

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS PRESENTES EN LOS
REACTORES DE LA PTAR-UAAAN**

POR

ARIANA CITLALI MENDOZA SALINAS

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAH. MÉXICO

DICIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS PRESENTES EN LOS
REACTORES DE LA PTAR-UAAAN

Por:
ARIANA CITLALI MENDOZA SALINAS

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN



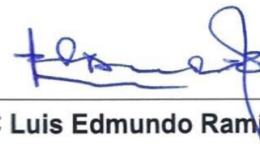
Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor principal



Ing. Rolando A. Sandino Salazar

Coasesor



M.C. Luis Edmundo Ramírez R.

Coasesor



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios en ella y prepararme profesionalmente en sus aulas.

A mi familia por todo el apoyo brindado en el trascurso de mi vida, ya que son pieza importante para el logro de esta meta y por lo que estaré eternamente agradecida.

A mi asesora la Dra. Manuelita, por tener tanta paciencia, por guiarme en la elaboración de este trabajo y sobre todo por ser una buena persona.

A la QFB Paola por el apoyo brindado durante la investigación de Tesis.

A mis amigos Osvaldo y Nazario por ser siempre tan consentidores y por su amistad tan bonita de tantos años, los quiero demasiado bebés.

A mis compañeros de clase, a Julieta por ser mi primera amiga de la Universidad por siempre estar tan pendiente de mí y por su amistad tan bonita te quiero mucho Chule. También quiero agradecer a Martha y Claudio por ser buenos amigos y no dejarme sola, los quiero muchos mi pareja favorita.

A la Sra. Isabel por abrirme las puertas de su casa, por hacer que me sintiera parte de su familia, gracias por los consejos, por la comida y por todo lo que me brindo durante mi estancia en su casa. La quiero muchísimo.

A la Familia Briones Medina, en especial a doña Nena, por ser tan buena onda, gracias por la comida, por hacer que me sintiera parte de su familia y por todo el apoyo. Agradezco también a Yonathan por la amistad y apoyo brindado desde que nos conocimos, los quiero mucho.

DEDICTORIA

A mi familia:

Agradezco infinitamente a mis padres Viviano Mendoza Cruz y Amanda Salinas Hernández por confiar en mi capacidad y apoyarme tanto económica como emocionalmente, por darme la oportunidad de salir de su casa para que yo pudiera cumplir mis sueños, son mi más grande motivación y sé que esto los llena de orgullo los amo demasiado.

A mis hermanos Jesús y Mateo por siempre confiar en mí y porque a pesar de las circunstancias sé que siempre puedo contar con ustedes. En especial a mi hermana Denys por nunca dejarme sola, por ser la mejor consejera, amiga y confidente. Te amo infinito hermana.

A mis sobrinos Ian, Dayelin, Zoemi por ser tan alegres y porque a pesar de ser tan pequeños me han regalado momentos increíbles y por último, pero no menos importante, al bebé que viene en camino al cual esperamos con mucho amor.

Agradezco demasiado al amor, apoyo y confianza de parte de mi mejor amiga Mariana, gracias bebé por casi 12 años de amistad incondicional que me has brindado, por todo lo bueno y lo malo que hemos pasado lo cual nos ha ayudado a crecer como personas, te amo bebé.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICTORIA	IV
ÍNDICE	V
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Importancia del Agua en el Mundo	3
2.2. Reservas del Agua Dulce en el Mundo	4
2.3. Balance Hídrico Nacional	5
2.4. Calidad del Agua en México.....	6
2.5. Importancia del Agua en Coahuila	7
2.6. Calidad del Agua	7
2.7. Importancia del Tratamiento de Aguas Residuales.....	7
2.8. Descargas de Aguas Residuales	8
2.9. Procesos Anaerobios	9
2.10. Sistemas Biológicos de Aguas Residuales	9
2.11. Proceso de Lodos Activados	9
2.12. Prueba de Sedimentabilidad.....	10
2.13. El Papel de los Microorganismos	12
2.14. Microorganismos.....	12
2.14.1. Alimentación	14
2.14.2. Reproducción.....	14
2.15. Bacterias	15
2.15.1. Reproducción.....	15
2.15.2. Alimentación	15
2.15.3. Clasificación.....	16
2.15.4. Bacterias Libres o Eubacterias	16
2.15.5. Bacterias Filamentosas.....	16
2.16. Algas	17
2.16.1. Diatomeas (<i>Bacillariophyceas</i>).....	17
2.16.2. <i>Ankistrodesmus spirilliformis</i>	18

2.16.3. <i>Pediastrum boryanum</i>	19
2.17. Hongos	19
2.18. Metazoos	20
2.18.1. Nemátodos	21
2.19. Cinética del Crecimiento Biológico	21
2.20. Sílice	22
2.21. Magnesio	23
2.22. Definiciones	23
2.22.1. Aguas Residuales	23
2.22.2. Aguas Residuales Tratadas	23
2.22.3. Contaminantes Básicos	23
2.22.4. Proceso Anaerobio	24
2.22.5. Bulking	24
2.22.6. Conductividad eléctrica (CE).....	24
2.22.7. pH	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
VI. LITERATURA CITADA	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del agua en el mundo	5
Figura 2. Clasificación de las bacterias (Tarancon,1995).....	13
Figura 3. Ubicación geográfica de la PTAR-UAAAN (Google Earth 2016)	26
<i>Figura 4. Reactor Biológico, lado cárcamo y lado Universidad</i>	27
Figura 5. Prueba de Sedimentabilidad lado Universidad	27
Figura 6. Prueba de Sedimentabilidad lado cárcamo	27
Figura 7. Preparación de agar nutritivo y estándar	28
Figura 8. Cultivo en cajas Petri utilizando agar nutritivo y estándar	28
Figura 9. Incubadora Digital.....	29
Figura10.Caja Petri con agar nutritivo y la muestra de crecimiento de los microorganismos	29
Figura 11Microscopio de la marca Liedel.....	29
Figura 12. Tinción de Gram obtenida del cultivo con agar nutritivo	31
Figura 13. Muestra en fresco.....	32
Figura 14. Muestra tomada en fresco	32
Figura 15. Muestra obtenida del cultivo agar nutritivo con la técnica de Tinción de Verde malaquita	32
Figura 16. Muestra en fresco.....	33
Figura 17. Muestra en fresco.....	33
Figura 18. Muestra obtenida por centrifugación en fresco	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Relaciones entre IVL y las características de Sedimenta-.....	12
Cuadro 2. Resultados de pH y Conductividad Eléctrica (CE) del.....	30
Cuadro 3. Resultados de la prueba de Sedimentabilidad de los dos	30

I. INTRODUCCIÓN

La importancia del agua en todos los seres vivos es fundamental. Es el elemento natural que integra el ecosistema natural y es fundamental para la sostenibilidad y supervivencia de la vida en todo el planeta. La función del agua en los organismos asegura que se puedan llevar a cabo los procesos biológicos necesarios para la reproducción de la vida.

El volumen de las aguas residuales tratadas en México es bajo aunque está creciendo de manera importante en los últimos años. A nivel nacional sólo el 28 por ciento de las aguas que se desechan en los centros urbanos y el 15 por ciento que se desechan en procesos industriales reciben algún tipo de tratamiento (Comisión Nacional del Agua-CONAGUA-2004).

