

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

Identificación y Análisis de Protozoarios
como Microorganismos Bioindicadores en
una PTAR

Proyecto de Investigación

Que para obtener el título de
Ingeniera Ambiental

Con la Especialidad
Sustentabilidad y Tecnologías del Agua

Presenta

María del Rosario Sánchez Lona

Matricula

201920529

Asesora

Q.B.P. Elizabeth Mercado Herrera

Coacalco de Berriozábal, Febrero / 2025

AGRADECIMIENTOS

Principal y especialmente dedico este proyecto a mis padres, Lurdes Lona y Roberto Sánchez, por quererme, educarme y apoyarme a lo largo de toda mi vida, y por supuesto en todos mis años como estudiante; sin su confianza y esfuerzo nada de esto sería posible.

A mis profesores en general, por transmitir sus conocimientos; y específicamente a la Q.B.P Elizabeth Mercado, por su asesoría, tiempo y apoyo para el desarrollo de este proyecto.

Al Biólogo Álvaro Romo por la confianza, por permitirme conocer la PTAR Tlalnepantla, así como aprender de esta misma, y por el apoyo necesario para el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

El tema del tratamiento de aguas residuales, y las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ha ido en aumento en los últimos años por empresas privadas y el gobierno, esto debido a la alta demanda de agua potable y la escasez de esta misma.

Por eso el interés de realizar la investigación de este proyecto, para conocer más allá de los equipos de tratamiento y la operación, enfocándose en identificar y, sobre todo, que papel como bioindicadores tienen los organismos protozoarios en el tratamiento de aguas en esta PTAR.

En este proyecto se realizó la investigación de las características de los protozoarios y su participación en el tratamiento de aguas residuales, posteriormente se llevó a cabo el muestreo en los reactores biológicos en diferentes fechas para poder identificar cada organismo y así poder investigar su función como bioindicadores.

Llevar lodos activados de la PTAR Tlalnepantla a la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), para poder ser oxigenados, alimentados y monitoreados por cinco días para definir si la oxigenación es un factor faltante en la PTAR. Esto se lograría tomando una muestra cada día de este lodo y observar en el microscopio de organismos se encuentran, esperando encontrar principalmente bioindicadores de buena oxigenación.

Por último, llegar a la conclusión de que la función de los protozoarios en el tratamiento de aguas residuales es importante y una alternativa cuando no se logra identificar el problema en los equipos de cualquier PTAR cuando no se está logrando la calidad de agua deseada.

ÍNDICE

RESUMEN	i
GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
Introducción	2
Justificación.....	3
Problemática a resolver, necesidad o requerimiento del mercado	4
Antecedentes	5
Objetivos	9
Alcances y limitaciones	10
Impactos esperados y viabilidad.....	11
MARCO TEÓRICO	12
Organismos Protozoarios	13
Descripción	13
Clasificación.....	13
Los protozoarios en el tratamiento de aguas residuales como bioindicadores.....	14
Cultivo de protozoarios en el laboratorio	23
DESARROLLO	24
Descripción de la PTAR y proceso de muestreo	25
Identificación y Descripción de Organismos Protozoarios.....	26
RESULTADOS.....	56
CONCLUSIONES	60
COMPETENCIAS DESARROLLADAS	61
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	62
ANEXOS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Página
Figura 1. Larva de <i>Ascaris suum</i>	14
Figura 2. Metazoo <i>Rotaria</i>	15
Figura 3. Quiste de <i>Ch. Mesnili</i>	15
Figura 4. <i>Thuricola</i> sp.....	16
Figura 5. Nematodo.....	16
Figura 6. <i>Coleps hirtus</i>	17
Figura 7. <i>Epistylis rotans</i>	17
Figura 8. <i>Epistylis</i> sp.....	18
Figura 9. <i>Arcella</i> sp.....	18
Figura 10. <i>Mayorella</i> sp.....	19
Figura 11. <i>Peranema</i>	19
Figura 12. Ameba desnuda.....	20
Figura 13. <i>Chilodonella</i> spp.....	20
Figura 14. <i>Euglypha</i> spp.....	21
Figura 15. Complejo <i>Vorticella infusionum</i>	22
Figura 16. <i>Litonotus crystallinus</i>	22
Figura 17. <i>Epistylis plicatilis</i>	26
Figura 18. <i>Pyxidicula</i> sp.....	27
Figura 19. <i>Philodina</i> sp.....	28
Figura 20. <i>Arcella</i> sp.....	28
Figura 21. <i>Opercularia</i> spp.....	29
Figura 22. Reactor A en fase de llenado con mezclado.....	30
Figura 23. <i>Perispira</i> sp.....	30
Figura 24. <i>Rotaria</i> sp.....	31
Figura 25. <i>Arcella</i> sp.....	32
Figura 26. <i>Vorticella fromenteli</i> A10X.....	33
Figura 27. <i>Vorticella fromenteli</i> A 40X.....	33
Figura 28. <i>Centropyxis</i> sp.....	33
Figura 29. <i>Arcella</i> sp.....	34
Figura 30. Reactor A en fase de aireación.....	35
Figura 31. <i>Centropyxis</i> sp.....	35
Figura 32. <i>Opercularia</i> spp.....	36
Figura 33. <i>Epistylis rotan</i>	37
Figura 34. <i>Arcella</i> sp.....	38
Figura 35. <i>Euplotes moebiusi</i>	38
Figura 36. Reactor B en fase de sedimentación.....	39
Figura 37. <i>Vaginicola</i> sp.....	40
Figura 38. <i>Bodo saltans</i>	40
Figura 39. <i>Paramecium bursaria</i>	41
Figura 40. Reactor A en fase de sedimentación.....	42
Figura 41. <i>Epistylis rotan</i>	42
Figura 42. <i>Paramecium bursaria</i>	43
Figura 43. Reactor B en fase de llenado con mezclado.....	44

Figura 44. <i>Carchesium polypinum</i>	44
Figura 45. <i>Opercularia</i> spp.....	45
Figura 46. Reactor A en fase de oxigenación.....	46
Figura 47. <i>Centropyxis</i> sp.....	46
Figura 48. <i>Arcella</i> sp.....	47
Figura 49. <i>Aspidisca cicada</i>	48
Figura 50. <i>Centropyxis</i> sp.....	48
Figura 51. <i>Colpoda ecaudata</i>	49
Figura 52. Reactor B en fase de sedimentación.....	50
Figura 53. Extracción de lodos en reactor B.....	51
Figura 54. Vaciado de lodos en tubo de centrifugado.....	51
Figura 55. Almacenamiento de muestras de lodos en recipiente térmico....	51
Figura 56. Extracción de lodos en reactor A.....	51
Figura 57. Vaciado de lodos en tubo de centrifugado.....	51
Figura 58. Almacenamiento de muestras de lodos en recipiente térmico....	51
Figura 59. Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales del TESCO..	52
Figura 60. Reactor biológico con lodos activados.....	52
Figura 61. <i>Arcella</i> sp.....	53
Figura 62. <i>Perispira</i> sp.....	53
Figura 63. <i>Rotaria</i> sp.....	54
Figura 64. <i>Epistylis rotans</i>	54
Figura 65. <i>Aelosoma variegatum</i>	54
Figura 66. <i>Epistylis rotans</i>	54
Figura 67. <i>Rotaria</i> sp.....	54
Figura 68. Complejo <i>Vorticella aquadulcis</i>	54
Figura 69. <i>Centropyxis</i> sp.....	55
Figura 70. <i>Rotaria</i> sp.....	55
Figura 71. <i>Euglypha</i> sp.....	55
Figura 72. <i>Arcella</i> sp.....	55
Figura 73. <i>Centropyxis</i> sp.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Título	Página
Tabla 1. Protozoarios como bioindicadores. Fuente: Salcedo. 2017.....	5
Tabla 2. Descripción de organismos protozoarios y sus parámetros bioindicadores. Gómez. 2023.....	6
Tabla 3. Organismos protozoarios bioindicadores. Isac. 2008.....	8
Tabla 4. Parámetros por día de monitoreo de lodos en Planta Piloto del TESC...	59

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de organismos protozoarios como bioindicadores en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, identificarlos, conocer la mayor población y saber cómo afectan en el tratamiento. Logrando una detección y prevención de posibles problemas en la operación y por consiguiente en la calidad del agua tratada.

La característica principal de los protozoarios como bioindicadores, es mejorando la calidad de efluentes, ayudando a la reducción de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Ya que son los principales consumidores de bacterias.

El análisis de la problemática tiene causas diversas, como lo es el clima, el tipo de agua (características particulares como pH, temperatura, etc.) y la operación en general.

La investigación se realizó con el interés de conocer su función como bioindicadores, y saber si el tipo de operación en la PTAR está siendo la adecuada.

Por otra parte, identificarlos, conocer sus características y población es la base primordial para llevar a cabo la investigación.

JUSTIFICACIÓN

Llevar un control de los microorganismos presentes en las aguas residuales a tratar es algo fundamental para llevar a cabo una operación correcta a lo largo del tren de tratamiento, y así lograr la calidad de agua tratada deseada.

Frecuentemente las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales presentan problemas en la calidad del agua, dejando a un lado el tema de los bioindicadores, siendo estos fundamentales para conocer el posible problema en la operación.

El estudio de microorganismos protozoarios en los últimos años ha ido en aumento debido a al incremento en el interés de darle un segundo uso a las aguas residuales y por consecuente a su tratamiento. Debido a estos estudios se ha encontrado que la presencia de diversos protozoarios son indicadores de un buen proceso en las PTAR, y por lo tanto el resultado de que el agua tratada tiene buena calidad; o por el contrario, la presencia o ausencia de otros son indicadores de que el tratamiento no se está llevando a cabo de forma correcta, y por consecuencia una mala calidad del agua tratada.

PROBLEMÁTICA A RESOLVER, NECESIDAD O REQUERIMIENTO DEL MERCADO

Es muy común que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales presenten constantemente problemas en la operación, afectando en la calidad del agua tratada, si el problema no es detectado en el fallo de los equipos, algunas veces estos problemas se toman muy a la ligera, continuando con el proceso de tratamiento sin tomar en cuenta otras posibles causas como lo son los bioindicadores.

Los protozoarios han funcionado para conocer el desempeño de los lodos activados como bioindicadores de calidad en el proceso de tratamiento con respecto a la cantidad de materia orgánica.

Al estar en equilibrio con su medio ambiente reaccionan de forma natural cuando este presenta un cambio de forma positiva o negativa según la especie. Lo que va a indicar la característica por la cual está presentando un cambio o alteración en el tratamiento de agua.

Al llevar a cabo esta investigación, así como la identificación en una PTAR, ayudara a encontrar el posible problema en el tratamiento biológico, así como en otras plantas.

ANTECEDENTES

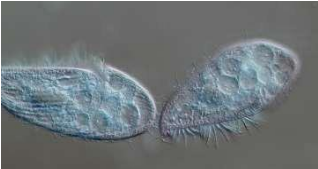
Indicadores de calidad microbiológicos en sistemas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados

Salcedo. 2017

Describir los indicadores microbiológicos en procesos de tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados, llevando a cabo una identificación y conteo de estos, para que ayude como referencia en proyectos e investigaciones futuras. Es el principal objetivo de esta investigación.

A continuación, se muestra en la Tabla 1 algunos protozoarios que describe el autor, así como sus parámetros bioindicadores:

Tabla 1. Protozoarios como bioindicadores. Fuente: Salcedo. 2017

Protozoario	Parámetros bioindicadores	Imagen
Arcella spp	Está relacionada con un buen asentamiento de los lodos.	
Aspidisca spp	Indica condiciones de estabilidad en el sistema de lodos activados y por tanto de buena eficacia en la depuración.	
Blepharisma spp	Indica buenas condiciones nitrificantes, oxígeno disuelto bajo y con bajas concentraciones de sólidos en el sistema, dando como resultado buenos lodos en términos de sedimentabilidad y efluentes de buena calidad.	
Litonotus obtusus	A elevadas densidades poblacionales indica deterioro del sistema; típico de edades de lodos elevadas y bajas cargas, así como de lodos de mala sedimentabilidad.	

Evaluación de la calidad de depuración de líquido residual domiciliario mediante bioindicadores

Ionno. 2024

Mediante estudios y prácticas, en este trabajo se cuantificaron microorganismos presentes en el tratamiento biológico y su relación con la calidad del efluente, con el fin de establecer medidas de control mediante indicadores biológicos.

La presencia de protozoos en estas aguas residuales es beneficiosa para el proceso de tratamiento, ya que contribuyen a la depuración biológica al controlar la población bacteriana y descomponer la materia orgánica.

