuvo mejores resultados, en el crecimiento del rábano el biofertilizante con croquetas obtuvo mayor crecimiento a diferencia del biofertilizante comercial.



Figura 3.22 Hojas del Rábano con presencia de Plaga de Pulgones



Figura 3.23 Hojas del Rábano sin presencia de la Plaga de Pulgones

Las plagas más perjudiciales que se pueden encontrar en las hojas del *Raphanus Sativus* son la Oruga de la Col (*Pieris brassicae*) y los Pulgones (*Aphis gossypii* y *Myzus persicae*) (León-Morales *et al.*, 2019), durante el crecimiento del Rábano se observó la presencia de pulgones en el testigo (Agua) y el biofertilizante comercial y

las hojas se tornaban de color amarillento, mientras que en los biofertilizantes obtenidos mediante la hidrólisis anaerobia complementados con la merma de las croquetas y residuos de pescado no había presencia de esta plaga y las hojas se observaban más sanas como se puede observar en la Figura 3.22 y 3.23.

3.6.2 *Caléndula officinalis*

Para la siembra de la planta Caléndula se compraron macetas medianas de forma circular, se sembraron 4 semillas en cada maceta a una separación de 8 cm una de la otra, para los 3 biofertilizantes y el testigo (Agua). Se agregó 3 ml de cada biofertilizante por cada planta sembrada esto equivale a tres disparos de sus respectivos atomizadores. El biofertilizante fue agregado 1 vez por semana en la dosificación anteriormente mencionada.

La germinación de las semillas registrada para el testigo fue a partir del día 15, el biofertilizante complementado con croquetas a los 10 días, el biofertilizante complementado con residuos de pescado 12 días y para el biofertilizante comercial 10 días, contando a partir del día de la germinación el crecimiento semanal del tamaño de la hoja y la longitud de la planta para cada una de las pruebas como se observa en las Tablas 3.16 y 3.17.

Muñoz-Centeno (2004) reporta en su monografía el crecimiento de la planta de Caléndula para el tallo entre los valores de 17-70 cm, para el ancho (1-6 cm) y largo (3-14 cm) de las hojas, comparado con los resultados obtenidos en esta investigación se obtuvieron valores dentro del rango estimado.

En las Figuras 3.24 a la 3.26 podemos observar el crecimiento de la planta caléndula a diferentes semanas con la letra (A) para el testigo, (B) para el biofertilizante comercial complementado con la merma de croquetas para perro, (C) para el biofertilizante complementado con residuos de pescado y (D) el biofertilizante comercial “Guano de murciélago”.

Tabla 3.16 Crecimiento de la planta Caléndula del Testigo y Biofertilizante complementado con Croquetas

Agua			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	1	0.3	0.8
2	1.2	0.3	1.2
3	2.3	0.5	1.7
4	3.8	0.5	1.8
5	4.1	0.7	1.9
6	6.5	0.7	2.1
7	8.7	0.8	2.4
8	10.4	0.9	2.7
9	13.1	1.1	2.9
10	15.8	1.3	3.3
11	17.7	1.3	3.7
12	19	1.4	4
Biofertilizante de Croquetas (1)			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	1.5	0.5	1
2	1.8	0.5	1.2
3	2.6	0.8	1.5
4	5.1	0.8	2.3
5	8.3	0.9	2.8
6	11.8	1	3.4
7	16.2	1.2	3.7
8	20.5	1.5	4.5
9	24.3	1.5	5
10	27.9	1.7	5.4
11	30.4	1.9	5.9
12	32	2.2	6.4

Tabla 3.17 Crecimiento de la planta Caléndula del Biofertilizante complementado con residuos de pescado y el Biofertilizante comercial