El tratamiento de aguas residuales es prioridad nacional por los múltiples beneficios que proporciona en la ecología, la salud humana, la industria y el comercio internacional. Entre los beneficios ecológicos se encuentran la reducción en los niveles de contaminación de ríos, lagos y aguas costeras donde típicamente las aguas residuales son descargadas; la protección a plantas y animales nativos entre otros (OCDE, 2003) citada por (Mata y Juvenal, 2005).

Para Möeller (2014) los procesos de tratamiento de aguas residuales tienen como principales objetivos el disminuir al máximo los niveles de microorganismos patógenos y separar los residuos orgánicos del agua. Una vez que estos objetivos son alcanzados, las aguas tratadas representan mucho menor riesgo de contaminación. Pueden ser reincorporadas en procesos industriales, riego agrícola o bien ser utilizadas para el mantenimiento de áreas verdes o bosque urbano.

Si las aguas residuales son biodegradables, es decir, que pueden ser degradadas por medios biológicos, es de gran importancia que se comprendan

a cabalidad los fenómenos biológicos que suceden; los diferentes tipos de microorganismos que los realizan; los diferentes patrones metabólicos que los microorganismos siguen para la degradación de las aguas residuales; que factores afectan el crecimiento biológico y la cinética de tratamiento que siguen para la degradación de los desechos.

1.1. Objetivo

Por la importancia que tienen los microorganismos en el tratamiento biológico, se plantea el siguiente objetivo:

-Identificar los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica (M.O) contenida en los reactores de la PTAR-UAAAN.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del Agua en el Mundo

Duke (2014) Resalta las características del agua así como su importancia: el agua es la única sustancia que se puede encontrar en tres estados de la naturaleza: sólida, como hielo; líquida, como agua y gas, como vapor de agua. El agua se congela a 0°C y hierve a 100°C; cambia de estado por variación en la temperatura.

El cuerpo de un bebé tiene 83 por ciento de agua; un hombre adulto, 60 por ciento; una mujer, 45 por ciento, y una medusa, 95 por ciento. Somos agua en gran medida. El agua dio origen a la vida y la mantiene, es un factor que regula el clima del planeta, esculpe y permite la existencia de los ecosistemas y de la humanidad.

El cerebro humano contiene un 70 por ciento de agua. Las células del cuerpo humano mueven minerales y nutrientes mediante el agua. Ésta mueve los desechos del cuerpo humano.

Las plantas usan el agua para transportar nutrimentos y minerales por la raíz, tallos y hojas.

El agua se evapora a través de los estomas que se localizan en el envés de sus hojas. También usan agua para realizar la fotosíntesis, un proceso de producir alimentos.

Las personas usan agua de formas diversas: para beber, limpiar y cocinar. La agricultura, la industria y la minería necesitan agua.

El agua genera electricidad y es usada en la recreación. Es vital para la vida. Sin embargo, una de cada ocho personas no tiene agua potable. El uso racional del agua de la Tierra preservará este recurso indispensable.

Actualmente, según CONAGUA (2006) hay un lento reconocimiento respecto a que el mundo está a punto de enfrentar una crisis formidable en términos de disponibilidad. Esta crisis ya existe en los países con poca agua y probablemente, dentro de los próximos diez a veinte años, será motivo de conflicto entre muchos otros que son áridos o semiáridos. Parece que cuando el mundo se preocupaba por otras crisis, como la energética, la alimenticia, la ambiental y la deuda, otra, la del agua, se estaba formando pero no logró atraer la atención mundial.

La misma fuente señala que el agua es indispensable; no tiene sustituto y no se conoce forma de vida que prescindiera de ella. Bosques, ciudades, polos, zonas industriales, pastizales, plantíos, bebés, bacterias, ballenas, aviones y cohetes, todos, de una manera u otra, necesitan el agua. No debemos olvidar que somos naturaleza y que el agua viene de ella. En términos prácticos, no hay proceso de producción que directa o indirectamente no tenga relación con el agua.

2.2. Reservas del Agua Dulce en el Mundo

Del total de agua dulce, cerca de tres cuartas partes están contenidas en los glaciares y mantos de hielo, la mayoría (97 por ciento) en Antártica, el Ártico y Groenlandia. Las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen de manera muy heterogénea menos del uno por ciento del agua dulce no congelada: tan sólo en los lagos del mundo se almacenan más de 40 veces lo contenido en ríos y arroyos (91,000 vs 2,120 km³) y aproximadamente nueve veces lo almacenado en los pantanos y humedales (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT-2020). (Figura 1)

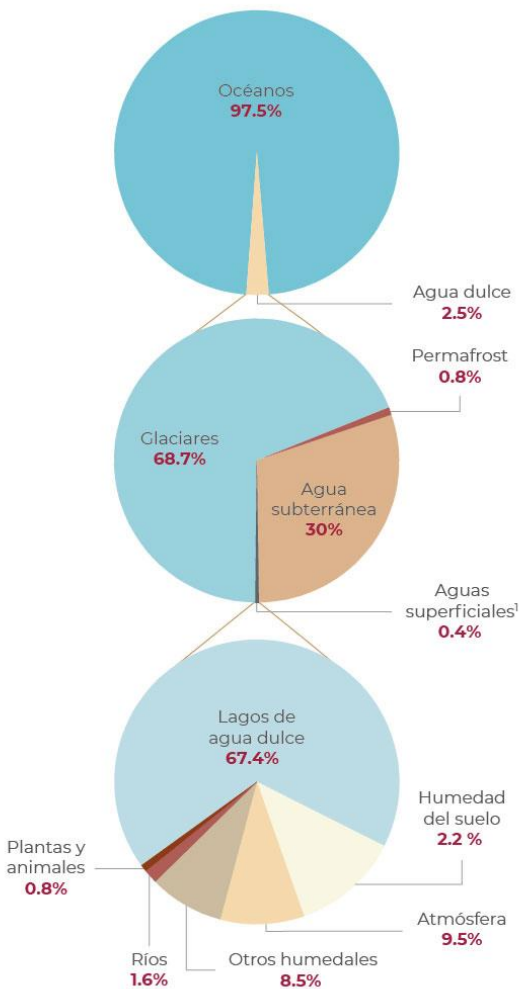


Figura 1. Distribución del agua en el mundo (SEMARNAT, 2020)

2.3. Balance Hídrico Nacional

El agua disponible que tienen los países para el abasto público y las actividades productivas proviene fundamentalmente de la precipitación, aunque en algunos casos se suma la que proviene de los ríos que viajan por otros países y se internan en sus territorios. Al final, el agua disponible es aquella que circula por ríos y puede depositarse en otros cuerpos de agua, presas y bordos y la que finalmente se infiltra en los acuíferos o se descarga en las zonas marinas.