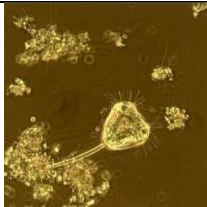
Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible. (Capítulo 12. Reconocimiento de algas protozoos y metazoos como bioindicadores ambientales)

Gómez. 2023

En el artículo 12 de este libro se enfoca en el tema de ciertos organismos como bioindicadores en el proceso biológico de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, principalmente se identificaron los protozoarios encontrados en las muestras previamente realizadas, para posteriormente investigar cómo están funcionando en este proceso del tratamiento.

A continuación, se muestra en la Tabla 2 algunos protozoarios que describe el autor, así como sus parámetros bioindicadores:

Tabla 2. Descripción de organismos protozoarios y sus parámetros bioindicadores. Gómez. 2023

Protozoario	Parámetros bioindicadores	Imagen
Tokophrya sp	Bioindicador de alta edad de lodos.	
Vorticella sp	De forma dominante, está asociado a condiciones de buena aireación y funcionamiento estable del reactor; en baja densidad poblacional, se asocia a condiciones transitorias (poco estables o de colonización). Es indicador, además, de la ausencia de nitrificación en el reactor biológico.	

Paramecium caudatum	Indica lodos en formación, con carga orgánica alta.	
Uronema sp	Indica bajas edades de lodos o en situaciones de sobrecarga orgánica y escasa oxigenación.	

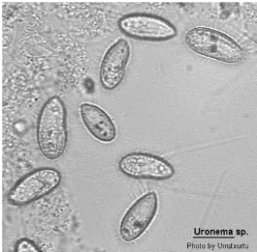
Protozoos en el fango activo

Isac. 2008

Este trabajo es muy específico en cuanto a protozoarios, ya que los identifica en grupos, orden, familia y género. También muestra sus características taxonómicas, las características funcionales del grupo y sus características ecológicas; en estas últimas describe los parámetros como bioindicadores.

A continuación, se muestra en la Tabla 3 algunos protozoarios que describe el autor, así como sus parámetros bioindicadores:

Tabla 3. Organismos protozoarios bioindicadores. Isac. 2008

Protozooario	Parámetros bioindicadores	Imagen
Entosiphon sp	Indica condiciones de baja carga orgánica en el reactor.	
Carchesium polypinum	Licor mezcla de muy buena calidad, y buena oxigenación.	
Uronema sp	Indica altos niveles de bacterias libres. En algunas ocasiones se presenta como organismo mayoritario en plantas que funcionan a bajas edades de fangos o en situaciones de sobrecarga orgánica y escasa oxigenación. Presencia ligada a la fase de puesta en marcha del proceso.	
Oxytricha sp	Indicador de fangos estabilizados y por lo tanto de un buen funcionamiento de la planta.	

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar y registrar los organismos protozoarios presentes en un sistema de lodos activados de una PTAR por medio de muestreo. Así como describir su función como bioindicadores e investigar cómo afectan en el tratamiento biológico, encontrar un posible problema en la operación, afectando en la calidad de agua tratada.

Objetivos específicos

1. Recolectar muestras de lodos activados en los reactores biológicos de la PTAR.
2. Observar en el microscopio dichas muestras para poder identificar y registrar las diferentes especies de protozoarios.
3. Describir la función como bioindicadores de cada especie encontrada.
4. Investigar cómo benefician estas especies en el tratamiento biológico, en una planta piloto.
5. Definir los problemas de operación de la PTAR a partir de los protozoarios localizados en los lodos del reactor biológico.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Se pretende lograr conocer por medio de bioindicadores protozoarios, características y deficiencias en la operación de una PTAR, y por consecuente la calidad del agua tratada, así como en otras plantas que presenten problemas similares.

Esta investigación se limita a la identificación, registro y descripción del funcionamiento de organismos protozoarios como bioindicadores, para que con otras herramientas o investigaciones ajenas a esta se encuentre la solución, o control de sobrepoblación de estos organismos.

IMPACTOS ESPERADOS Y VIABILIDAD

Lograr identificar como afectan los organismos protozoarios como bioindicadores en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, para modificar la forma de operación en estas, y finalmente se logre una mejor calidad en el agua tratada.

Identificando una gran variedad de estos organismos se pretende conocer un amplio número de especies y características que pueden ayudar en investigaciones futuras sobre temas relacionados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Organismos Protozoarios

Descripción

Los protozoarios son organismos microscópicos, unicelulares, eucariontes, autótrofos, la mayoría heterótrofos y aerobios. Su tamaño varía de 3 a 100 micras, sin pared celular rígida, móviles, no fotosintéticos y se nutren de otros seres vivos, principalmente de bacterias. Su reproducción puede ser asexual por bipartición o sexual por isogametos o conjugación, para el intercambio del material genético. Siendo usados para la mejora de efluentes en los procesos de tratamiento biológicos de aguas residuales, ya que su alimentación de la mayoría es de bacterias y partículas de materia orgánica. [1]

Clasificación

Flagelados: microorganismos de vida libre cuyas dimensiones son de 5 – 20 μm ; presentan flagelos de igual o mayor tamaño que el cuerpo, el cual les permite desplazarse por el agua. [14]

- Entosiphon
- Peranema

Ciliados libres: son de los protozoarios más grandes llegando a medir hasta 4 mm, en alguna etapa de su vida cuentan con estructuras llamadas cilios; son libres nadadores que se encuentran en el lodo activado, por lo cual, cuando estos se purgan se pierden, convirtiéndose en organismos colonizadores de los sistemas de tratamiento. [14]

- Paramecium caudatum
- Paramecium bursaria litonotus
- Aspidisca
- Prorodon
- Holosticha
- Blepharisma

Ciliados fijos: cuentan con características similares que los ciliados libres en cuanto a medidas y estructuras, pero a diferencia de los libres, los fijos se mantienen unidos al floculo alimentándose de bacterias que se encuentran en la superficie de este. [14]

- Epistylis
- Vorticela
- Tokophrya sutorio

Rhizopoda o Amiboides: organismos que se distinguen por tener seudópodos, las cuales son extensiones temporales que forma la célula, que también se presentan como flagelos lo cual dificulta poder ser observados; también se distinguen por su forma y estructuras morfológicas como es la vacuola contráctil, la apariencia del núcleo y su ciclo de vida. [14]

- Arcella

- Centropyxis
- Ameba desnuda

Los protozoarios en el tratamiento de aguas residuales como bioindicadores

Se ha logrado identificar una gran importancia de estos organismos en el tratamiento biológico de las PTAR, ya que se alimentan de bacterias ayudan al control de sobrepoblación de estas, también, después de las bacterias, los protozoarios son buenos degradadores de materia orgánica. Estos organismos forman parte de la cadena trófica del ecosistema que tienen los reactores, la cual se forma en parte por las características del influente, como son los nutrientes, la demanda química de oxígeno (DQO) y DBO, y por otra parte por las condiciones de operación y las ambientales. [6] [14]

Como bioindicadores de calidad son excelentes, ya que son sensibles a compuestos tóxicos y a una mala oxigenación. Según las especies encontradas, así como la sobrepoblación o la ausencia de ciertos organismos; la identificación puede ser positiva o negativa.

Algunos de los protozoarios más comunes que se pueden presentar en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, y su función como bioindicadores son:

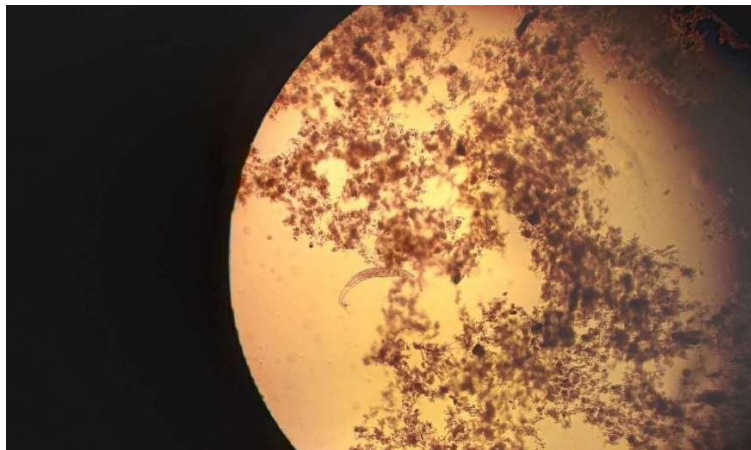


Figura 1. Larva de Ascaris suum

Características generales:

Clase: Oligochaeta.

Familia: Aelosomatidae.

Género: Aelosoma.

Alimentación: Bacterias, algas y detritus.

Parámetros bioindicadores: Altas edades de lodos; buenos rendimientos en la depuración.



Figura 2. Metazoo Rotoria

Características generales:

Clase: Bdelloidea.

Familia: Philodinidae.

Género: Rotoria.

Alimentación: Bacterias, algas y otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: Asociado a edades de lodo altas y a una buena calidad del efluente tratado.



Figura 3. Quiste de Ch. Mesnili

Características generales:

Clase: Zoomastigophora.

Familia: Retortamonadidae.

Género: Chilomastix.

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: A elevadas concentraciones indican baja carga orgánica.

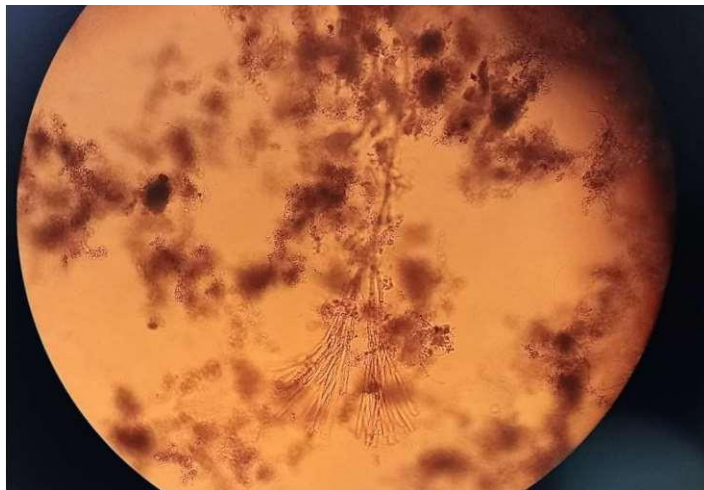


Figura 4. Thuricola sp

Características generales:

Clase: Zoomastigophora.

Familia: Retortamonadidae.

Género: Chilomastix.

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: Buenos rendimientos en la depuración; asociado a bajas cargas másicas y altos tiempos de retención celular en el reactor.

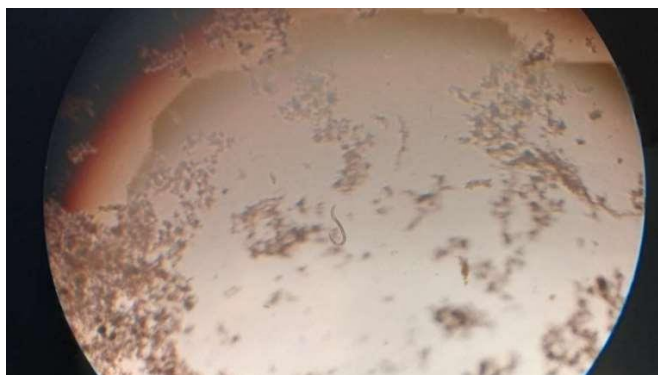


Figura 5. Nematodo

Características generales:

Phylum: Nematoda

Alimentación: Predadores de protozoos.

Parámetros bioindicadores: Elevada edad de lodos.



Figura 6. *Coleps hirtus*

Características generales:

Clase: Prostomatea.

Familia: Colepidae.

Género: *Coleps*.

Alimentación: Bacterias, algas, pequeños flagelados y ciliados.

Parámetros bioindicadores: Niveles bajos de carga orgánica en el influente, así como influentes con alto contenido en nitrógeno y bajas concentraciones de amonio.



Figura 7. *Epistylis rotans*

Características generales:

Clase: Oligohymenophorea.

Familia: Epistylidae.

Género: Epistylis.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indicador de buena calidad del efluente depurado.



Figura 8. Epistylis sp

Características generales:

Clase: Oligohymenophorea.

Familia: Epistylidae.

Género: Epistylis.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Adecuada oxigenación en los tanques de aireación.



Figura 9. Arcella sp [8]

Características generales:

Grupo: Amebas Testáceas “Incertidae sedis”.

Orden: Arcellinida.

Familia: Arcellidae.

Género: Arcella

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: Buenos rendimientos de depuración; a elevadas concentraciones, indica baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación. [8]



Figura 10. Mayorella sp [8]

Parámetros bioindicadores: Bajos rendimientos en la depuración e inestabilidad de la carga orgánica de entrada en el reactor; en elevadas densidades de población, indica la entrada de vertidos difícilmente degradables. [8]



Figura 11. Peranema [14]

Características generales:

Grupo: Protistas flagelados.

Orden: Euglenida.

Género: *Peranema*.

Alimentación: Heterótrofo estricto. Se alimentan de bacterias y otras presas mayores.