Biofertilizante de pescado (2)			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	1.3	0.4	1
2	1.7	0.5	1.3
3	2.5	0.6	1.4
4	3.9	0.6	1.7
5	7.2	0.7	2.2
6	9.8	0.8	2.5
7	12.6	0.9	2.9
8	16.7	1.2	3.3
9	19.1	1.4	3.7
10	23.4	1.7	4.1
11	27.5	1.7	4.6
12	29.7	2	5.2
Biofertilizante Comercial Guano de Murciélago			
Semanas	Longitud de la planta (cm)	Hoja	
		Ancho (cm)	Largo (cm)
1	1.5	0.5	1
2	1.9	0.7	1.1
3	2.5	0.8	1.3
4	5.2	0.8	2.1
5	7.9	0.9	3
6	11.4	1	3.5
7	16.1	1	3.9
8	20.7	1.3	4.3
9	24	1.5	4.8
10	27.5	1.8	5.2
11	30.9	2	5.6
12	33	2.2	6.1

El crecimiento de la planta de caléndula se monitoreo durante 12 semanas debido a que necesita mayor tiempo desde la germinación hasta la obtención de la flor de caléndula.

Como se observa en la Tabla 3.16 y 3.17 se obtuvieron valores muy cercanos entre el biofertilizante comercial con una longitud de la planta de 33 cm, largo y ancho de la hoja de 6.1 cm y 2.2 cm. Mientras que para el biofertilizante obtenido con croquetas una longitud de la planta 32 cm, largo y ancho de la hoja de 6.4 cm y 2.2 cm.

Para el segundo biofertilizante con residuos de pescado se obtuvo una longitud de la planta de 29 cm, largo y ancho de la hoja de 5.2 cm y 2 cm.

Por lo tanto los 3 biofertilizantes presentaron mayor crecimiento en comparación con el testigo, Demostrando la efectividad de los mismos. Sin en cambio en ninguno de los experimentos se obtuvo el botón de Caléndula, a pesar de que en fuentes bibliográficas reportaban el crecimiento de la flor a los 3 meses posteriores a la germinación. En ningún experimento creció su botón por lo que seria factible aumentar el tiempo en el monitoreo de la flor.

En las Figuras 3.24 a la 3.26 se observa el crecimiento de la flor en los 4 experimentos anteriormente descritos. Encontrando para la semana 12 que tanto en el biofertilizante comercial, como en el biofertilizante con residuos de pescado las hojas presentaban un color amarillento y las hojas estaban empezando a secarse.

Solo en el testigo y el biofertilizante con croquetas presento durante todo el monitoreo del crecimiento de las plantas de caléndula un color verde brillante y abundaba mayor número de hojas en la planta.