El cálculo más reciente del balance hídrico de México señala que recibe un volumen anual promedio de 1 449 km³ de precipitación, de los cuales 70 por ciento regresa a la atmósfera por evapotranspiración. Además del agua que proviene de la precipitación, el país recibe aproximadamente 48 km³ por importaciones de los ríos de las fronteras Norte y Sur y exporta 0.43 km³ anualmente del río Bravo a los Estados Unidos, de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales del año 1944. Así, la disponibilidad natural media en el país es de 451.6 km³ de agua en promedio al año (CONAGUA, 2016). De ese volumen, alrededor del 80 por ciento corresponde al escurrimiento superficial nacional (359.04 km³) y el restante 20 por ciento (92.5 km³) contribuye a la recarga de los acuíferos (SEMARNAT, 2020).

2.4. Calidad del Agua en México

En 2019 según CONAGUA (2020) se contaba con 4655 sitios de monitoreo de la calidad del agua operados por esta Comisión en todo el país. En este mismo año la red de agua superficial estuvo constituida por 2,764 sitios.

El análisis de la calidad del agua superficial consideró ocho indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅); Demanda Química de Oxígeno (DQO); Sólidos Suspendidos Totales (SST); Coliformes Fecales (CF); *Escherichia coli* (E. coli); Enterococos (Enteroc); Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD) y Toxicidad (TOX). Los resultados para 2019 mostraron una calificación de excelente para 42.6 por ciento de los sitios considerando DBO₅, 15.8 por ciento para DQO₅, 61.7 por ciento para SST, 28.0 por ciento para CF, 40.8 por ciento para E. coli, 85.4 por ciento para Enteroc, 44.2 por ciento para OD por ciento. El resto de los sitios obtuvieron una calificación que varió de buena calidad a fuertemente contaminada. En el caso de toxicidad 90.4 por ciento de los sitios no la presentaron.

2.5. Importancia del Agua en Coahuila

Por toda la extensión del estado, existen afloramientos de agua subterránea que alimentan a los escurrimientos. El uso que se da a estos afloramientos es muy variado, ya que se utilizan para fines agrícolas, pecuarios, industriales y hasta recreativos (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1986).

2.6. Calidad del Agua

SEMARNAT (2020) resalta que tener agua de calidad no sólo significa contar con ella para los distintos usos consuntivos, sino también mantenerla libre de contaminantes en los cuerpos de agua del país, de tal manera que permita la continuidad de los procesos biológicos de los ecosistemas y la preservación de su biodiversidad.

La calidad del líquido, es decir, agua libre de contaminantes que pueda consumirse sin riesgos para la salud y además ser útil para las actividades económicas, es el otro tema de gran relevancia.

Tener agua de calidad, no sólo significa contar con ella para los distintos usos consuntivos, sino también mantenerla libre de contaminantes en los cuerpos de agua del país de tal manera que permita la continuidad de los procesos biológicos de los ecosistemas y la preservación de su biodiversidad.

Las aguas superficiales no son las únicas afectadas por la contaminación de agua. Los acuíferos también se contaminan, tanto por las fugas de aguas residuales domésticas e industriales que existen en los sistemas de drenaje como por el mal manejo y los accidentes que ocurren en las instalaciones industriales y que permiten su fuga e infiltración en el suelo. A ellas debemos añadir las aguas contaminadas con fertilizantes y plaguicidas que se infiltran al subsuelo directamente desde los campos agrícolas.

2.7. Importancia del Tratamiento de Aguas Residuales

El concepto de aguas residuales desarrollado por DOMOS (2018) es que el tipo de agua que se encuentra contaminada producto de la actividad humana

en hogares, comercios, industrias y agricultura. Al estar contaminada debe ser desalojada y conducida mediante una red de alcantarilla hasta las plantas de tratamiento residuales donde es procesada para ser reutilizada o devuelta al medio natural en condiciones adecuadas.

Según estudios de INEGI (2017) sólo el 34 por ciento de los municipios del país realiza el tratamiento de las aguas residuales, esto supone que el 66 por ciento de las aguas contaminadas son vertidas en ríos propiciando la alteración y degradación del ecosistema, afectando a su vez las vidas humanas de sectores cercanos.

En base a lo anteriormente expuesto, se conoce que en México existe un total de 1,941 plantas de tratamiento a nivel nacional. Sin embargo, esto supone una cantidad insuficiente para satisfacer la demanda para el saneamiento de las aguas.

El objetivo e importancia de las plantas de tratamiento de aguas residuales consiste en la desinfección de las aguas contaminadas para preservar el medio ambiente y propiciar una mayor disponibilidad de este recurso.

2.8. Descargas de Aguas Residuales

Las aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias contienen elementos y sustancias químicas disueltas, así como sólidos suspendidos, en concentración variable, que cuando son descargadas sin tratamiento, causan la contaminación de los cuerpos de agua superficiales.

Se estima que a nivel mundial, entre 80 y 95 por ciento del agua residual se descarga directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir tratamiento previo (CONAGUA, 2020).

2.9. Procesos Anaerobios

Según CONAGUA (2016) estos procesos se llevan a cabo en ausencia de aire, Oxígeno y Nitratos, degradando los compuestos complejos como proteínas, carbohidratos o grasas, hasta generar biogás, lodos y un efluente tratado. En esta degradación intervienen un amplio grupo de microorganismos, principalmente bacterias.

2.10. Sistemas Biológicos de Aguas Residuales

Los microorganismos han jugado un papel importantísimo en el medio ambiente, desde hace más de un siglo, los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales forman parte fundamental de las plantas tratadoras que eliminan los contaminantes de efluentes vertidos por las poblaciones humanas y por las industrias. Los primeros sistemas biológicos, desarrollados a principios del siglo XX, fueron los sistemas aerobios, los cuales requieren del Oxígeno presente en el aire para que los microorganismos degraden los contaminantes contenidos en las aguas residuales. Posteriormente, los sistemas operados sin aireación surgieron como alternativa de tratamiento de aguas residuales a mediados del siglo pasado, aunque su auge ocurrió a principios de la década de los 70's.

El desarrollo de estos tratamientos permitió que el tratamiento de efluentes industriales pudiera lograrse de una forma más económica, ya que estos sistemas demandan menos energía para ser operados. De hecho, actualmente existen sistemas de tratamiento de aguas residuales anaerobios que tratan efluentes industriales y que generan una cantidad importante de metano (CH_4) el cual puede ser utilizado como fuente de energía renovable (Cervantes, 2020).

2.11. Proceso de Lodos Activados

El proceso de lodos activados, reporta Möeller (2014) es un proceso que se desarrolló en Inglaterra en 1914 por Arden y Lockett. Recibió este nombre

porque involucra la producción de una masa activa de microorganismos capaces de estabilizar de manera aerobia un desecho. Actualmente existen muchas versiones del proceso original, pero en lo fundamental, todas ellas son similares. Las variantes más comunes son el flujo de pistón y los procesos de mezcla completa. En el proceso de los lodos activados, las aguas residuales previamente cribadas y sedimentadas se mezclan con cantidades variables (20 a 100 por ciento) de la purga del clarificador secundario. La mezcla entra en el tanque de aireación, donde se mezclan los organismos y las aguas residuales con gran cantidad de aire. Bajo estas condiciones, los organismos oxidan una parte del desecho con producción de células microbianas nuevas utilizando la energía obtenida de la oxidación. Posteriormente la mezcla entra en el sedimentador secundario, donde los microorganismos flocculan y se asientan y son removidos de la corriente del efluente. Entonces, los microorganismos sedimentados, o el lodo activado, se recircula hacia el inicio del tanque de aireación para mezclarlos de nuevo con el agua residual en el reactor. En este proceso se producen de continuo lodos activados nuevos, de cuyo exceso es necesario deshacerse cada día (lodos activados en exceso o lodos secundarios) junto con los lodos provenientes de la sedimentación primaria. El efluente proveniente de una planta de lodos activados adecuadamente diseñada y operada es de alta calidad; en general con concentraciones de DBO_5 y SST iguales o menores a 30 mg/l.