Parámetros bioindicadores: Presente en aguas ricas con materia orgánica. Baja población en fangos maduros e Indica buenos rendimientos de depuración. [14]



Figura 12. Ameba desnuda [14]

Características generales:

Grupo: Amebas Ramicristates.

Orden: Euamoebida.

Familia: Paramoebidae.

Alimentación: Prácticamente omnívora (bacterias, protozoos, etc.).

Parámetros bioindicadores: Indica baja eficiencia e inestabilidad de la carga orgánica en el sistema. A elevadas densidades de población podrían estar asociadas a la presencia de compuestos (vertidos) de difícil degradación. [14]



Figura 13. *Chilodonella* spp [17]

14. Londoño-Cañas, Y. Rodríguez, P. Vega, L. Peñuela, G. (2021). Guía bioindicadora para ingenieros. Universidad de Antioquia, Universidad Santo Tomas.

17. Salcedo Vargas, K. Asprilla Grueso, Y. Ríos Osorio, L. (2017). Indicadores de calidad microbiológicos en sistemas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados. Hechos Microbiol. 8(1-2):44-55.

Características generales:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Chlamyodontida.

Familia: Chilodonellidae.

Género: Chilodonella.

Alimentación: Bacterias, diatomeas, algas verdes y bacterias filamentosas.

Parámetros bioindicadores: Indica bajo tiempo de retención de lodos. Presente en sistemas no nitrificantes y con abundancia de bacterias filamentosas. [17]



Figura 14. Euglypha spp [17]

Características generales:

Grupo: Amebas Testáceas con filópodos.

Orden: Euglyphida.

Familia: Euglyphidae.

Género: Euglypha.

Alimentación: Heterótrofo, depredadora de bacterias.

Parámetros bioindicadores: Indica bajas concentraciones de sólidos en el reactor y buena calidad del efluente. [17]

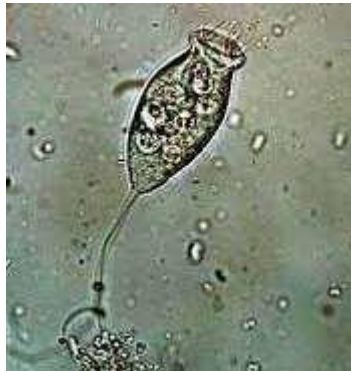


Figura 15. Complejo *Vorticella infusionum* [6]

Características generales:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Vorticellidae.

Género: *Vorticella*.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica sobrecarga orgánica, así como deficiencias en la oxigenación del reactor. [6]



Figura 16. *Litonotus crystallinus* [6]

6. García, M. (2017). Caracterización de bacterias filamentosas en lodos activados para el tratamiento de aguas residuales industriales. Tesina de licenciatura. Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable.

17. Salcedo Vargas, K. Asprilla Grueso, Y. Ríos Osorio, L. (2017). Indicadores de calidad microbiológicos en sistemas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados. Hechos Microbiol. 8(1-2):44-55.

Características generales:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Pleurostomatida.

Familia: Litonotidae.

Género: Litonotus.

Alimentación: Ciliados y flagelados.

Parámetros bioindicadores: Indica mal estado de floculación de lodos. [6]

Cultivo de protozoarios en el laboratorio

A continuación, se describe cómo es posible el cultivo de organismos protozoarios en el laboratorio:

Emplear frascos de vidrio estériles de 250 ml con tapón de algodón, vertiendo 125 ml de agua del sitio de muestreo previamente filtrada (filtros Millipore de 0,2 μm de tamaño de poro). Posteriormente implementar suplemento alimenticio (hojuelas de avena trituras, granos de trigo y arroz cocido); esto con el fin de hacer crecer la población de protozoarios. Mantener una temperatura de 30.5°C; para mantener la aireación en los cultivos agitar cada 48 h, posteriormente centrifugar a 500 rpm y observar al microscopio. [16]

6. García, M. (2017). Caracterización de bacterias filamentosas en lodos activados para el tratamiento de aguas residuales industriales. Tesina de licenciatura. Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable.

16. Marín, J. Rincón, N. Díaz-Borrego, L. Morales, E. (2017). Cultivo de protozoarios ciliados de vida libre a partir de muestras de agua del Lago de Maracaibo.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

Descripción de la PTAR y proceso de muestreo.

Todas las muestras fueron tomadas de los reactores biológicos (A y B), en los cuales por medio de dos sopladores se oxigenan y, con un agitador se estimulan los microorganismos que consumen la materia orgánica que se encuentra en el agua; dichos reactores biológicos pertenecen a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Tlalnepantla, ubicada en Manzana 084 Gustavo Baz Prada Los Reyes Ixtacala, 54098 Tlalnepantla de Baz Estado de México. [7]

El día de muestreo se recolectaban dos muestras de cada reactor en tubos de centrifugado de 15 ml, posteriormente se depositaban en un recipiente térmico con el fin de que los lodos pudieran llegar con vida al laboratorio, las muestras que se recolectaron en el día uno y dos fueron transportadas al laboratorio de ambiental en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), para poder ser observado al microscopio. Las muestras tomadas en el día tres fueron observadas en el laboratorio de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

Se coloca un grupo de fotografías especificando de que muestra es, así como del reactor que fue tomada; en cada fotografía se colocó el nombre del organismo que se identificó, así como su taxonomía y su función como bioindicador. Al final de cada bloque de fotografías se describe la hora y fecha en la que las muestras fueron tomadas.

A continuación, se presentan fotografías de organismos protozoarios presentes en lodos activados de la PTAR Tlalnepantla que se pudieron captar en el microscopio, al igual se menciona de que reactor fueron tomada y el proceso en el que se encontraban, así como la hora y fecha. Así mismo se cuenta con la identificación de cada organismo protozoario, colocando el nombre, taxonomía, grupo, orden, familia, genero, alimentación y sus parámetros como bioindicadores.

Identificación y Descripción de Organismos Protozoarios.

Grupo de fotografías tomadas de la muestra uno del reactor A:



Figura 17. *Epistylis plicatilis*

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Epistylidae.

Género: *Epistylis*.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetro bioindicadores: Este protozoo indica un rendimiento medio en la depuración de aguas residuales.

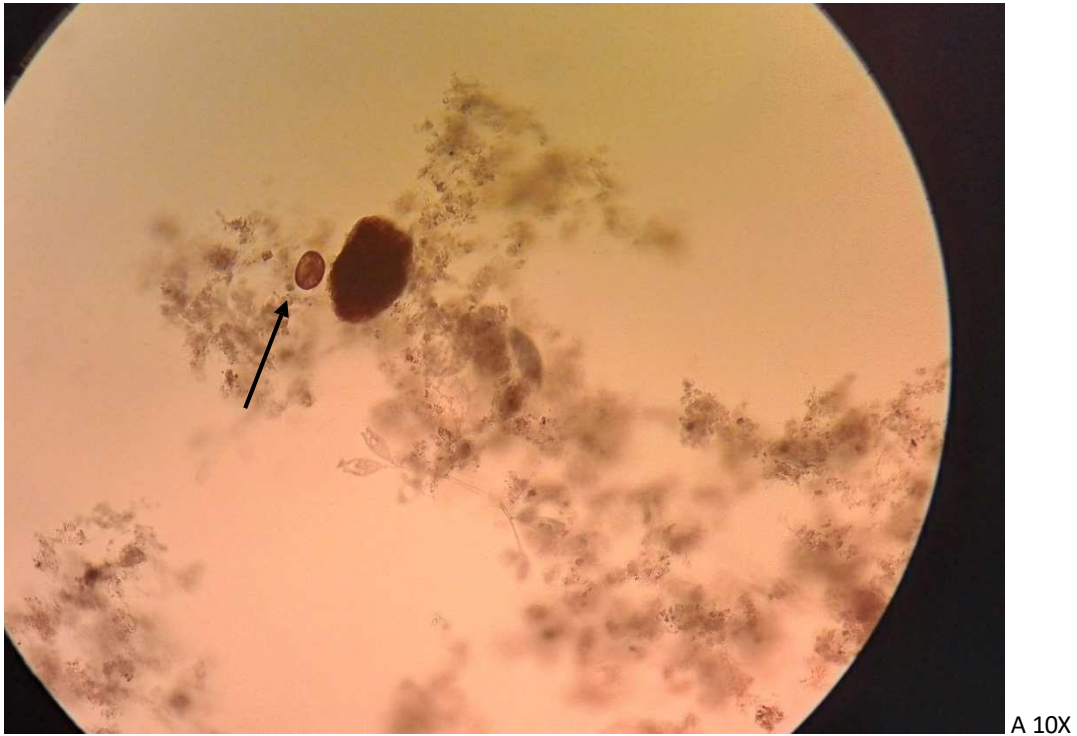


Figura 18. Pyxidicula sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Arcellidae.

Género: Pyxidicula.

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: En general son indicadores de depuración correcta.



Figura 19. Philodina sp

Taxonomía:

Phylum: Rotifera.

Clase: Digononta.

Familia: Philodinidae.

Género: Philodina

Alimentación: Detritívora.

Parámetro bioindicadores: Su presencia indica alta edad en lodos y carga débil.

Grupo de fotografías tomadas de la muestra dos del reactor A:

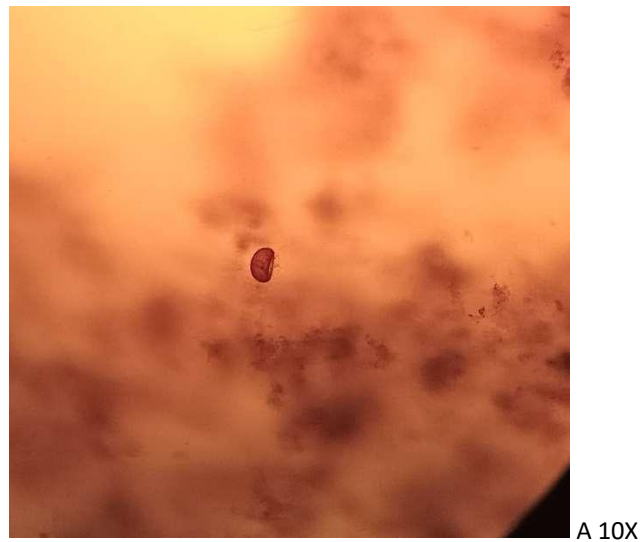


Figura 20. Arcella sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Arcellidae.

Género: Arcella.

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetro bioindicadores: Este protozoario perteneciente a las amebas indican un buen rendimiento en la depuración del agua residual. Cuando esta se encuentra en elevada presencia indica una baja orgánica, buena oxigenación y buenas condiciones de nitrificación.

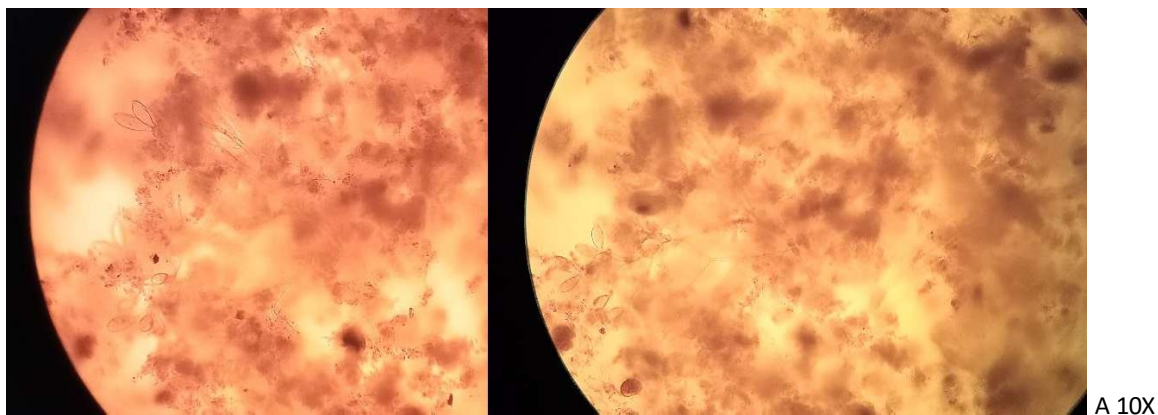


Figura 21. Opercularia spp

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Operculariidae.

Género: Opercularia.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetro bioindicadores: Este protozoario perteneciente a los ciliados indica una mala oxigenación, si aparecen de forma excesiva indica que el reactor tiene cambios drásticos.

Lugar de muestreo: Reactor A de la PTAR Tlalnepantla, este se encontraba en la fase de llenado con mezclado, muestreo a las 11:55 am del día 17 de julio de 2024.