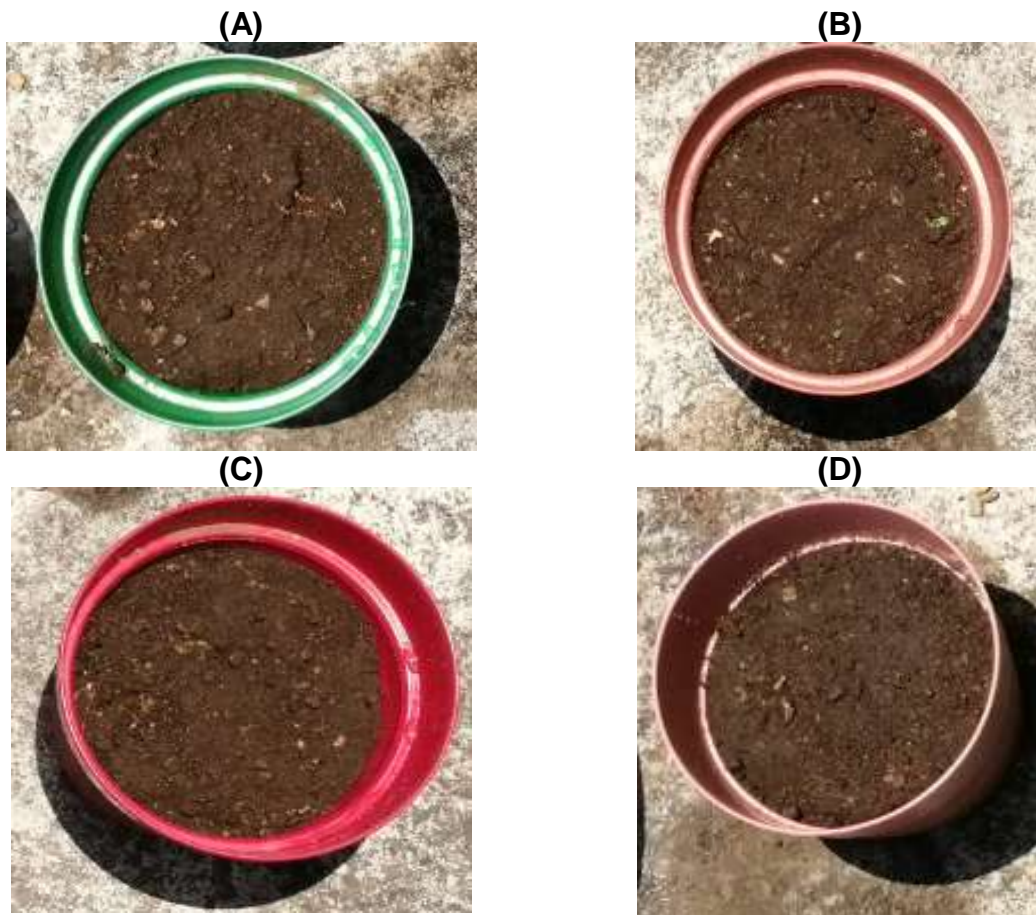


Figura 3.24 Siembra de las plantas de Caléndula para cada una de las pruebas

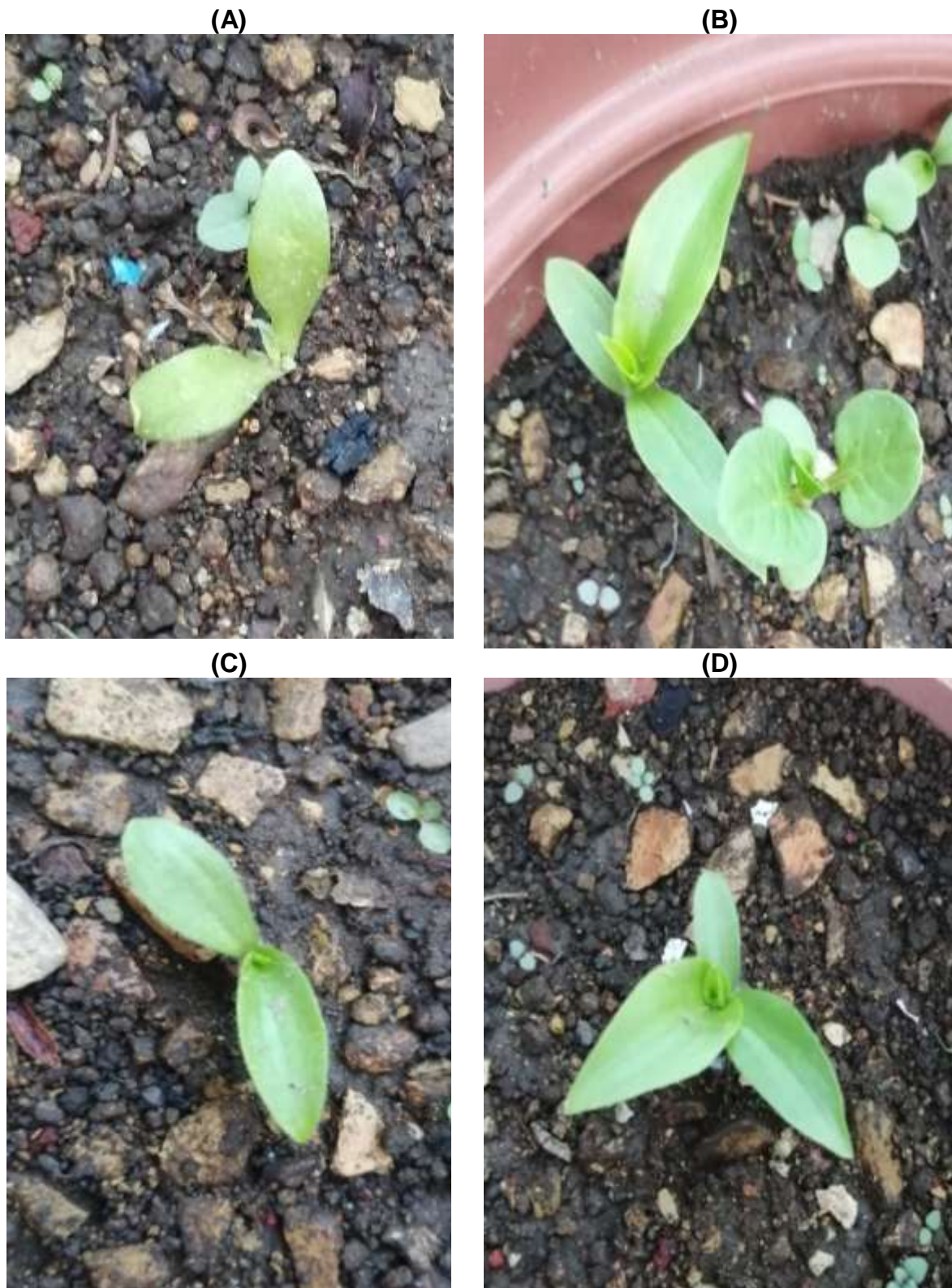


Figura 3.25 Crecimiento de las plantas de Caléndula a las 3 semanas

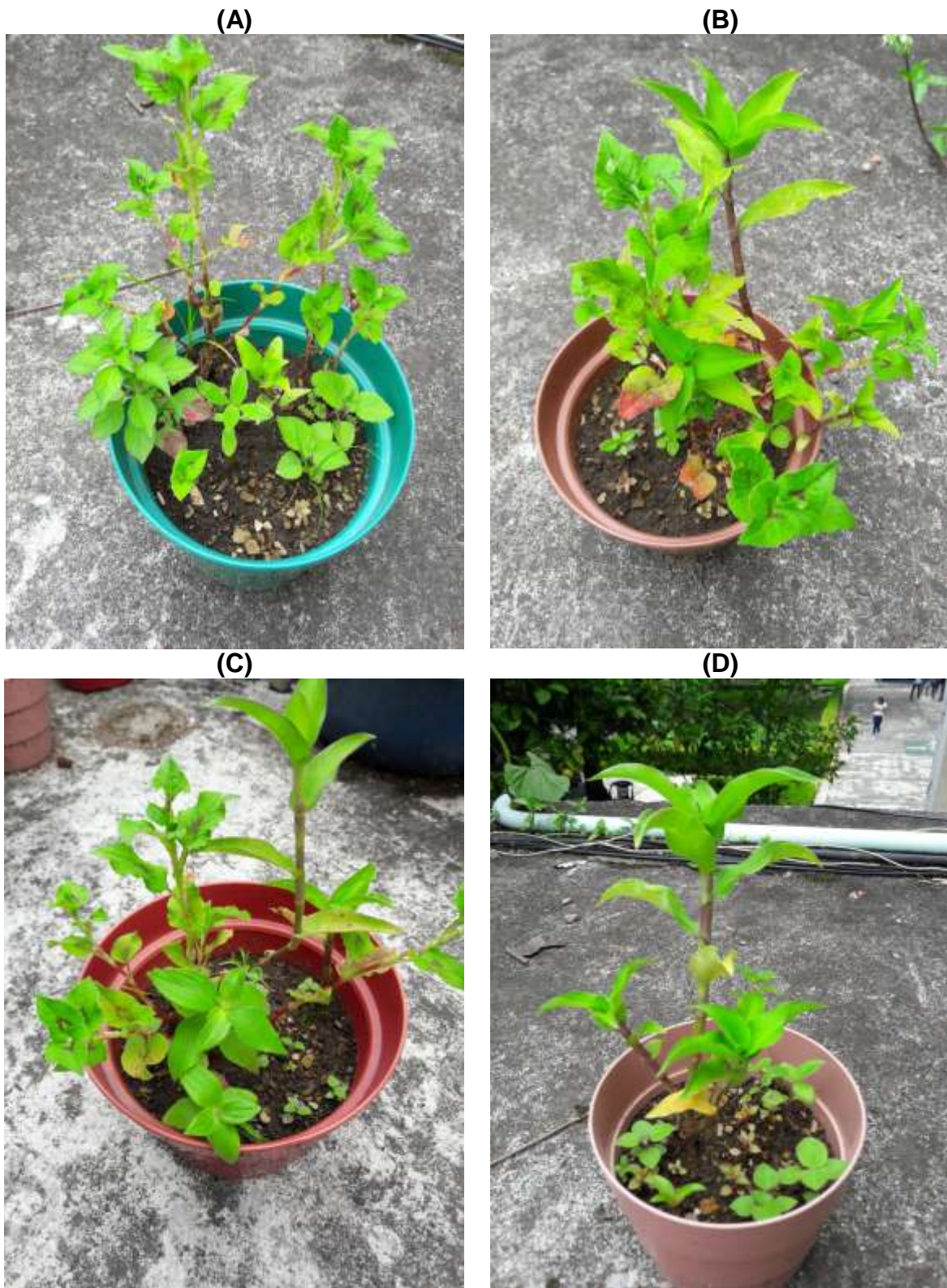


Figura 3.26 Crecimiento de las plantas de Caléndula a las 12 semanas

CONCLUSIONES

El desarrollo de un biofertilizante con residuos orgánicos generados en el mercado, es factible, ya que en lo general contiene los nutrientes necesarios que ayudan a el crecimiento de plantas, así mismo es una manera de aprovechar estos residuos y darles un uso adecuado sin afectar al medio ambiente ni a la población.

La generación de residuo orgánico por habitante es muy grande, por ello se buscan alternativas para poder buscar un uso adecuado de estos, el elaborar un biofertilizante, es una opción sumamente atractiva ya que no requiere de gran inversión y su uso es muy fácil.

El monitoreo del reactor de hidrólisis a nivel laboratorio a las diferentes Cva presentaron remociones ascendentes con forme al tiempo, para la primera Cva de 5 g DQO/Ld se obtuvo la máxima remoción de 49.52 % en DQO_T y 44.84 % de remoción en DQO_S, en ST y STV el porcentaje de remoción fue de 37.64 % y 32.95 % respectivamente. En la segunda Cva de 8 g DQO/Ld las remociones aumentaron a 60.76 % en DQO_T y 58.32 % de remoción en DQO_S, en ST y STV el porcentaje de remoción fue de 49.98 % y 46.94 % respectivamente. Los valores de remoción presentaron un ligero decremento en el días 17 del monitoreo con la segunda Cva por el lavado de las bacterias en panel por la velocidad de alimentación, por lo cual se disminuyó la velocidad y el monitoreo del reactor siguió con resultados favorables durante el monitoreo.