2.12. Prueba de Sedimentabilidad

En el ciclo de operación del Reactor por Carga Secuencial (RCS), la fase de reacción incluye además de la desnitrificación el desarrollo de una biomasa flocculenta, compacta y robusta que pueda sedimentar rápidamente produciendo un lodo denso para un reciclaje óptimo y un sobrenadante claro de alta calidad para su descarga como efluente tratado. Para evaluar la conducta de sedimentación de los lodos biológicos producidos en el RCS, los parámetros

convencionales utilizados son el Índice Volumétrico de Lodos (IVL); la velocidad de sedimentación de la interfase (r_s) y el tiempo crítico (t_c) (Dominiak, 2010).

El IVL se basa en las propiedades físicas de los Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado (SSLM). El IVL cuantifica el volumen de estos lodos expresado en unidades de ml/g. Se mide como la altura, expresada en "ml" de la interfase de los sólidos después de sedimentar el licor mezclado del biorreactor durante 30 minutos, en un cilindro graduado de 1.000 ml, dividido por la masa de sólidos expresada en gramos. Esta masa es el conocido parámetro SSLM característico de los reactores de cualquiera de las variantes de lodos activados. El resultado representa el volumen ocupado por un gramo de sólidos suspendidos en el licor mezclado, conocido como el Índice Volumétrico de los Lodos. El ensayo, estandarizado para mayor reproducibilidad, ha sido usado muy frecuentemente para describir la conducta de sedimentación del lodo (Crites y Tchobanoglous, 2000 y Metcalf & Eddy, 2003). No obstante, la aplicabilidad general de esta medición ha sido cuestionada debido a la dependencia con la concentración de sólidos y el diámetro del cilindro usado en el ensayo. Sin embargo, a pesar de sus deficiencias, el IVL es la medida de compactibilidad de los lodos más ampliamente utilizada por los investigadores del área. Los lodos floculados con un IVL de 150 ml/g frecuentemente son considerados como la línea divisoria entre un lodo voluminoso (valores por encima) y no voluminoso. Se consideran que valores por debajo de 80 ml/g son excelentes y entre 80 y 150 ml/g son moderados. Se considera que un IVL entre 100 y 150 ml/g indica una buena sedimentación y que valores superiores, generalmente, pero no siempre, están asociados con el fenómeno del levantamiento de los lodos ("bulking") indicando una pobre sedimentación y una baja velocidad de sedimentación. Los valores de IVL entre 76 y 80 ml/g pueden considerarse indicadores de una buena sedimentabilidad (Ferrara y Ramírez, 2013). A continuación se presenta el Cuadro 1, elaborada por Grady et al. (1999). Que resume las relaciones típicas entre IVL y las características de sedimentación de los lodos acivos.

Cuadro 1. Relaciones entre IVL y las características de Sedimentación de los lodos activados (Grady et al. 1999).

Rango de IVL ml/g	Características de compactación y de sedimentación de los lodos activados
<80	Excelente
80 – 150	Moderado
>150	Pobre

2.13. El Papel de los Microorganismos

Para la remoción de la DBO carbonácea, la coagulación de los sólidos no sedimentables y disueltos y la estabilización de la materia orgánica, intervienen una serie de diferentes microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta como alimento para llevar a cabo todas sus funciones metabólicas, como crecimiento y reproducción, generando como productos finales, varios tipos de gases y materia inorgánica y más células (biomasa) ya que la gravedad específica de la biomasa es ligeramente mayor que la del agua, éstas pueden removerse por sedimentación (Möeller, 2014).

2.14. Microorganismos

Vizuela (2014) describe la actividad de los microorganismos donde se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el Oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el Oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios.

Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección.

La unidad básica estructural de todos los seres vivos es la célula considerada por Tarancon (1995), clasificándolas de la siguiente manera (Figura 2).

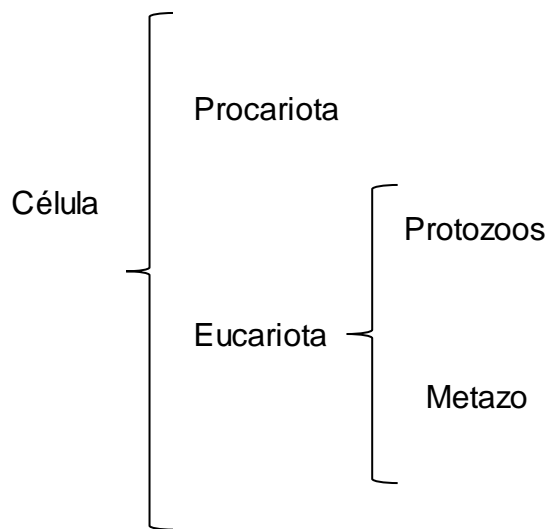


Figura 2. Clasificación de las bacterias (Tarancon, 1995).

Las células eucariotas tienen un núcleo perfectamente diferenciado y rodeado por una membrana. Sus orgánulos pueden llegar a una extremada complejidad. Abarcan la totalidad de seres vivos a excepción de las bacterias. En general englobarían a otros dos grandes grupos que son los protozoos y los metazoos.

Por protozoos entendemos todos aquellos seres vivos compuestos por una única célula. Con orgánulos celulares muy especializados y con capacidad para efectuar de forma autónoma su metabolismo y reproducción.

Este grupo comprende la mayor parte de los microorganismos implicados en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Esta extraordinaria diversidad confluye en unas grandes variaciones tanto de tamaño, que va desde una micra hasta algunos milímetros, como de morfología, abarcando las más dispares formas y estructuras celulares, o patrones de comportamiento y ciclos vitales.

Toda esta variedad de comportamientos vienen definidos por las características estructurales de los mismos y son posibles debido a orgánulos fibrilares que presenta la membrana celular, como por ejemplo unas estructuras en forma de diminutos flagelos que, dependiendo del número y tamaño, tendrán diferentes nombres.

2.14.1. Alimentación

Las características motrices de cada grupo determinaran la forma y el tipo de alimentación de éstos.

Todos los ciliados son heterótrofos, es decir, que la alimentación de esta clase de seres se basa principalmente en la materia orgánica, tanto detritus (materia orgánica inespecífica) como la predación de bacterias, algas cianofíceas e incluso de otros protozoos.

El alimento puede ser ingerido básicamente de dos formas. Bien atravesando directamente la membrana celular, mediante los procesos denominados pinocitosis y fagocitosis o bien mediante una estructura específica y con función de boca llamada citostoma.