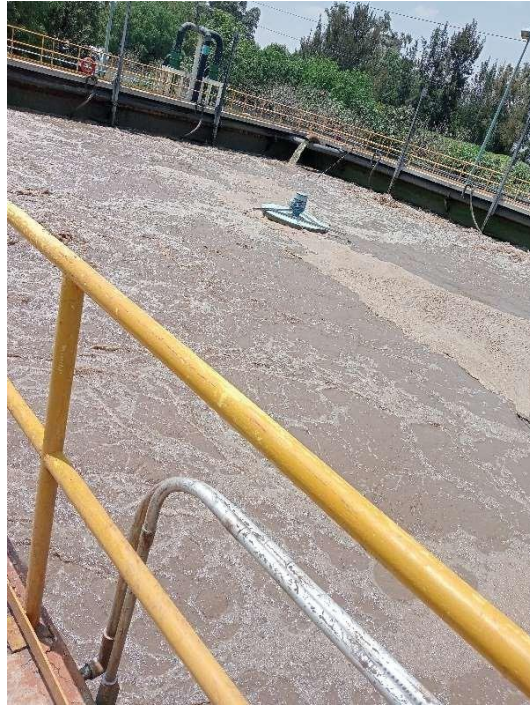
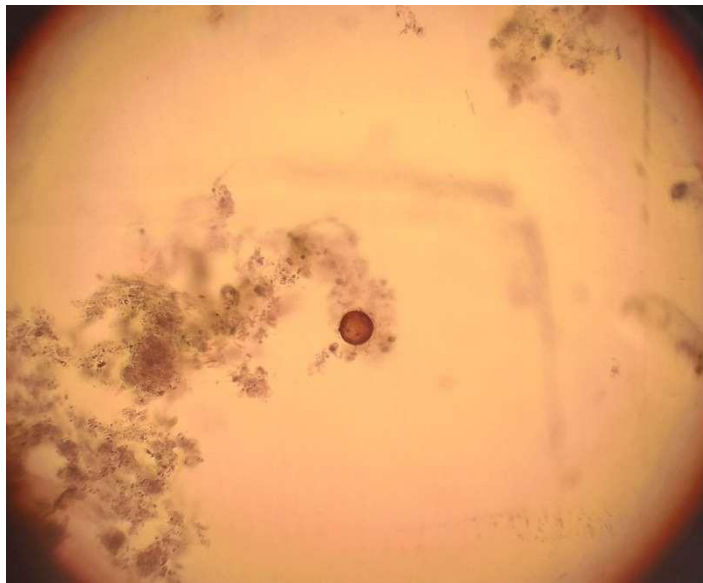


Figura 22. Reactor A en fase de llenado con mezclado

Grupo de fotografías tomadas de la muestra uno del reactor A:



A 10X

Figura 23. Perispira sp

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

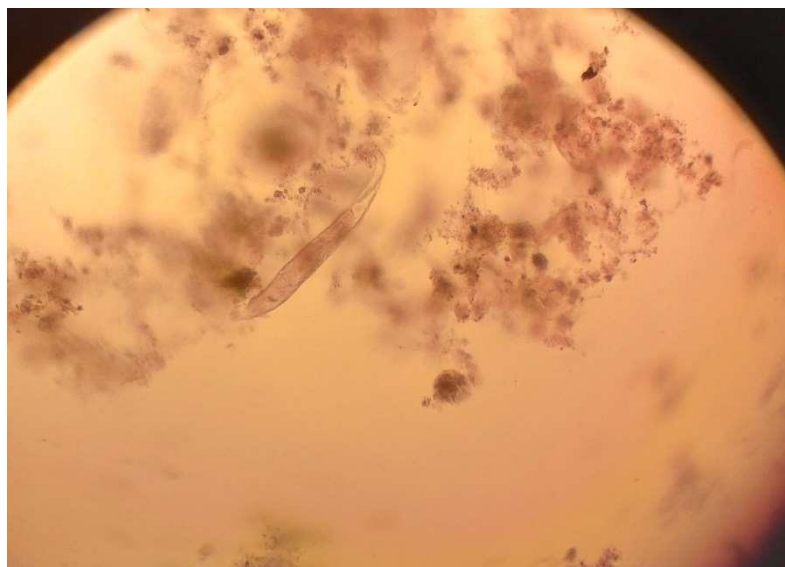
Orden: Haptorida.

Familia: Spathidiidae.

Género: Perispira.

Alimentación: Pequeños ciliados.

Parámetros bioindicadores: Su presencia es poco frecuente.



A 10X

Figura 24. Rotaria sp

Taxonomía:

Phylum: Rotifera.

Orden: Bdelloidea.

Familia: Philodinidae.

Género: Rotaria.

Alimentación: Detritus.

Parámetros bioindicadores: Elevadas edades de lodos, buena calidad del agua tratada.

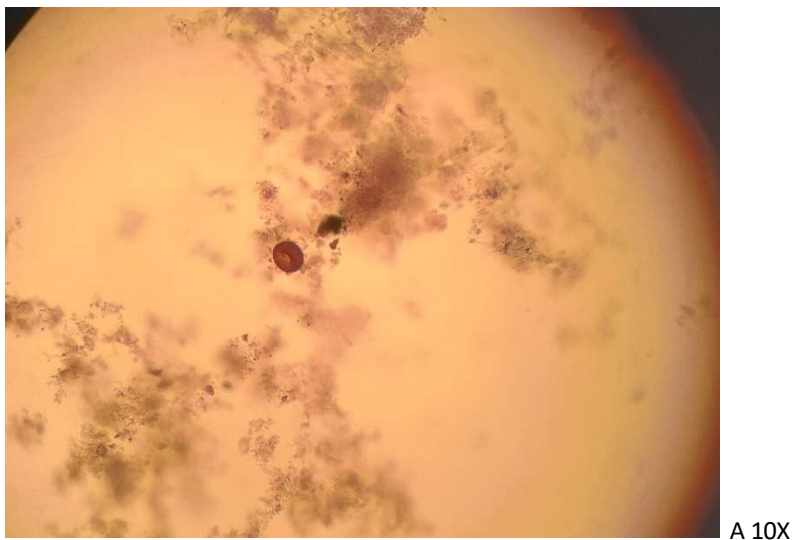


Figura 25. Arcella sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Arcellidae.

Género: Arcella.

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: Indicador del buen rendimiento de depuración. A elevadas concentraciones indican baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación.

Grupo de fotografías tomadas de la muestra dos del reactor A:

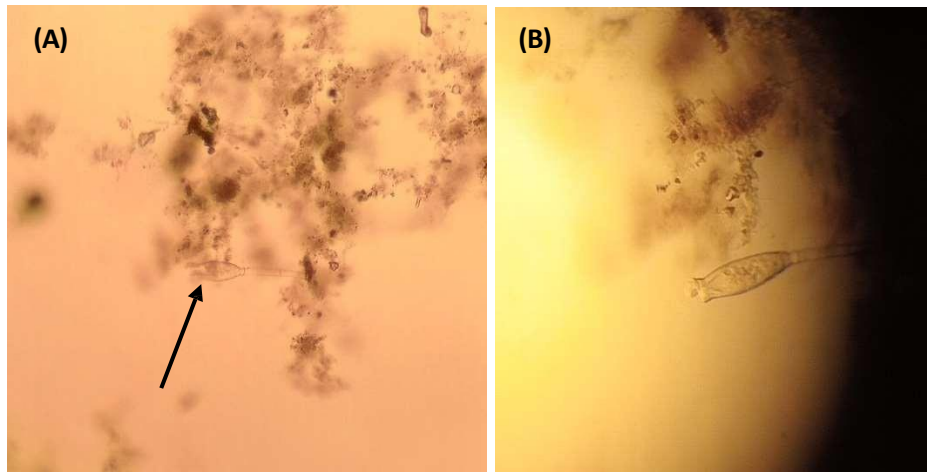


Figura 26. (A) Vorticella fromenteli A 10X Figura 27. (B) Vorticella fromenteli A 40X

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Vorticellidae.

Género: Vorticella.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores:

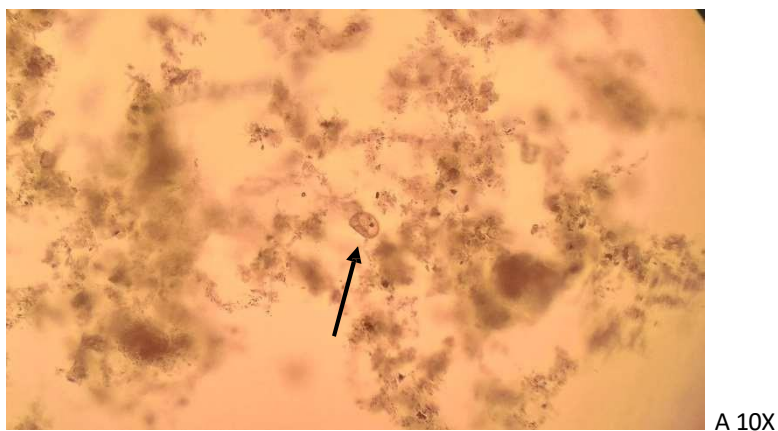


Figura 28. Centropyxis sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Centropyxidae

Género: Centropyxis.

Alimentación: Algas verdes, diatomeas, algas filamentosas, flagelados y ciliados.

Parámetros bioindicadores: Buena calidad de depuración.

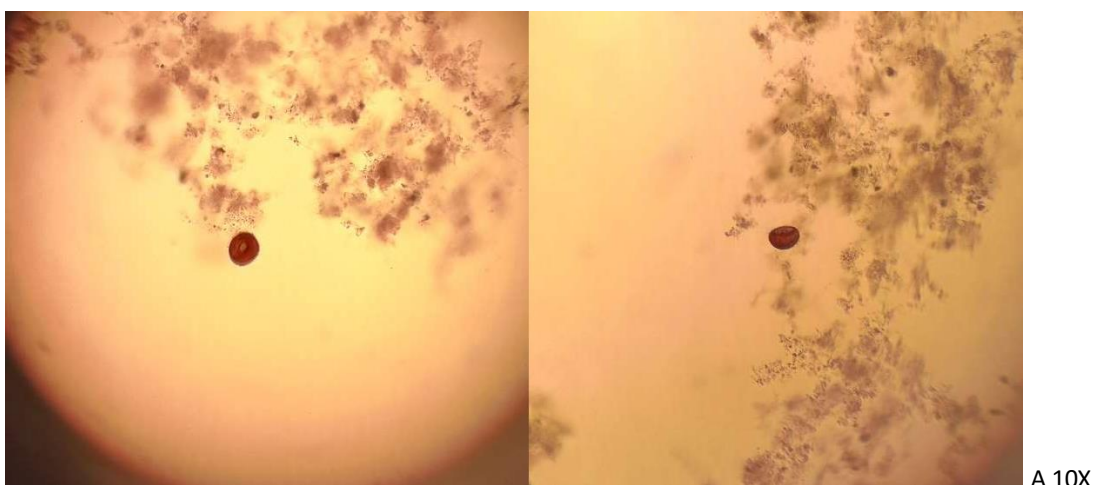


Figura 29. Arcella sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Arcellidae.

Género: Arcella.

Alimentación: Otros protozoos.

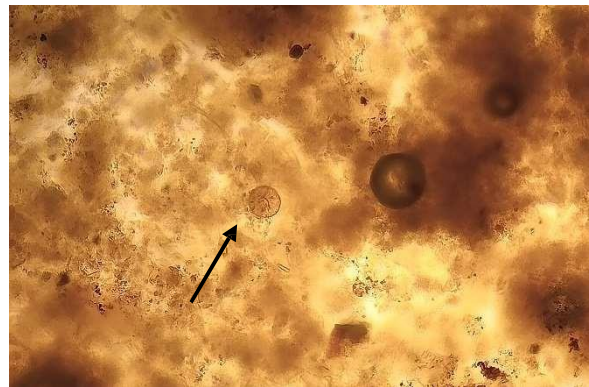
Parámetros bioindicadores: Indicador del buen rendimiento de depuración. A elevadas concentraciones indican baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación.

Lugar de muestreo: Reactor A de la PTAR Tlalnepantla, este se encontraba en la fase de aireación, muestreo a las 10:50 am del día 1 de agosto de 2024.



Figura 30. Reactor A en fase de aireación

Grupo de fotografías tomadas de la muestra uno del reactor B:



A 10X

Figura 31. Centropyxis sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Centropyxidae

Género: Centropyxis.

Alimentación: Algas verdes, diatomeas, algas filamentosas, flagelados y ciliados.

Parámetros bioindicadores: Buena calidad de depuración.