En la complementación nutricional de los biofertilizantes se observó mejor adaptación durante la hidrólisis por parte de las bacterias hidrolíticas en la remoción de DQO, ST Y STV para el biofertilizante con croquetas con valores de 95 % en DQO_T y 93.96 % de remoción en DQO_S , mientras que para el biofertilizante complementado con residuos de pescado la máxima remoción alcanzada fue de 77 % en DQO_T y 63 % de remoción en DQO_S. La degradación durante el monitoreo del segundo biofertilizante

disminuyo debido al cambio de aditivo por lo cual no fue aceptado de la misma manera por la bacterias hidrolíticas con la adición de las croquetas.

Los biofertilizantes obtenidos en esta investigación después de haber sido estabilizados térmicamente a 90 °C durante una hora demostró la efectividad del tratamiento para la eliminación de microorganismos patógenos obteniendo valores menores de 3 NMP/ 100 MI para Salmonella spp y coliformes fecales, en la prueba de Huevos de Helminos el valor obtenido fue de 0 H_L, de acuerdo con la NOM-004 SEMARNAT 2002 pueden ser utilizando sin presentar un riesgo para la salud.

En la comparación que se realizó con los biofertilizantes elaborados, así como el biofertilizante comercial, el crecimiento es muy similar. Sin embargo se pudo percibir un crecimiento más sano y con mejores resultados con el biofertilizante nutrido con croquetas, ya que en las hojas de los demás biofertilizantes (pescado y comercial) se apreciaba un color amarillento en algunas hojas y empezaban a secarse.

Por lo cual podemos concluir que el primer biofertilizante enriquecido con la merma de alimento para perro fue el mejor biofertilizante, presentando un crecimiento sano en el rábano y la planta de caléndula, demostrando así su efectividad en comparación con el biofertilizante comercial.

RECOMENDACIONES

En futuras investigaciones, aumentar la carga nutricional de los biofertilizantes adicionando a diferentes concentraciones los sustratos .

Se recomienda realizar pruebas de crecimiento con diferentes especies de plantas y vegetales.

Analizar de manera fungicida los biofertilizantes obtenidos ya que no presentaban presencia de plagas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adekunle, K. F., y Okolie, J. A. 2015. A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. **6**(3):205-212.

Aguilar-Montor, Y. 2014. Estudio integral de digestión anaerobia en dos etapas para el tratamiento de la fracción soluble de residuos sólidos orgánicos municipales a nivel *laboratorio*. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba. México.

Aguirre-Medina , J. F., Irizar- Garza, M. B., Durán-Prado, A., Grajeda-Cabrera , O. A., Peña-del Río, M. A., Loredó-Osti, C., y Gutiérrez-Baeza, A. (2009). Los Biofertilizantes microbianos: Alternativa para la agricultura de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Chiapas, México.

Alfa, M. I., Adie, D. B., Igboro, S. B., Oranusi, U. S., Dahunsi, S. O., & Akali, D. M. (2014). Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renewable Energy*. **63**: 681-686.

Alvarado-García, R. 2011. Hidrólisis de la fracción soluble de los residuos sólidos municipales. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Ver.

Alvarado-Lassman, A., Méndez-Contreras, J. M., Martínez-Sibaja, A., Rosas-Mendoza, E. S., y Vallejo-Cantú, N. A. 2017. Biogas production from the mechanically pretreated, liquid fraction of dorted organic municipal solid wastes. *Environmental Technology*. **38**(11):1342-1350.

Apanco Rosas, V. H. 2018. Comparación del desempeño de un reactor anaerobio piloto en configuración en paralelo, con 2 diferentes sustratos. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Ver.

Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., y Nava-Perez, E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. **6**(1): 51-56.

Carhuancho L., F., Ramírez C., J., y Guerrero B., J. (2015). Gestión ambiental de residuos avícolas mediante digestión anaerobia para la producción de fertilizantes orgánicos líquidos. **76**(1): 125-132.

Cerquera Rivera, M. E. 2017. Evaluación de desempeño del reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente como tratamiento primario de las aguas mieles del café en el departamento del Valle del Cauca. Tesis de maestría. Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.