Una vez ingerido el alimento se forma un orgánulo citoplasmático de digestión que recibe el nombre de vacuola digestivo, donde se produce la absorción del alimento, mientras que los productos no digeridos se englobarán en vacuolas de excreción y se arrojarán al exterior.

2.14.2. Reproducción

Su reproducción puede seguir caminos distintos, bien por vía sexual, con conjugación y autogamia o bien, asexual por división transversal o longitudinal.

2.15. Bacterias

Son seres unicelulares (compuestos de una sola célula). Su estructura es de tipo procariota, es decir sencilla, no poseen todos los orgánulos celulares típicos de las células eucariotas (resto de seres vivos) como por ejemplo un núcleo diferenciado y rodeado por una membrana.

La forma de estas células es variable, predominando tres:

- Bacilos, semejante a un bastón alargado y redondeado en los extremos.
- Cocos, donde se aprecia una forma redondeada o esférica.
- Espirilos, similar a un corto filamento helicoidal, es decir, enrollado en espiral.

Otra característica distintiva es la existencia de una estructura de naturaleza polisacárida que rodea a la membrana plasmática envolviendo a la célula, que tiene una misión protectora del medio externo.

2.15.1. Reproducción

La reproducción de las bacterias es generalmente por bipartición, esto quiere decir que se produce un septo que divide la célula madre en dos mitades idénticas; de este modo se obtienen dos células a partir de una. Si las condiciones son las idóneas, estas divisiones pueden producirse con una frecuencia de veinte a treinta minutos.

Algunas especies secretan una sustancia de carácter mucilaginoso que agrupa las sucesivas generaciones formando un cúmulo bacteriano o glomérulo, tal es el caso de la Zooglea ramígera, frecuente en lodos de plantas tratadoras. Otras se van dividiendo de forma polar y sin llegar a separarse, formando así un largo filamentosos. Son las bacterias filamentosas.

2.15.2. Alimentación

La mayoría de especies bacterianas se nutren de materia orgánica, descomponiéndola hasta componentes minerales básicos.

2.15.3. Clasificación

Según el camino elegido para la producción de energía se clasifican en grupos:

- Aerobias, las cuales dependen de la existencia de Oxígeno para desarrollar esta función.
- Anaerobias facultativas, que usan Oxígeno, siempre que esté disponible, aunque pueden desarrollarse sin éste.
- Anaerobias estrictas, en las que el Oxígeno es tóxico y sólo pueden vivir en ambientes anóxicos (sin Oxígeno).

2.15.4. Bacterias Libres o Eubacterias

Bacterias verdaderas, unicelulares, de forma bacilar (bacilos) coccal (cocos) o espiriláceas (espirilos).

Pueden formar también cadenas u otras agrupaciones, pero tienen una unión débil, fácilmente rompibles, dando lugar a bacterias libres.

En determinados estadios estas pueden presentar flagelos y por lo tanto ser móviles.

2.15.5. Bacterias Filamentosas

Tanto la longitud como el grosor del filamento pueden ser muy variables, desde muy cortos y finos hasta muy largos y gruesos, apareciendo siempre ligeramente curvados.

Presenta un típico movimiento suavemente deslizante, pudiéndose encontrar tanto en los flóculos como libres en el líquido interflocular. Suele aparecer junto a Thiotrix; acumulan una gran cantidad de gránulos de azufre por lo que la prueba con acetato de plomo resulta positiva.

2.16. Algas

Las algas son organismos fotoautótrofos, esto es, capaces de sintetizar compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas con ayuda de la luz solar como fuente de energía.

Son seres principalmente eucariotas, con núcleo bien definido y rodeado por una membrana, que contiene el material genético.

Al igual que las plantas superiores, presentan los pigmentos fotosintéticos englobados en unas estructuras típicas llamadas cloroplastos. Su organización es sencilla, abarcando desde organismos unicelulares, coloniales y especies pluricelulares.

Basándose en la composición y cantidad relativa de los diferentes pigmentos se pueden dividir en los siguientes grupos:

- Algas Azules o *Cyanophiceas*
- Algas Amarillas o *Crysophiceas*
- Algas Rojas o *Rhodophiceas*
- Algas Pardas o *Phaeophiceas*
- Algas Verdes o *Chlorophiceas*
- Algas Diatomeas o *Bacillariosphiceas*.

2.16.1. Diatomeas (*Bacillariophiceas*)

Se caracterizan por la presencia de paredes orgánicas impregnadas de sílice, lo que les confiere una extraordinaria resistencia. La pared de una diatomea es sumamente compleja, consta siempre de dos mitades o tecas que encajan entre sí como las dos partes de una caja. La mayor recibe el nombre de epiteca y la menor de hipoteca. Cada una de estas mitades tiene una porción plana superior o inferior denominada valva y una porción lateral llamada cingulo, son algas unicelulares que presentan una gran variedad morfológica. Raras veces forman colonias, el espacio delimitado por la pared se llama protoplasma y en él se haya centrado el núcleo y los cloroplastos en posición periférica, variando en número y forma. También se observan dos vacuolas de

gran tamaño o varias más pequeñas. Los materiales de reserva son aceites que permiten a las diatomeas flotar a pesar de su caparazón. La división es longitudinal, donde cada célula hija conserva una mitad de la pared antigua y sintetiza una nueva mitad que desarrollará la función de hipoteca. Debido a esto, tras sucesivas divisiones el tamaño de una de las células hijas será tan pequeño que no será viable la división. En este punto, la célula tomará la vía sexual para su reproducción.

Algunas diatomeas pueden reptar sobre el sustrato gracias a una hendidura en la pared llamada rafe, a través de la cual se producen unas corrientes citoplasmáticas que empujan a la célula.

Desde el punto de vista ecológico, las diatomeas desempeñan un importante papel, siendo un eslabón fundamental de las cadenas tróficas marinas como de agua dulce.

Nunca forman colonias, aunque pueden llegar a ser muy numerosas. Las valvas que conforman el caparazón presentan una variada gama de dibujos: lineales, redes, agujeros, cotillas, fasetas, etc.

Tienen capacidad de movimiento, reptando suavemente por el medio y su tamaño es de 4 a 500 μm .

2.16.2. *Ankistrodesmus Spirilliformis*

Chlorophyceas (Algas Verdes)

Son células con morfología helicoidal, más o menos curvadas (desde la forma similar a una media luna hasta una clara espiral) con los extremos muy afilados pero sin terminar en filamentos. Como todas las de su división, contienen clorofila, lo que les da el color verde. Estos granulos de pigmento aparecen como pequeñas vesículas verdes muy refringentes en microscopio de contraste de fases. Su reproducción es mediante la formación de autósporas, con un tamaño de 20-30 μm .

2.16.3. *Pediastrum boryanum*

Chlorophyceas (Algas Verdes)

Las células de *Pediastrum* se agrupan en colonias esféricas de más de 100 individuos.

Las células exteriores presentan unas proyecciones similares a espinas que dan a la colonia un aspecto estrellado. Al microscopio tienen una coloración verde brillante a causa de los cloroplastos de las células, llegando a medir 40 μm .