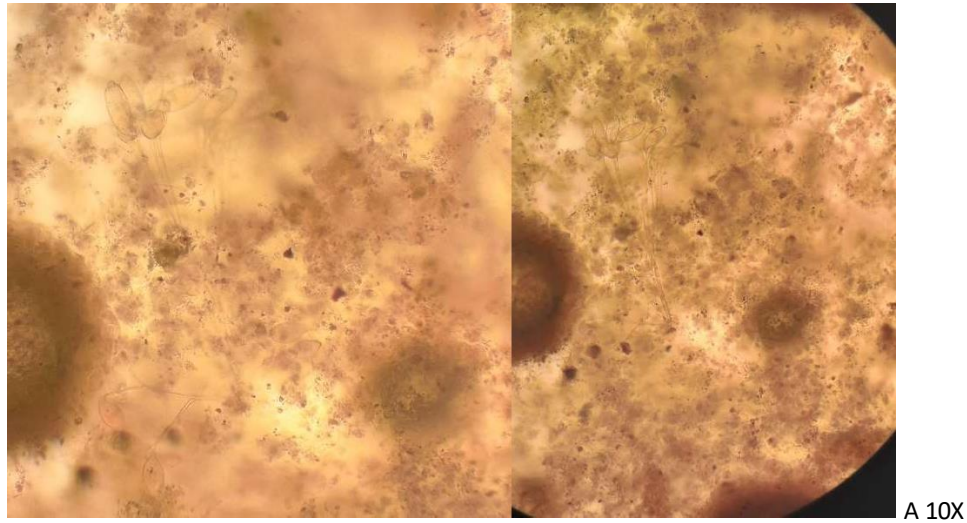


Figura 32. Opercularia spp

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Operculariidae.

Género: Opercularia.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica oxigenación insuficiente y cambios drásticos de carga orgánica en el reactor. Si se encuentra de forma invasiva indica condiciones cambiantes en el reactor.

Grupo de fotografías tomadas de la muestra dos del reactor B:

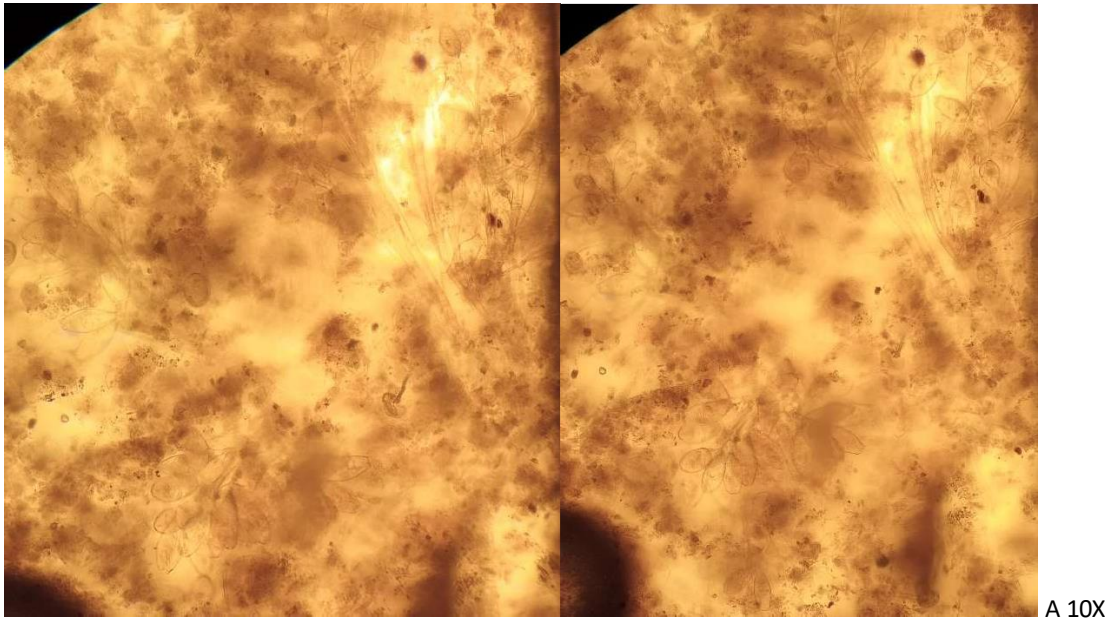


Figura 33. Epistylis rotan

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Epistylidae.

Género: Epistylis.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica una buena calidad del efluente depurado.

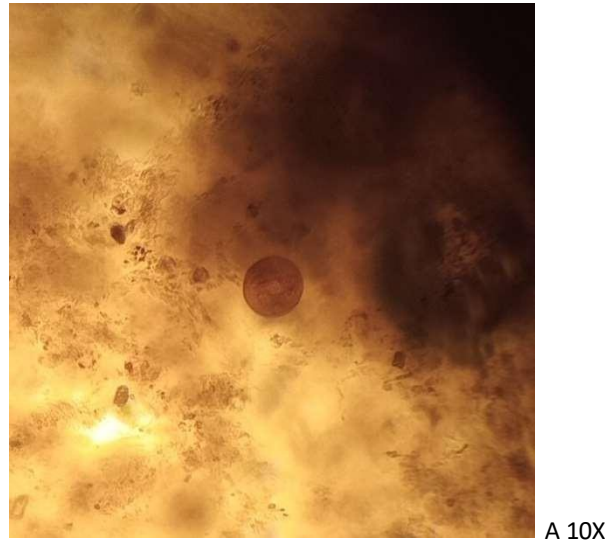


Figura 34. Arcella sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Arcellidae.

Género: Arcella.

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: Indicador del buen rendimiento de depuración. A elevadas concentraciones indican baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación.

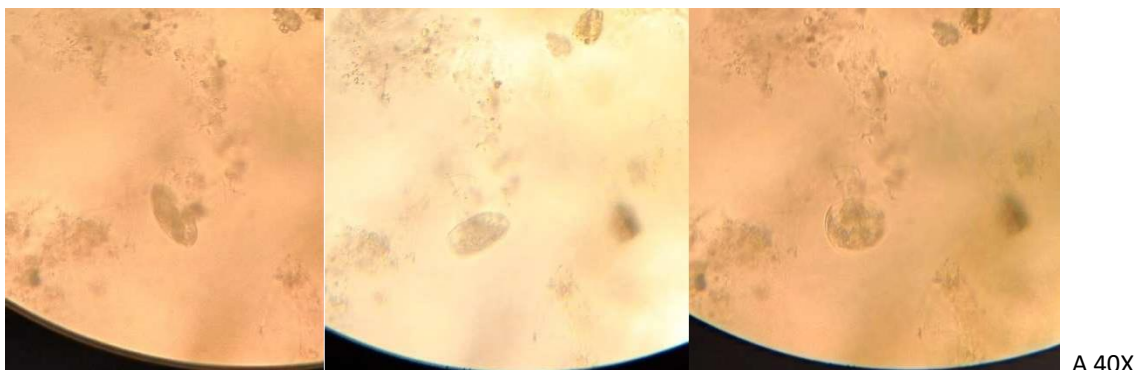


Figura 35. Euplotes moebiusi

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Euplotida.

Familia: Euplotidae.

Género: Euplotes.

Alimentación: Bacterívoro.

Parámetros bioindicadores: Buenas calidades de lodos.

Lugar de muestreo: Reactor B de la PTAR Tlalnepantla, este se encontraba en la fase de sedimentación, muestreo a las 10:55 am del día 1 de agosto de 2024.



Figura 36. Reactor B en fase de sedimentación

Fotografía tomada de la muestra uno del reactor A:

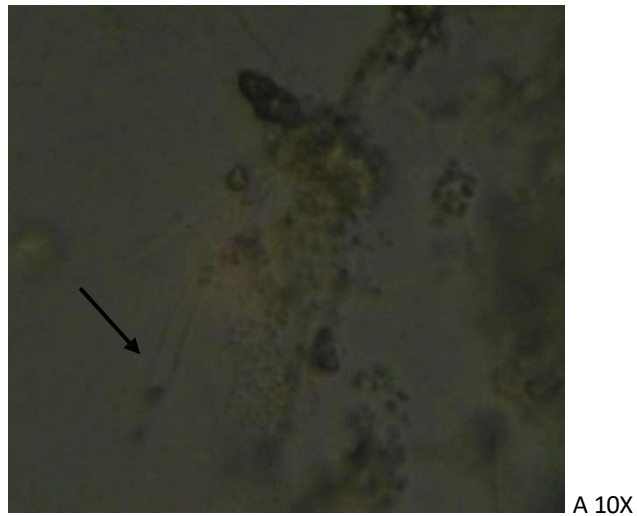


Figura 37. Vaginicola sp

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Vaginicoliidae.

Género: Vaginicola.

Alimentación: Bacterias.

Parámetros bioindicadores: Indican un buen rendimiento en la depuración, buena oxigenación y nitrificación en el reactor.

Grupo de fotografía tomadas de la muestra dos del reactor A:



Figura 38. Bodo saltans

Taxonomía:

Grupo: Protistas flagelados.

Orden: Kinetoplastea.

Familia: Bodonidae.

Género: Bodo.

Alimentación: Heterótrofo estricto. Bacterívoro.

Parámetros bioindicadores: Indica deficiencias de oxígeno, sobrecarga orgánica, cambios radicales en las condiciones fisicoquímicas del agua residual.



Figura 39. Paramecium bursaria

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Peniculida.

Familia: Parameciidae.

Género: Paramecium.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica bajos niveles de oxígeno y cargas orgánicas altas.

Lugar de muestreo: Reactor A de la PTAR Tlalnepantla, este se encontraba en la fase de sedimentación, muestreo a las 10:18 am del día 22 de agosto de 2024.



Figura 40. Reactor A en fase de sedimentación

Grupo de fotografías tomadas de la muestra uno del reactor B:



Figura 41. *Epistylis rotan*

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Epistylidae.

Género: Epistylis.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica una buena calidad del efluente depurado.

Fotografía tomada de la muestra dos del reactor B:

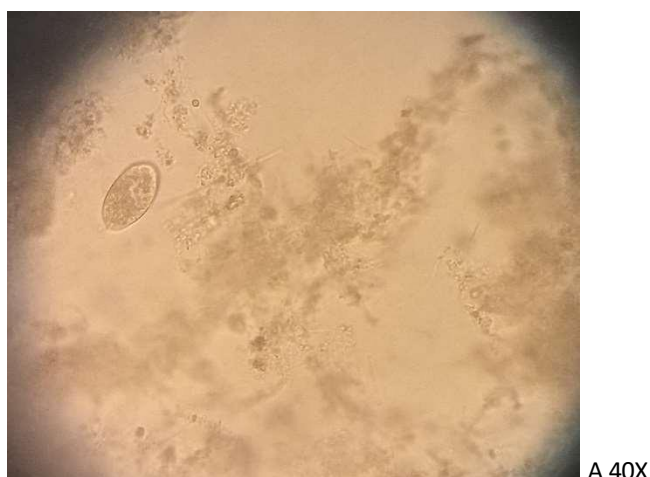


Figura 42. Paramecium bursaria

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Peniculida.

Familia: Parameciidae.

Género: Paramecium.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica bajos niveles de oxígeno y cargas orgánicas altas.

Lugar de muestreo: Reactor B de la PTAR Tlalnepantla, este se encontraba en la fase de llenado con mezclado, muestreo a las 10:25 am del día 22 de agosto de 2024.



Figura 43. Reactor B en fase de llenado con mezclado

Grupo de fotografías tomadas de la muestra uno del reactor A:

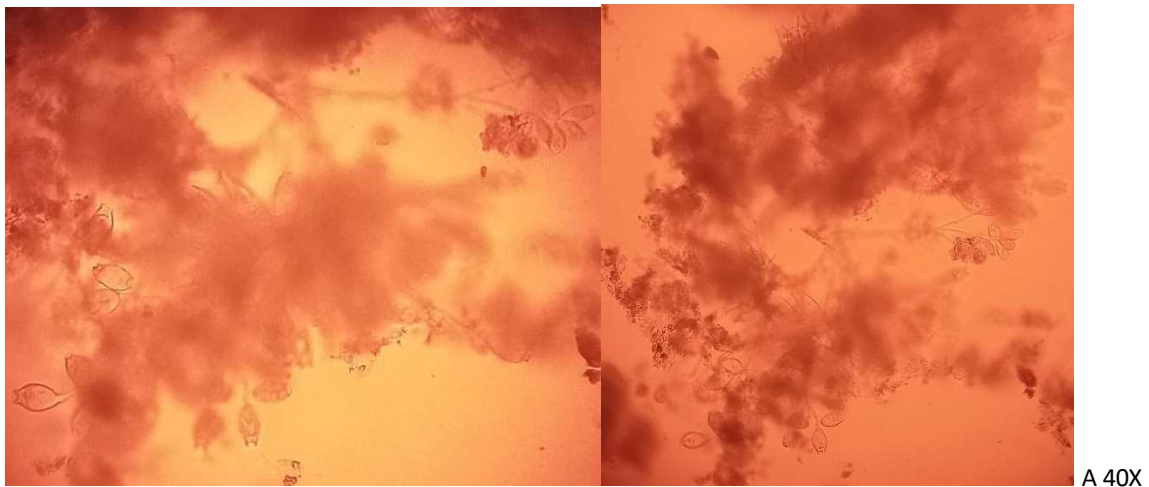


Figura 44. *Carchesium polypinum*

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Vorticellidae.