Coordinación de limpia pública y ecología . 2017. H.Ayuntamiento de Orizaba. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de Limpia Pública y Ecología. <http://www.orizaba.gob.mx/Dependencias/Limpia-pública#>

Durán-Moreno, A., Garcés Rodríguez, M., Velasco, A. R., Marín Enríquez, J. C., Gutiérrez Lara, R., Moreno Gutiérrez, A., y Delgadillo Hernández, N. A. 2013. México city's municipal solid waste characteristics and composition analysis. *Rev. Int. Contam. Ambie.* **29**(1): 39-46.

Elbeshbishy, E. y Nakhla, G. 2012. Batch anaerobic co-digestion of proteins and carbohydrates. *Bioresource Technology*, **116**(0): 170-178.

Escamilla-García, P. E. 2015. Evaluation and proposed development of the municipal solid waste management system in Mexico City. Tesis de doctorado. University of Manchester Faculty of Engineering and Physical Sciences. Inglaterra.

Escobar Unapanta, J. V. 2011. Construcción e implementación de un reactor hidrolítico de membrana externa, para tratamiento anaerobio de agua residual

sintética con alto contenido de material particulado, a una temperatura promedio de 15°C. Carrera de Ingeniería en Biotecnología. ESPE. Sede Sangolquí

García-Peña, E. I., Parameswaran, P., Kang, D. W., Canul-Chan, M., and Krajmalnik-Brown, R. (2011). Anaerobic digestion and co-digestion processes of vegetable and fruit residues: Process and microbial ecology. *Bioresource Technology* , **102**(20): 9447-9455.

Gerardi M. H. 2003. The microbiology of anaerobic digesters. John Wiley and Sons, New Jersey. USA.

Hassan, A. N., y Nelson, B. K. 2012. Anaerobic fermentation of dairy food wastewater. *Journal Dairy Science*. **95**: 6188–6203.

Hernández-Martínez, J. M. 2012. Hidrólisis de la fracción soluble de los residuos sólidos orgánicos urbanos en un reactor de biopelícula anaerobia a nivel planta piloto. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Ver.

Hernández-Vásquez, L. A. (2017). Aprovechamiento de un lodo residual de la industria cítrica para la generación de bioenergéticos. Tesis de Maestría. Orizaba, Veracruz: Instituto Tecnológico de Orizaba.

Jaramillo-Henao, G., y Zapata-Márquez, L. M. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Antioquía. Medellín, Colombia.

Khalid , A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., y Dawson, L. 2011. Review The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*. **31**: 1737-1744.

León-Morales, J. M., Panamá-Raymundo, W., Langarica-Velázquez, E. C., & García-Morales, S. (2019). Selenium and vanadium on seed germination and seedling

growth in pepper (*Capsicum annuum* L.) and radish (*Raphanus sativus* L.). *Revista Bio Ciencias* (6): 1-14.

Lim , J. W., y Wang, J. Y. 2013. Enhanced hydrolysis and methane yield by applying microaeration pretreatment to the anaerobic co-digestion of brown water and food waste. *Waste Management*. **33**(4): 813–819.

Ma, Y., Yin, Y., and Liu, Y. (2017). New-insights into co-digestion of activated sludge and food waste: biogas versus biofertilizer. *Bioresource Technology*. 1-24.

Maldonado-Rebollo, A. 2012. Aplicación de biosólidos inocuos líquidos generados vía digestión anaerobia termica en el cultivo de una especie vegetal. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Ver.

Mangwandi, C., Liu, J., Albadarin, A. B., Allen, S. J., y Walker, G. (2013). Alternative method for producing organic fertiliser from anaerobic digestion liquor and limestone powder: High Shear wet granulation. *Powder Technology*, **233**: 245-254.

Mojica, C., Vidal, E., Rueda , B., y Acosta, D. (2016). Estudio de las características físico-químicas de residuos orgánicos para su uso potencial en la producción de biogás. *Revista de Energía Química y Física*. **3**(6): 15-22.