2.17. Hongos

Möeller (2014) habla de que en general, las condiciones que prevalecen en un sistema de lodos activados, no favorecen el crecimiento de hongos. Sin embargo, en algunas ocasiones se observan algunos filamentos fungales. Este crecimiento fungal puede favorecerse en condiciones de pH bajo, toxicidad y efluentes con deficiencia de Nitrógeno. Algunos géneros encontrados son los siguientes:

- *Geotrichium*
- *Penicillium*
- *Cephalosporium*
- *Cladosporium*
- *Alternaria*

Los hongos son protistas eucariontes aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos. Algunos hongos son saprofitos, obtienen su alimento de la materia orgánica muerta. Junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del Carbono en la biósfera. Son capaces de degradar compuestos orgánicos altamente complejos. Ecológicamente, los hongos presentan dos ventajas sobre las bacterias: crecen en áreas reducidas y a bajos valores de pH. Aprovechan casi las mismas fuentes de alimento que las bacterias en las reacciones quimiosintéticas pero, como su contenido de proteína es inferior, sus requerimientos de Nitrógeno son menores formando menos materia celular.

Los hongos tienen gran importancia en la descomposición de la materia orgánica. Existen más de 100,000 especies de hongos y su estructura es muy compleja. Tiene cuatro o cinco fases de vida distintas con reproducción por esporas asexuales o semillas. Los hongos existen en las plantas de tratamiento biológico cuando hay altas relaciones de C: N.

2.18. Metazoos

Se conocen como metazoos a los organismos superiores formados por un número variable de células (es decir, son pluricelulares) agrupadas en tejidos y órganos especializados y más o menos complejos.

Esta división abarca desde las formas más simples como los Poríferos o esponjas, hasta las más complejas como los Mamíferos.

Los metazoos más frecuentes detectados en el análisis microscópico de los lodos activados se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Rotíferos
- Gastroticos
- Nemátodos
- Anélidos

Excepto los Rotíferos, los demás no tienen una excesiva importancia en cuanto a su significado como bioindicadores de la calidad del proceso de tratamiento.

Los Rotíferos son los metazoos más habituales en los procesos de tratamientos biológicos, apareciendo tanto en las cubas de aireación como en los reactores de digestión aerobios. Suelen ser indicativos de edades del lodo y tiempos de retención elevados, así como de cargas débiles.

Son más frecuentes en las plantas de tratamiento de aireación prolongada y reactores de digestión aerobia, que en cubas de aireación con sistemas de media carga.

Gastroticos y Anélidos son visitantes ocasionales en los procesos de tratamiento, sin tener un significado relevante.

2.18.1. Nemátodos

Los nemátodos según Tarancon (1995) aparecen en estaciones tratadoras, suelen ser parásitos intestinales por lo que son característicos de contaminación fecal del agua, lo cual es normal teniendo en cuenta que la procedencia de la mayor parte de la misma es de origen doméstico.

Son metazoos de simetría bilateral, cilíndricos y filiformes. Están revestidos de una cutícula gruesa que no posee cilios y que ocasionalmente puede estar anillada, suelen ser de tamaño reducido, desde menos 1 mm hasta 1 cm de longitud.

Se estima que en la naturaleza pueden existir unas 100,000 especies, aunque casi todas tienen una estructura y forma muy parecidas, lo cual dificulta su clasificación, sobre todo, en especies de vida libre. Se encuentran en todo tipo de hábitats acuáticos, tanto en agua dulce como en salda en todas las profundidades. Viven en el suelo, en el estiércol y materiales en descomposición, siendo parásitos de otros animales un gran número de especies.

Su alimentación es muy variada. Los nemátodos de agua dulce se nutren succionando materia vegetal y animal muerta, devorando detritus, ingiriendo diatomeas y algas filamentosas, bacterias y mucilagos, apresando rotíferos, tardígrados e incluso pequeños nemátodos.

Poseen organización interna en forma de aparatos independientes, nervios, excretor, sexual; son seres dioicos, es decir, hay diferenciación sexual entre machos y hembras. Su reproducción es por medio de huevos. Éstos pueden ser puestos en el medio o permanecer en el interior de la madre, donde eclosionarán, saliendo al exterior los embriones vivos.

2.19. Cinética del Crecimiento Biológico

Las condiciones medio ambientales se pueden controlar mediante la regulación del pH, de la temperatura, la adición de nutrientes o elementos traza, la adición o exclusión de Oxígeno o también, mediante una mezcla adecuada del medio. El control de las condiciones ambientales asegurará según Möeller (2014)

que los microorganismos dispongan del medio adecuado para su desarrollo. Para asegurar el crecimiento de los microorganismos, se les debe permitir un tiempo de permanencia en el sistema lo suficiente para que se reproduzcan. Este período depende de la tasa de crecimiento, la cual está directamente relacionada con la velocidad a la que metabolizan o utilizan el sustrato, que en este caso, es el residuo. Suponiendo que las condiciones ambientales estén debidamente controladas, se puede asegurar una estabilización eficaz mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos.

2.20. Sílice

Con excepción del Oxígeno, el silicio es el elemento más abundante en la corteza terrestre. En rocas se encuentra comúnmente en la forma de óxido de silicio (SiO_2) o sílice y combinado con metales en los silicatos correspondientes. La mayor parte de la sílice disuelta en aguas proviene de la descomposición química de los silicatos en los procesos de metamorfismo o meteorización. El contenido de silicio presente en aguas se expresa en términos de óxido (SiO_2) o sílice.

En aguas residuales son comunes valores del orden de 15 mg/l y en algunas aguas termales salobres se encuentran concentraciones mayores de 1000 mg/l.

La sílice forma incrustaciones de silicato de Magnesio y Calcio en calderas de alta presión y deposita incrustaciones duras vítreas sobre los álabes de las turbinas de vapor. Las algas diatomeas requieren silicio y por ello su abundancia en aguas está relacionada con el contenido de sílice. La remoción de este elemento se efectúa generalmente mediante resinas de intercambio aniónico o por destilación. Algunas veces se usa precipitación con óxido de Magnesio conjuntamente con ablandamiento por medio de cal-soda (Romero, 1999).

2.21. Magnesio

Para el mismo autor el Magnesio existe en el suelo principalmente como óxido de Magnesio (MgO), el cual es muy insoluble en aguas que contienen dióxido de carbono (CO₂). Bajo condiciones anaeróbicas, el Magnesio en la forma de dióxido es reducido de una valencia +4 a una valencia + y se presenta una solución de la misma manera que con los óxidos férricos.

Las aguas con Magnesio al ser expuestas al aire, por acción del Oxígeno, se hacen turbias e inaceptables estéticamente debido a la oxidación de Magnesio soluble Mn 4+, el cual forma precipitados coloidales. La tasa de oxidación es lenta y por ello el Magnesio soluble puede persistir por algún tiempo en aguas aireadas; es generalmente válida para Magnesio cuando el pH es menor de 9.

2.22. Definiciones

De acuerdo con la NOM-003-ECOL-1997 (Diario Oficial de la Federación-DOF-1997) se describen los siguientes conceptos:

2.22.1. Aguas Residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

2.22.2. Aguas Residuales Tratadas

Son aquéllas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

2.22.3. Contaminantes Básicos

Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites,

materia flotante, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

2.22.4. Proceso Anaerobio

Proceso que permite la simplificación de materia orgánica por bacterias en ausencia de Oxígeno.