Género: Carchesium.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica un licor mezcla de buena calidad y oxigenación.

Grupo de fotografías tomadas de la muestra dos del reactor A:

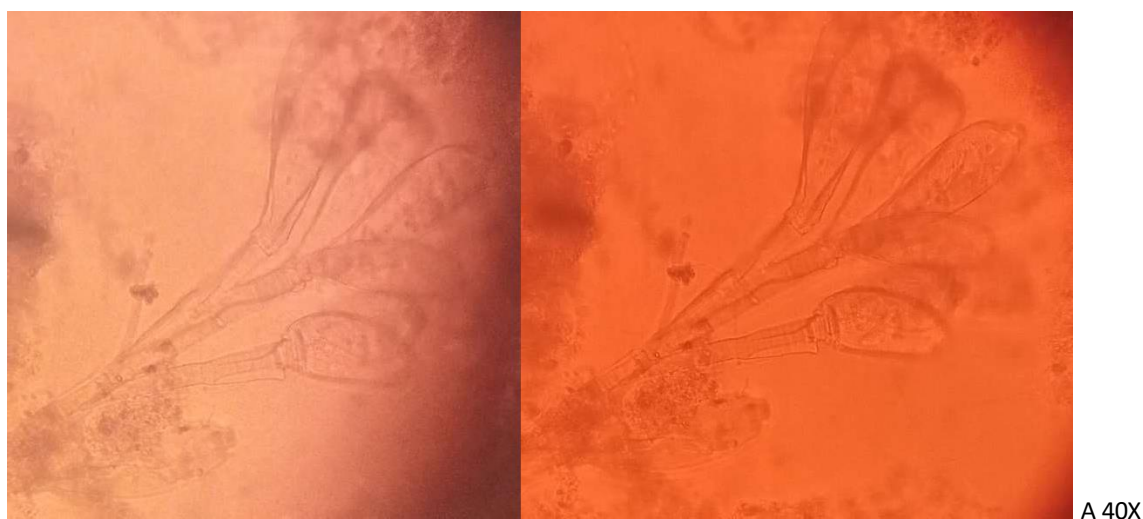


Figura 45. Opercularia spp

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Sessilida.

Familia: Operculariidae.

Género: Opercularia.

Alimentación: Bacterias libres.

Parámetros bioindicadores: Indica choques de carga orgánica en el reactor. Si aparece de forma masiva, indica condiciones cambiantes en el reactor; si la colonización del lodo es casi exclusiva por parte de este organismo, indica la entrada de influentes industriales.

Lugar de muestreo: Reactor A de la PTAR Tlalnepantla, este se encontraba en la fase de oxigenación, muestreo a las 10:04 am del día 27 de agosto de 2024.



Figura 46. Reactor A en fase de oxigenación

Grupo de fotografías tomadas de la muestra uno del reactor B:

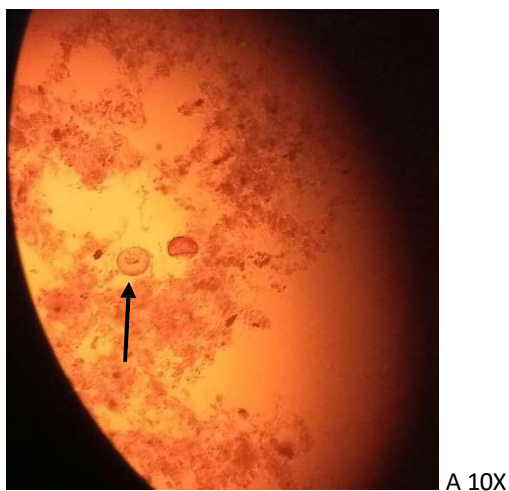


Figura 47. Centropyxis sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Centropyxidae

Género: Centropyxis.

Alimentación: Algas verdes, diatomeas, algas filamentosas, flagelados y ciliados.

Parámetros bioindicadores: Buena calidad de depuración.

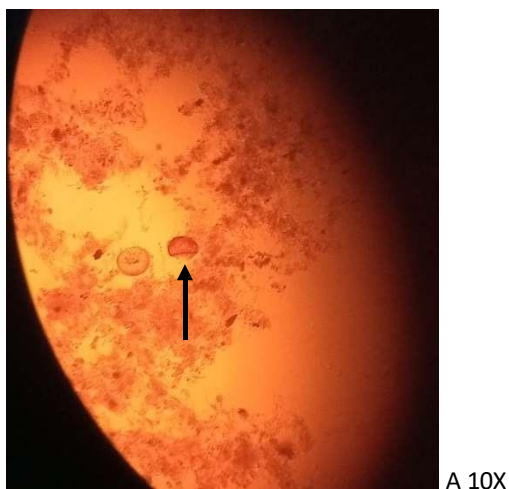


Figura 48. Arcella sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Arcellidae.

Género: Arcella.

Alimentación: Otros protozoos.

Parámetros bioindicadores: Indicador del buen rendimiento de depuración. A elevadas concentraciones indican baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación.

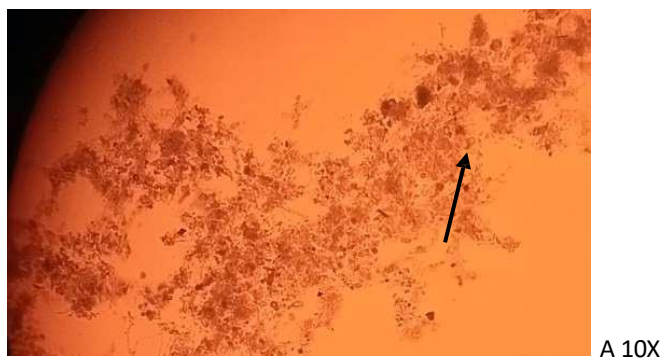


Figura 49. *Aspidisca cicada*

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados

Orden: Euplotida.

Familia: Aspidicidae.

Género: *Aspidisca*.

Alimentación: Bacterias.

Parámetros bioindicadores: En general indican características de lodos bien estabilizados y condiciones estables en el sistema, por lo tanto, buena eficacia en la depuración.

Grupo de fotografías tomadas de la muestra dos del reactor B:

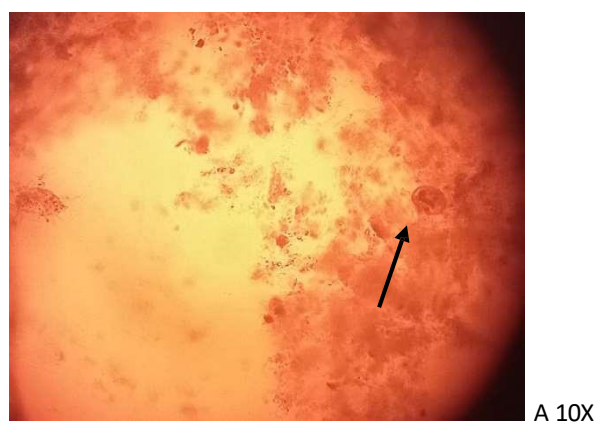


Figura 50. *Centropyxis* sp

Taxonomía:

Grupo: Amebas Testáceas.

Orden: Arcellinida.

Familia: Centropyxidae

Género: Centropyxis.

Alimentación: Algas verdes, diatomeas, algas filamentosas, flagelados y ciliados.

Parámetros bioindicadores: Buena calidad de depuración.

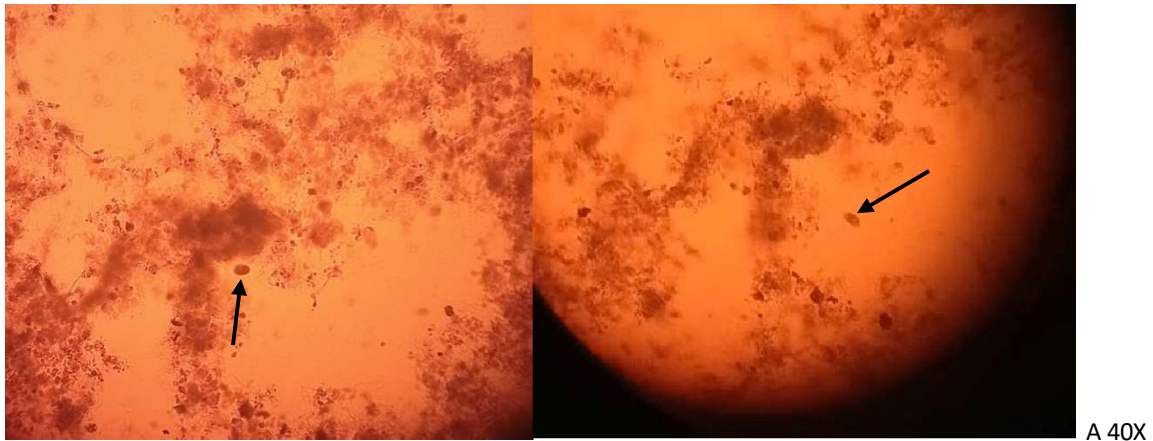


Figura 51. Colpoda ecaudata

Taxonomía:

Grupo: Protistas Alveolados.

Orden: Colpodida.

Familia: Colpodidae.

Género: Colpoda.

Alimentación: Bacterias.

Parámetros bioindicadores: Presente en sistemas que trabajan a carga media. Asociado a niveles altos de hierro.

Lugar de muestreo: Reactor B de la PTAR Tlalnepantla, este se encontraba en la fase de sedimentación, muestreo a las 10:00 am del día 27 de agosto de 2024.



Figura 52. Reactor B en fase de sedimentación

Fotografías de muestreo en los reactores biológicos de la PTAR Tlalnepantla:

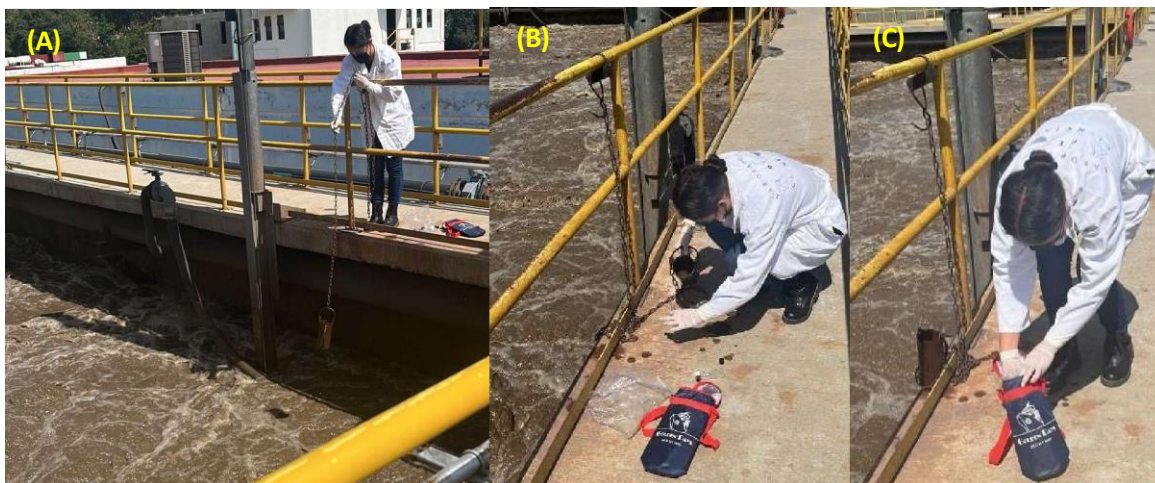


Figura 53. (A) Extracción de lodos en reactor B Figura 54. (B) Vaciado de lodos en tubo de centrifugado Figura 55. (C) Almacenamiento de muestras de lodos en recipiente térmico

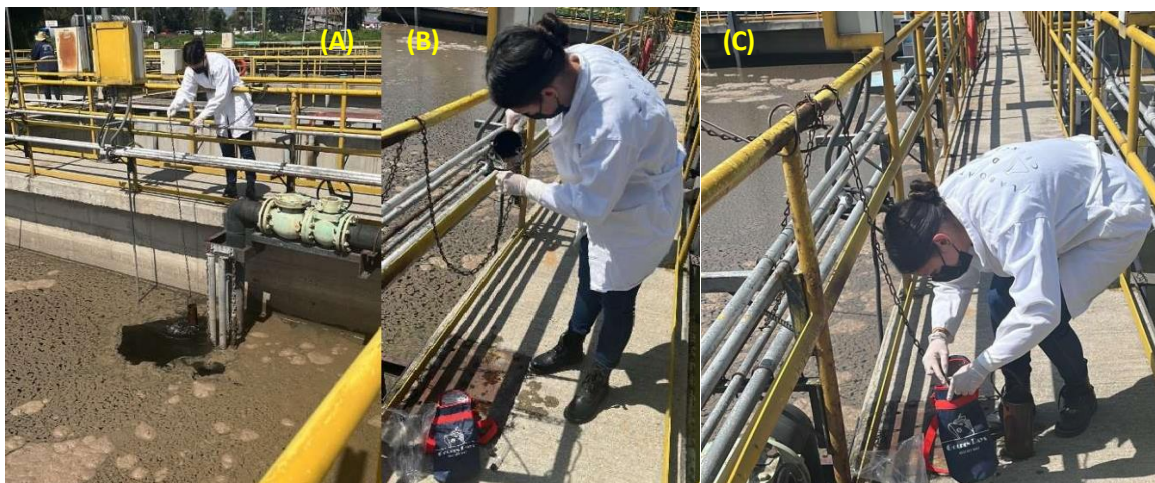


Figura 56. (A) Extracción de lodos en reactor A Figura 57. (B) Vaciado de lodos en tubo de centrifugación Figura 58. (C) Almacenamiento de muestras de lodos en recipiente térmico

El muestreo se realizó siguiendo la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 AGUAS RESIDUALES. – MUESTREO

Una última muestra de lodos que se tomó fue de 5 L, se transportó al TESCo para poder ser monitoreados, oxigenados y alimentados en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales; con el fin de que se pudiera analizar falta de oxigenación que tuvieran.