Morales Paredes , G., y Pico López, D. (2009). Microempresa para la producción de Biofertilizantes a partir de residuos orgánicos. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.

Moreno , J., Piña, J., y Cotabarren, I. (2015). Producción de Fertilizantes Sólidos a partir de Residuos Líquidos de la Digestión Anaeróbica. *Tecnología y Ciencia*.(30): 305-314.

Muñoz-Centeno, L. M. (2004). Plantas medicinales españolas *Calendula Officinalis* L.(Asteraceae). *Medicina Naturista* **5**: 257-261.

Orgánicos, T. B. 2017. Foliare Irapuato. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de Fertilizantes y foliares orgánicos. <https://www.foliaresirapuato.com.mx/copia-de-trebol-h>

Ormeño Díaz, M. A., Ovalle Silva, A., & Rey, J. C. (2018). Evaluación del efecto de abonos orgánicos líquidos en el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.). Rev. Fac. Agron.(35): 387-407.

Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., & Manzo-Ramos, F. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Ra Ximhai, **6**(3): 339-346.

Parra Huertas, R. A., y Campos Montiel, R. G. 2013. Tratamiento de lactosuero ácido en un reactor UASB a diferentes cargas constantes y puntuales. Producción + Limpia. **8**(2): 60-71.

Pavlostathis, S. G., y Giraldo-Gómez, E. 1991. Kinetics of anaerobic treatment. Water Science and Technology. **24**(8): 35-59.

Poirrier González , P. 2005. Hidrólisis y acidificación psicrófila de moléculas complejas en sistemas anaerobios. Tesis de Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela.

Puerta-Echeverri, S. M. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. Revista Lasallista de Investigación, **1**(1):56-65.

Ramírez-Castañeda, F., Gómez-Piedras, J. J., and Flórez-Roncancio, V. J. (2011). Evaluación del Fertilizante Orgánico Líquido de Lombriz San Rafael en el Cultivo de Rosa cv. Classy. Rev. Fac. Nac. Agron. **64**(2): 6147-6157.

Ramírez Vargas, C., & Nienhuis, J. (2012). Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. **25**(1): 3-15.

Rojas-Peña, B. Y., Rueda-Ruiz, J., Barreño-Romero, E. R., & García-Galindo, I. A. (2016). Comparación del efecto de dos biofertilizantes sobre la germinación y el crecimiento inicial de Arveja (*Pisum sativum*) y Frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Revista TECKNE*. **2**(14):8-17.

Román, P., Martínez, M. M., y Pantoja, A. 2013. Manual del compostaje del agricultor. Santiago de Chile: FAO.

Romero-Figueiras, T. 2013. Alternativa para el aprovechamiento de la fracción sólida de los residuos de frutas y verduras. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba.Orizaba,Ver.

SAGARPA-COFUPRO-UNAM. 2013. Manual teórico-practico. Los Biofertilizantes y su uso en la Agricultura. México: Prado, S.A. de CV.

SEMARNAT. 2016. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. México.

Tarigo, A., Repetto, C., y Acosta, D. 2004. Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) a campo. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Republica .Montevideo, Uruguay.

Tejada, M., Rodríguez-Morgado, B., Gómez, I., Franco-Andreu, L., Benítez , C., and Parrado, J. (2016). Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *European Journal of Agronomy*. **78**: 13-19.

Ttito Huahuachampi, C. A. (2019). Evaluación de las propiedades del suelo por incorporación de nutrientes y materia orgánica proveniente de los residuos solidos

orgánicos agrícolas del mercado Metropolitano - I Etapa Andrés Avelino Cáceres y su efecto en el cultivo del Rabanito . Tesis de Licenciatura . Universidad Nacional De San Agustín. Arequipa Perú.

Varnero-Moreno, M. T. (2011). Manual de Biogás. FAO. Santiago de Chile.