2.22.5. Bulking

Tarancon (1995) describe que el bulking es un proceso por el cual los lodos activados de una planta tratadora de aguas residuales tienden a abultarse (es decir, disminuye su densidad) a la vez que pierden capacidad de sedimentación y pueden ocasionar pérdida de lodo por los clarificadores con el consiguiente empeoramiento del efluente en los casos más leves, hasta la completa pérdida de lodo activado y con él, del proceso de tratamiento biológico en su totalidad.

Están asociados a un deterioro en las condiciones del proceso biológico, lo cual causa la aparición y proliferación de una serie de microorganismos filamentosos (bacterias y hongos) que producen este abultamiento, en detrimento de las bacterias libres floculantes, responsables éstas de la correcta formación de flóculos compactos.

2.22.6. Conductividad Eléctrica (CE)

Se define a la conductividad eléctrica como la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. La corriente eléctrica es transportada por iones en solución, por lo tanto el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad (Crites, 2003).

2.22.7. pH

El pH indica la concentración de iones Hidrógeno en una disolución. Se utiliza esta notación como medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa. Muchas propiedades de las sustancias químicas dependen de

la concentración del ion Hidrógeno en solución (pH). En las aguas residuales urbanas, el pH se encuentra entre 6,5 y 8,5. Valores elevados (mayores a 9,2) tienen efectos inhibidores del crecimiento de *E. coli*. Cuando los valores están comprendidos entre 5 y 9 (situándose los más favorables entre 6,5 y 8,5) la vida de especies acuáticas es favorecida. En un vertido con pH ácido, se disuelven los metales pesados; a su vez, el pH alcalino ocasiona que los metales precipiten (Cartró, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la Planta Tratadora de Aguas Residuales ubicada en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (PTAR-UAAAN) la cual se ubica geográficamente sobre las coordenadas Latitud 25°21" Norte; Longitud 101°2" Oeste y a una altura de 1773 msnm. Figura 3. (Google Earth Pro, 2016).



*Figura 3. Ubicación geográfica de la PTAR-UAAAN
(Google Earth 2016)*

El día 24 de Febrero se tomó una muestra de la PTAR correspondiente a cada uno de los reactores: lado cárcamo y lado Universidad (figura 4). Las cuales se llevaron al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje; se midieron los parámetros de pH y Conductividad Eléctrica (CE) con el conductivímetro de la marca Thermo Scientific y después se

colocaron en un refrigerador conservándolos a 4°C. También se realizaron pruebas de sedimentabilidad en cada uno de los reactores como se muestra en las figuras 5 y 6.



Figura 4. Reactor Biológico, lado cárcamo y lado Universidad.



Figura 5. Prueba de Sedimentabilidad, lado Universidad.



Figura 6. Prueba de Sedimentabilidad lado cárcamo.

Se realizaron disoluciones seriadas en solución salinas al 0.85 por ciento, para lo que se tomó 1 ml de cada muestra y se fue colocando en tres tubos de ensayo cada uno con 9 ml de NaCl.

Por lo que se continuó con la preparación del agar nutritivo donde se colocaron 200 ml de agua destilada en un matraz Erlenmeyer con 4.7 g de la muestra al igual que para el agar estándar con 200 ml de agua destilada y 5.6 g de muestra, Como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Preparación de agar nutritivo y estándar.

A partir de ahí se procedió a realizar el cultivo en cajas Petri (Figura 8) de las cuales seis con un agar nutritivo; tres eran con la muestra de lado cárcamo y tres con la muestra lado universidad y las otras seis, con agar estándar; tres eran de la muestra lado cárcamo y tres de la muestra lado Universidad para lo que se utilizó la técnica de estriado en la caja.



Figura 8. Cultivo en cajas Petri utilizando agar nutritivo y estándar.

Las muestras se dejaron en la incubadora digital de 24 a 48 horas a 34° C (Figura 9).



Figura 9. Incubadora Digital.

Una vez aislados los microorganismos se procedió a la tinción (Figura 10). Por último, se observaron en un microscopio de la marca Lider (Figura 11) al igual que observación en fresco, estas muestras se tiñeron con la técnica de Tinción de Gram y verde de malaquita, posteriormente se observaron en laminillas en microscopio óptico a un aumento de 100X utilizando aceite de inmersión.



Figura 10. Caja Petri con agar nutritivo y la muestra del crecimiento de los microorganismos.



Figura 11. Microscopio de la marca Lider.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de las muestras correspondientes a CE y pH se muestran en el Cuadro 2, donde se observa que la CE es C₃ (alta en sales) y pH se encuentra en un rango neutro.

Cuadro 2. Resultados de pH y Conductividad Eléctrica (CE) del Reactor Biológico

	pH	CE
Muestra Cárcamo	7.3	1167 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Muestra Universidad	7.2	1234 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Prueba de Sedimentabilidad

Los resultados obtenidos de la prueba de lodo, observados en las figuras 5 y 6 se muestran en el cuadro 3 donde señala que es casi igual, observándose que no hay Sólidos Sedimentables (SS) en el sobrenadante, resultando un lodo de buena calidad.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Sedimentabilidad de los dos reactores.

Sedimentabilidad lado Cárcamo	200 ml
Sedimentabilidad lado Universidad	250 ml

En la figura 11 se observan cocos y bacilos cultivados en agar nutritivo de la muestra obtenida del reactor lado Universidad con la técnica de Tinción de Gram.

En el campo visual se pueden observar: cocos Gram positivo (estos se aprecian en forma redondeada o esférica) y bacilos Gram negativo (los cuales son semejantes a un bastón alargado y redondeado en los extremos) a un objetivo de 100X utilizando aceite de inmersión.

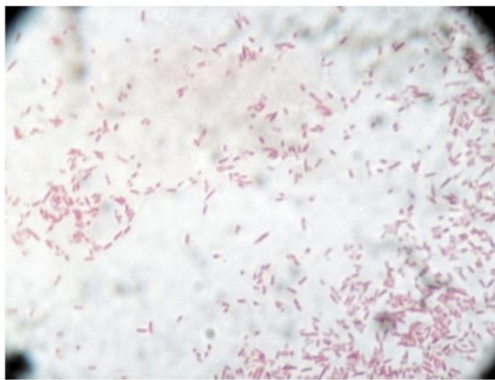


Figura 12. Tinción de Gram obtenida del cultivo con agar nutritivo

Se observaron bacterias largas filamentosas *Beggiatoa* (figura13) obtenida del reactor lado universidad en una muestra en fresco, aparentemente algas, algunos filamentos de hongos así como bacterias propias de lodos con objetivo de 100x con aceite de inmersión.

Es un género de bacterias filamentosas típico en aguas con un elevado aporte de azufre en forma de sulfuros y sulfitos, que asimilan y acumulan en forma de gránulos.

Así mismo, en caso de no haber compuestos de azufre con el efluente, pueden ser indicativos de sedimentos anaerobios fermentando en algún punto de la planta.