Figura 59. Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales del TESCo



Figura 60. Reactor biológico con lodos activados

El primer día se tomó una muestra, se anotaron los parámetros y se dejaron estabilizar los lodos.

Organismos protozoarios identificados:

- Arcella sp (A).
Parámetro bioindicador: Su presencia es poco frecuente.
- Perispira sp (B).
Parámetros bioindicadores: Buenos rendimientos de depuración; a elevadas concentraciones, indica baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación.

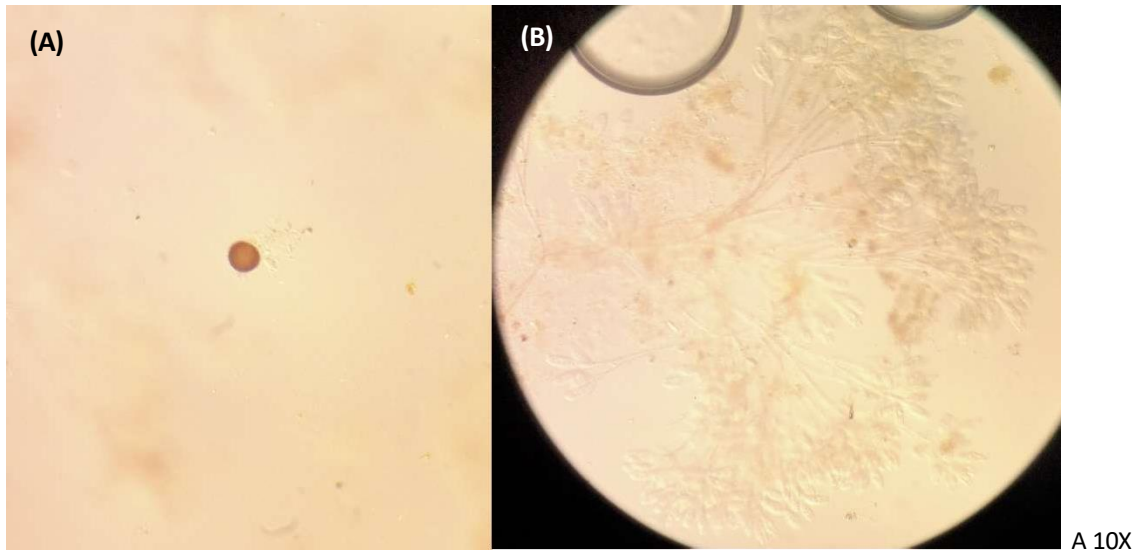


Figura 61. (A) Arcella sp Figura 62. (B) Perispira sp

El segundo día se alimentaron con fécula de maíz, se anotaron los parámetros y se tomó muestras para poder ser vistos en el microscopio y ver si la presencia de organismos bioindicadores de buena oxigenación se hacían presentes.

Organismos protozoarios identificados:

- Rotaria sp (A).
Parámetros bioindicadores: Elevadas edades de lodos, buena calidad del agua tratada.
- Epistylis rotans (B).
Parámetros bioindicadores: Indica buena calidad del efluente depurado.
- Aelosoma variegatum (C).
Parámetros bioindicadores: Indica altas edades de lodos y buenos rendimientos en la depuración.

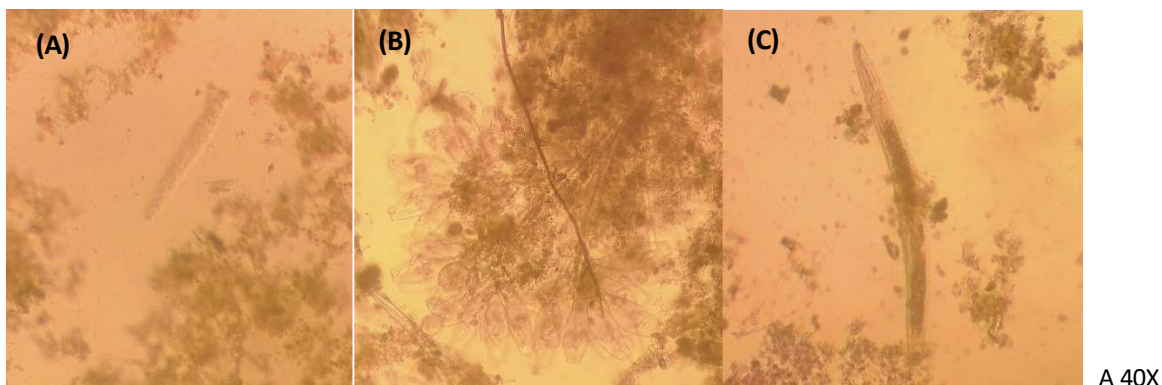


Figura 63. (A) *Rotaria* sp Figura 64. (B) *Epistylis rotans* Figura 65. (C) *Aelosoma variegatum*

En el tercer día, al igual que en el segundo se anotaron los parámetros y se tomó muestras para poder ser vistos en el microscopio y ver si la presencia de organismos bioindicadores de buena oxigenación se hacían presentes.

Organismos protozoarios identificados:

- *Epistylis rotans* (A).
Parámetros bioindicadores: Indica buena calidad del efluente depurado.
- *Rotaria* sp (B).
Parámetros bioindicadores: Elevadas edades de lodos, buena calidad del agua tratada.
- Complejo *Vorticella aquadulcis* (C).
Parámetros bioindicadores: Indica condiciones medias de depuración.

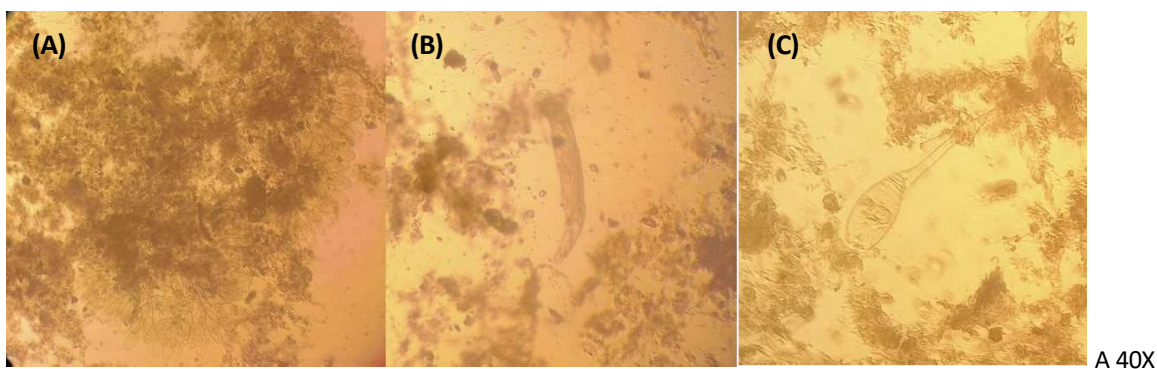


Figura 66. (A) *Epistylis rotans* Figura 67. (B) *Rotaria* sp Figura 68. (C) Complejo *Vorticella aquadulcis*

El cuarto día se anotaron los parámetros, se les proporciono alimento, se tomó muestra y fueron observados al microscopio para reportar los bioindicadores encontrados.

- *Centropyxis* sp (A).
Parámetros bioindicadores: Buena calidad de depuración.
- *Rotaria* sp (B).
Parámetros bioindicadores: Elevadas edades de lodos, buena calidad del agua tratada.
- *Euglypha* sp (C).
Parámetros bioindicadores: Indica elevada edad celular del lodo y no por ello relacionada con buenos rendimientos en la depuración y con baja carga de lodos.

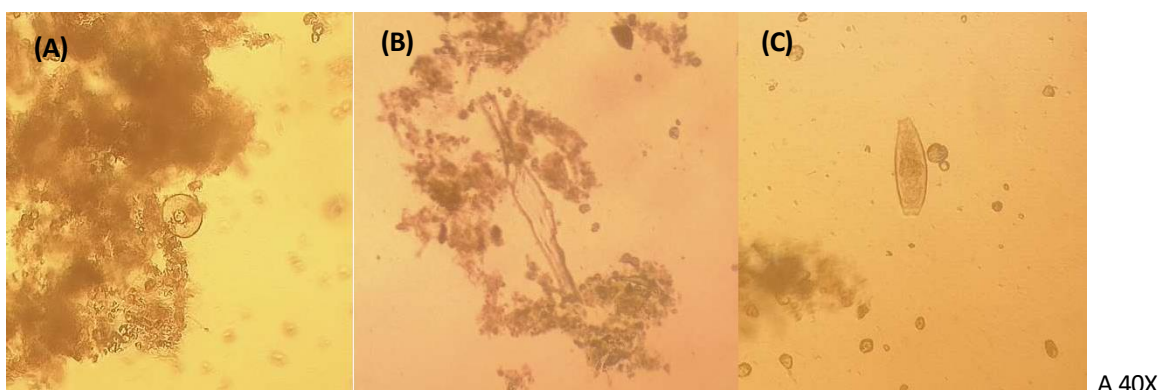


Figura 69. (A) *Centropyxis* sp Figura 70. (B) *Rotaria* sp Figura 71. (C) *Euglypha* sp

En el quinto y último día solo se anotaron los parámetros y se tomó muestra para poder observar los bioindicadores que se pudieran encontrar.

- *Arcella* sp (A).
Parámetros bioindicadores: Indicador del buen rendimiento de depuración. A elevadas concentraciones indican baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación.
- *Centropyxis* sp (B).
Parámetros bioindicadores: Buena calidad de depuración.

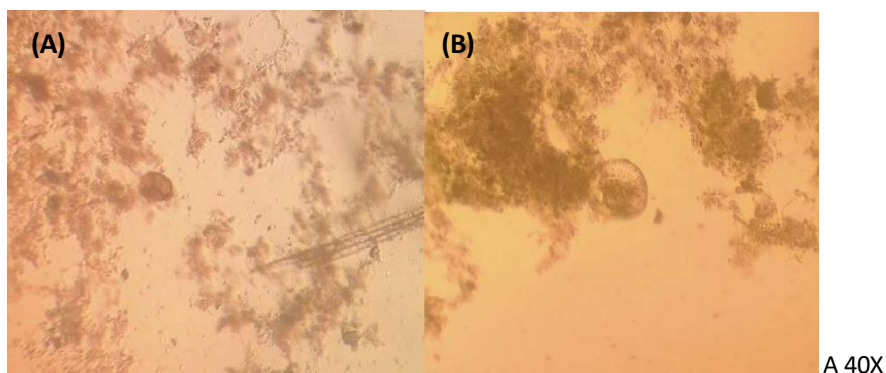


Figura 72. (A) *Arcella* sp Figura 73. (B) *Centropyxis* sp

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Al identificar los organismos presentes en cada muestreo se pudo encontrar una gran variedad de organismos protozoarios, el más abundante fue la *Arcella* sp; la cual indica que la PTAR, en esos días de muestreo tuvo un buen rendimiento en la depuración, una buena oxigenación y estados de nitrificación favorables, también indica que tuvo una baja carga orgánica y un alto tiempos de retención celular.



Figura 34. *Arcella* sp

Una gran variedad de protozoarios encontrados son bioindicadores de que se está llevando a cabo una buena depuración en el tratamiento, como la *Arcella* sp (A), *Pyxidicula* sp (B), *Centropyxis* sp (C), *Epistylis* rotan (D), *Vaginicola* sp (E) y *Aspidisca* cicada (F); lo cual quiere decir que el sistema está trabajando en condiciones estables.

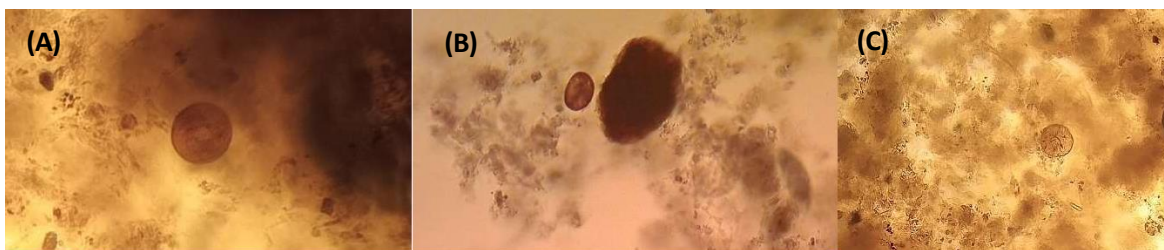


Figura 34. (A) *Arcella* sp Figura 18. (B) *Pyxidicula* sp Figura 31. (C) *Centropyxis* sp

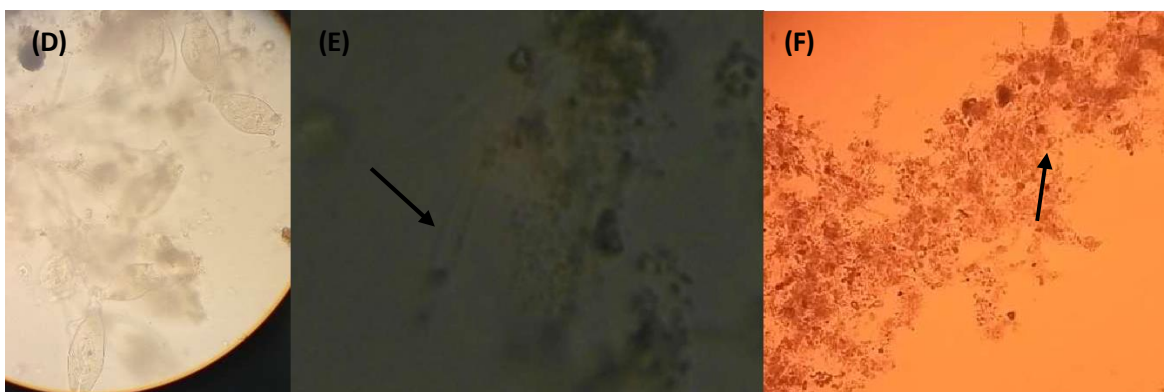


Figura 41. (D) *Epistylis rotan* Figura 37. (E) *Vaginicola* sp Figura 49. (F) *Aspidisca cicada*

Por el contrario, también se encontraron protozoarios que indicaron condiciones no muy favorables en el tratamiento, como es el caso del *Paramecium bursaria* (A), *Bodo saltans* (B) y *Opercularia* spp (C); que indican que no se estaba llevando a cabo una oxigenación correcta en los reactores, debido a esto se puede decir que no se estaba llevando a cabo una operación optima en la PTAR.

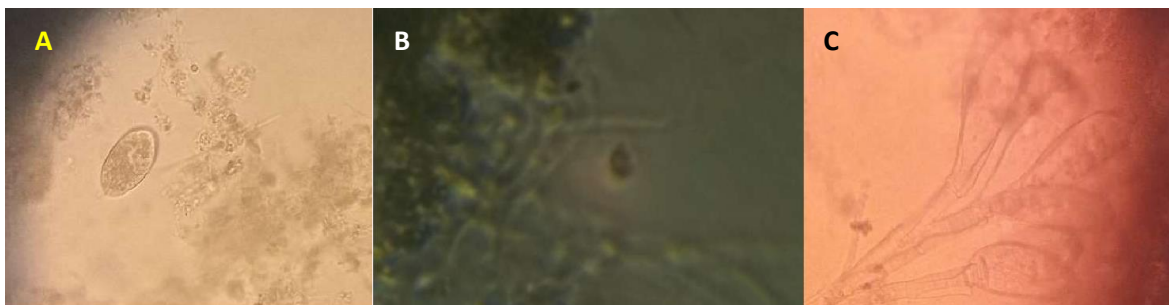


Figura 42. (A) *Paramecium bursaria* Figura 38. (B) *Bodo saltans* Figura 45. (C) *Opercularia* spp

Tabla 4. Parámetros por día de monitoreo de lodos en Planta Piloto del TESCo

Fecha	pH	Redox	Oxígeno	Turbidez
10/09/24	7.50	-90	2.30	2.87
11/09/24	7.27	-96	2.98	2.84
12/09/24	7.36	-25	3.32	2.84
13/09/24	7.38	-5	3.86	2.83
17/09/24	7.53	-147	5.78	2.83

Como se puede observar los parámetros de pH y turbidez fueron estables en los cinco días de monitoreo; la oxigenación también fue estable a excepción del quinto día donde subió a un número importante; el redox cambio considerablemente a partir del tercer y cuarto día, ya que tuvo una baja importante, y finalmente el quinto día subió a una cifra muy alta.

De acuerdo con los días en que se monitorearon, alimentaron y oxigenaron lodos en la planta piloto; para posteriormente observar en el microscopio que bioindicadores se manifestaron, se puede observar que el organismo protozoario más presente fue el *Rotoria* sp, el cual indica elevadas edades de lodos y buena calidad del agua tratada.

En baja presencia, el primero y ultimo días de monitoreo fue cuando se hicieron presentes los bioindicadores de buena oxigenación, *Arcella* sp y *Centropyxis* sp.

Cabe mencionar que en los días de monitoreo se hicieron presentes dos especies diferentes de bioindicadores que no se habían localizado anteriormente, *Euglypha* sp y *Aelosoma variegatum*, que, como la mayoría de los encontrados, indican alta edad en lodos.

CONCLUSIONES

Los días de muestreo en esta PTAR fueron cuatro, de los cuales en tres los protozoarios con mayor presencia fueron la *Arcella* sp y *Centropyxis* sp, que indican un buen rendimiento en la depuración y la oxigenación, lo que significa que estos días se estaba llevando a cabo una operación óptima, y por lo tanto se estuvo obteniendo una buena calidad del agua tratada.

Solo en un día de muestreo se encontraron protozoarios bioindicadores no muy favorables, pero en menos cantidad como *Paramecium bursaria* y *Bodo saltans*; los cuales indican una oxigenación baja en los reactores.

En la última muestra que fue llevada a la planta piloto del TESCo con el fin de poder ser oxigenada, alimentada y monitoreada en el reactor biológico, el organismo con mayor presencia fue *Rotoria* sp, el cual indica elevadas edades de lodos y buena calidad del agua tratada. Resaltando que fueron encontradas e identificadas nuevas especies después de la alimentación y oxigenación de lodos activados en la planta piloto, ya que se así se confirma que los cambios de operación son primordiales en la ausencia o presencia de estas especies y así poder definir si se está llevando a cabo de forma óptima; ya que los organismos de buena oxigenación fueron encontrados con poca abundancia se podría sugerir otra alternativa, como incorporar lodos activados de otra PTAR con un diferente proceso de tratamiento, oxigenarlos y alimentarlos para experimentar si con las características de estos se pudiera llegar al nivel de oxigenación adecuado y por lo tanto una mejor calidad de agua tratada.

Sin embargo, esta PTAR al presentar una cantidad importante de diferentes especies de organismos protozoarios se pueden hacer diversos estudios e investigaciones sobre el tema de bioindicadores, esto también puede ayudar como base e inicio en trabajos con protozoarios, para la identificación y saber sus parámetros como bioindicadores en otras PTAR que manejen un tren de tratamiento similar a la PTAR Tlalnepantla, y así analizar tanto el rendimiento como la operación.

Este proyecto llego al objetivo de identificarlos e investigar cuál es su función como bioindicadores, y se analizó la ausencia y presencia de dichos organismos como problema en el tratamiento biológico, y así poder hacer un análisis si se requiere hacer cambios en la forma de operar esta PTAR para poder alcanzar una mejor calidad de agua tratada.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Al realizar este proyecto de investigación se alcanzaron a desarrollar atributos de egreso que se plantean en la carrera:

- AE2. Analizar, aplicar, proponer y gestionar procesos de diseño de Ingeniería, que resulten en proyectos sustentables que cumplen las necesidades o requerimientos especificados.

Al plantear el problema de el poco interés de los bioindicadores en las PTAR, con este proyecto se investigó que indica cada organismo protozoario en la forma de operación y así se pretende modificar esta forma de operación para lograr una mejor calidad en el agua tratada.

- AE3. Desarrollar y dirigir experimentación pertinente; analizar e interpretar los datos obtenidos y utilizar el juicio ingenieril para establecer planes de acción y realizar diseño de procesos o equipos.

Al analizarse los bioindicadores presentes en cada muestreo, se pudo plantear una alternativa a uno de los problemas más comunes en las PTAR que es la oxigenación baja; monitoreando, oxigenando y alimentando lodos activados en una planta piloto para que después de un cierto tiempo se pudiera analizar si los bioindicadores de buena oxigenación se hacían presentes y se pudiera considerar como una posible solución en trabajos futuros relacionados con este tema.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Arcos, Y. (2013). Microbiología de lodos activados. *Hechos Microbiol.* 4(2): 117-122.
2. Arcos Pulido, M. Ávila de Navia, S. Estupiñán Torres, S. Gómez Prieto, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
3. Bejarano Novoa, M. Escobar Carvajal, M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Proyecto de grado. Universidad de la Salle.
4. Crites, R. (2000). Cap. 2 Constituyentes de las aguas residuales. En Emma Ariza H. (Ed.). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.* (pp.79). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
5. Fernández Galiano, D. (1994). Los protozoos en los procesos de depuración de las aguas dulces. Universidad Complutense de Madrid.
6. García, M. (2017). Caracterización de bacterias filamentosas en lodos activados para el tratamiento de aguas residuales industriales. Tesina de licenciatura. Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable.
7. Gasca Santoyo, D. Vallejo García, A. (2021). Automatización de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Tlalnepantla de Baz. Tesis de ingeniería. Instituto Politécnico Nacional.
8. González, M. E., Rengifo, A., Piñeros-Marín, D. y Buitrago-Ramírez, L. M. (2023). Reconocimiento de algas, protozoos y metazoos como bioindicadores ambientales. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 207-220). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c361>
9. Guillen Aguirre, G. (2002). Diversidad protozoológica de los pantanos de Villa Chorrillos-Lima-Perú. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
10. Hoyos Bastidas, O. Ramírez Pérez, A. (2011). Microorganismos de importancia en el agua. *Hechos Microbiol.* 2(1): 81-83.
11. Ionno, V. Iglesias, G. (2024). Evaluación de la calidad de depuración de líquido residual domiciliario mediante bioindicadores. Universidad de Flores.
12. Isac, L. Rodríguez, E. Salas, M. Fernández, N. (2008). Protozoos en el fango activo. Universidad Complutense de Madrid.
13. Isac, L. Rodríguez, E. Salas, M. Fernández, N. Zornoza, A. (2008). Atlas de protistas y metazoos presentes en el fango activo. Universidad Complutense de Madrid.
14. Londoño-Cañas, Y. Rodríguez, P. Vega, L. Peñuela, G. (2021). Guía bioindicadora para ingenieros. Universidad de Antioquia, Universidad Santo Tomas.

15. Luna Pabello, V. (2006). Atlas de Ciliados y otros Microorganismos frecuentes en Sistemas de Tratamiento Aerobio de Aguas Residuales. Universidad Nacional Autónoma de México.
16. Marín, J. Rincón, N. Díaz-Borrego, L. Morales, E. (2017). Cultivo de protozoarios ciliados de vida libre a partir de muestras de agua del Lago de Maracaibo.
17. Salcedo Vargas, K. Asprilla Grueso, Y. Ríos Osorio, L. (2017). Indicadores de calidad microbiológicos en sistemas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados. *Hechos Microbiol.* 8(1-2):44-55.
18. Sánchez, M. (2024). Identificación de Organismos Protozoarios en un Sistema SBR de la PTAR Tlalnepantla.
19. Torres Sánchez, M. Gutiérrez Jiménez, J. Penagos García, F. (2010) Protozoarios y Rotíferos de vida libre en agua residual del río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *LACANDONIA*. vol. 4, no. (1):23-28.

ANEXOS

Cronograma de actividades:

Actividad	Descripción de la actividad	Mayo-Junio				Julio				Agosto				Septiembre-Octubre			
1	Redacción de las generalidades del proyecto y marco teórico.																
2	Recolección de muestras de lodos activados de los reactores biológicos de la PTAR Tlalnepantla.																
3	Identificación e investigación de organismos protozoarios como bioindicadores.																
4	Redacción del desarrollo del proyecto.																
5	Oxigenación, alimentación y monitoreo de lodos activados en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas del TESCO.																
6	Redacción de resultados, conclusiones y competencias desarrolladas.																