Posibles Soluciones.

Como no suele dar problemas en un efluente con una DBO₅ baja, no es necesario eliminarlos. En todo caso convendría eliminar los aportes de compuestos de azufre.

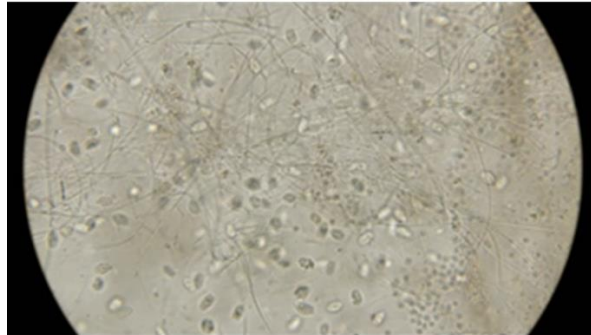


Figura 13. Muestra en fresco

En el campo visual de las figuras 14 y 15 se observan algas Diatomea o *Bacillatariophiceas*, al igual que flóculo en buen estado. Esto se observó con un objetivo de 100x con aceite de inmersión.

Suelen reaparecer en reactores biológicos con baja concentración de lodos activos o en reactores fuera de servicio, donde pese a no ser nunca dominantes, se les puede considerar como habituales.

Aparecen fijas sobre sustratos o reptando entre los flóculos. Coinciden con buenos rendimientos de tratamiento.



Figura 14. Muestra tomada en fresco



*Figura 15. Muestra obtenida del cultivo
Con agar nutritivo con la técnica
de tinción Verde de malaquita*

En la muestra en fresco de la figura 16 aparece un alga verde Chlorophyceas (*Ankistrodemus Spirilliforms*) junto con segmentos de hongos y algunos flóculos con microorganismos filamentosos lo que significa que es común su presencia en abundancia en los procesos de lodos activados en cultivo fijo. Aparece en la última etapa del reactor de biopelícula. Es compatible con efluentes de buena calidad.



Figura 16. Muestra en fresco

En el campo visual se observa un alga verde Chlorophyceas (*Pediastrum boryanum*) figura 17 con un objetivo de 100x con aceite de inmersión.

Tienen poca importancia en los procesos de tratamiento, no es frecuente en los reactores biológicos, pero cuando aparecen, lo hacen sólo en primavera y verano.

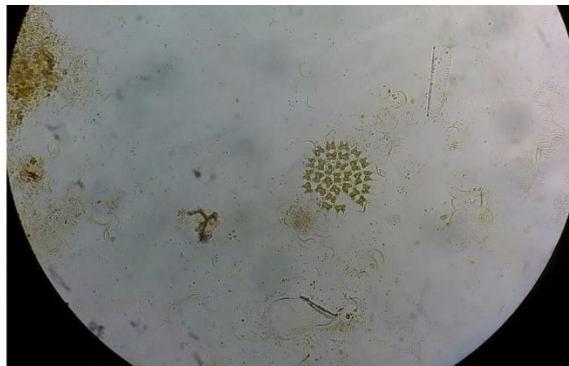


Figura 17. Muestra en fresco.

En la figura 18 se observa en el campo visual un nemátodo, el cual se obtiene a partir de la técnica de detección de huevos de Helminto en aguas residuales. Se observó al microscopio con objetivo de 10x.

Su presencia en los lodos activados coincide con tiempos de retención elevados y lodo de edades superiores a los 20 días. Sin embargo, también aparecen de forma esporádica a edades menores. En la biopelícula de sistemas de tratamiento mediante soporte sólido, son extremadamente abundantes.

Al ser parásitos intestinales, su presencia indica contaminación fecal (algo obvio en aguas residuales). Las variaciones de Oxígeno parece no alterarlas. No son incompatibles con una buena calidad del efluente.



Figura 18. Muestra obtenida por centrifugación en fresco

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se encontraron bacterias como bacilos, cocos, algas tales como las Diatomeas, organismos importantes como fuente de Magnesio muy útiles para la fertilización orgánica.
- En el proceso del reactor es importante disminuir la cantidad de nemátodos debido a que influyen en el número de Coliformes Fecales (CF) lo que limita el cumplimiento de la NOM-003-ECOL-1997.
- Se recomienda observar el Oxígeno Disuelto (OD) la temperatura y la Materia Orgánica (M.O) al igual que verificar la eficiencia de la oxidación de la M.O.

VI. LITERATURA CITADA

- Cartró, J. 2003. *Tratamiento de aguas industriales. Depuración biológica d las aguas residuales* . Universidad de Catalunya, Barcelona : Fundación Universitaria Iberoamericana.
- Cervantes, F. J. 2020. *Microorganismos al rescate del medio ambiente* . México.
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. 2004. *El Agua: Elemento fundamental para los seres vivos*. México.
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. 2006. *El agua en México: lo que todos debemos saber*. México.
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. 2016. *Sistema de tratamientos de aguas residuales a nivel vivienda en zona rural*. México.
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. 2020. *Calidad del agua*. México.
- Crites, R. y. (2003). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados* . Santafé de Bogota: M. Gómez.
- Crites, R., y G. Tchobanoglous. 2000. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá: Chemical and Environmental Engineering.
- Dominiak, D. 2010. *Drainage properties of activated sludge. PhD Dissertation. Departamento of Biotechnology, Chemical and Environmental Engineering*. Dinamarca: Universidad Aalborg.
- DOMOS. 2018. *Importancia de plantas de tratamiento de aguas residuales en México*. México.

- Duke, S. 2014. *La tierra y la importancia del agua: The Earth and the Role of Water*. Ed. Rourke Educational Media
- Ferrara, G. G., y A. Ramírez. 2013. Análisis de la sedimentabilidad de los lodos biológicos producidos en un RCS durante la desnitrificación de un efluente de un biorreactor de crecimiento adherido. *Revista de la facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 28p.
- Grady, L., Daigger, G., & Lim, H. 1999. *Biological Wastewater Treatment*. New York: Marcel Dekker.
- Guerra, D. R. 2005. La importancia del tratamiento de aguas residuales y el uso benéfico de biosólidos en México. *Calidad Ambiental*, 32p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI. 1986. Importancia del agua en Coahuila. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI. 2017. *Importancia del tratamiento de aguas residuales*. México.
- Mata, R., y P. Juvenal. 2005. *La importancia del tratamiento de aguas residuales y el uso benéfico de biosólidos en México*. México.
- Metcalf, & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw Hill. New York .
- Möeller, G. 2014. *Microbiología de lodos activados*. Medellín: Ingenierías Universidad de Medellín.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-003-ECOL-1997. 1997. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*.

- Romero, J. 1999. *Tratamiento de aguas residuales* . España. Ed. Alfaomega.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT . 2020.
Informe del medio ambiente. México.
- Tarancon, F. M. 1995. *Microbiología de la depuración mediante fangos activados*. Valencia. Ed. EGEVASA.
- Vizuela, E. J. 2014. *Diseño de un sistema de pantanos artificiales para el tratamiento de aguas negras y grises del campo base y área de mantenimiento el coca de la Empresa Triboilgas*. Quito: Universidad de Quito.