



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**AMIBAS DE VIDA LIBRE EN UN GRADIENTE DE AGUA RESIDUAL  
DOMESTICA A AGUA RESIDUAL TEXTIL.**

**TESIS**

Que para optar por el título de  
**BIÓLOGO**

**PRESENTA**

Silvia Fernanda Pauletti Cruz

**DIRECTOR DE TESIS**

M. en C. Elizabeth Ramírez Flores

Los Reyes Iztacala, Tlanepantla, Estado de México, 2017.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNAM por abrirme sus puertas para llegar a esta Facultad y tener la grata experiencia y la visión general de lo que es la Biología, además de dejarme conocer a buenos amigos.

A cada uno de los profesores que dejaron enseñanzas y ayudaron en mi formación profesional y tanto personal.

Al proyecto CyMA por dejarme colaborar en éste proyecto con tan solo un granito de arena, además de convivir con muy buenas personas como Sonia, Dany, Bernabé, Uriel, Juan Pablo, Luz y Gaby, las cuales hacían más amena las horas en el laboratorio.

A cada uno de los sinodales: Dra. Paty Bonilla, Esperanza Robles, Dr. Víctor Manuel Rivera, Lolita Hernández, por cada una de sus valiosas observaciones y sugerencias para la mejora del proyecto. Pero principalmente a la Profesora Eli que desde un principio me dio la oportunidad de unirme a su investigación, atendiendo mis dudas, y sobre todo el apoyo durante este tiempo, que vaya que fue bastante.

## DEDICATORIA

A quien más podría tanto agradecer como dedicar este logro, sino a mi familia... la que siempre ha estado, en las buenas, en las malas y en las peores, especialmente a mi mamá que en todo momento he tenido su apoyo incondicional, a mis hermanos, hay que reconocer el esfuerzo que cada uno ha hecho, no tengo palabras para agradecerles, todo esto es por ustedes y para ustedes, LOS QUIERO. A mi papá solo puedo decirle que lo poco o mucho fue bien recibido y me ayudo de alguna forma.

Ojos, recuerdo cuando te platique de que iba a estudiar Biología, tu respuesta no fue la mejor porque no sabías ni que era eso, pero te diste cuenta que eran cosas que a ti también te gustaban, y terminaste por convencerte y decir que bonita es tu carrera. Aunque ya no estés aquí me gustaría decirte ¡¡que por fin lo logre!! y agradezco todo aquello que nos diste, además de dejarme esta bonita familia.

A mis tíos, tías, primos y primas, que me brindaron su apoyo en todos los sentidos posibles, cada uno sabe lo que ha aportado en mí. Sin dejar atrás a aquellos que no son de la familia pero son como si lo fueran, ellos atenderán.

A Dios por la oportunidad de darme esta vida, que no tengo duda que sus tiempos son perfectos.

## ÍNDICE

I.	RESUMEN.....	1
II.	INTRODUCCIÓN.....	2
III.	MARCO TEÓRICO.....	4
	A. Usos del agua en México.....	4
	B. Industria textil.....	4
	C. Tratamiento de agua residual.....	7
	D. Tratamientos de agua residual de la industria textil.....	8
	E. Lodos activados.....	9
	F. Generalidades de Amibas de Vida Libre (AVL).....	11
IV.	ANTECEDENTES.....	13
V.	JUSTIFICACIÓN.....	16
VI.	OBJETIVOS.....	17
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
	A. Riqueza específica.....	20
	B. Frecuencia.....	21
	C. Distribución del número de especies en las mezclas de ARD-ART.....	24
	D. Parámetros fisicoquímicos.....	29
	I. Potencial Hidrógeno (pH).....	29
	II. Temperatura.....	30
	III. Oxígeno disuelto.....	31
IX.	CONCLUSIONES.....	32
X.	LITERATURA CITADA.....	33

## I. RESUMEN

El sistema de lodos activados es un tratamiento de agua del tipo biológico, que se basa en la actividad de los microorganismos para la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, entre ellos se encuentran las Amibas de Vida Libre (AVL). Estos protozoos se alimentan de bacterias y ayudan a eliminarlas del agua residual. La ecología de estos protozoos ha sido poco estudiada. Por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en la presencia de amibas de vida libre bajo un gradiente de agua residual doméstica a agua residual textil en un biorreactor de lodos activados. Se realizaron 11 muestreos, las muestras se colectaron en envases previamente esterilizados, se sembraron en el medio de cultivo agar no nutritivo con *Enterobacter aerogenes* (NNE) y se incubaron a 30° C, revisándose a partir del tercer día. Se identificaron 19 especies de Amibas de Vida Libre pertenecientes a 11 géneros. El mayor número de especies se encontró en 100% de agua residual doméstica (ARD) y fue disminuyendo a medida que se incrementó el agua residual textil (ART). De acuerdo a su frecuencia relativa y a la distribución del número de especies en las mezclas de ARD-ART, las amibas se agruparon en 5 conjuntos, siendo *Vannella platypodía*, *Polychaos timidum* y *Rosculus ithacus* las especies con mayor frecuencia y distribución, por lo que se puede decir que fueron las que mejor se aclimataron al agua residual textil. Los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura y oxígeno disuelto estuvieron en los intervalos reportados para su presencia, pero no se encontró relación entre los parámetros fisicoquímicos y las Amibas de Vida Libre.

## II. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos más abundantes de la Tierra, en nuestro planeta se estima que existen unos mil 400 millones de  $\text{km}^3$  de agua, de los cuales el 97.5% es agua salada contenida en los mares y océanos y sólo 2.5% corresponde a la llamada agua dulce, de la cual tan solo el 0.3% se localiza en lugares accesibles como los lagos y ríos, mientras la proporción restante se encuentra en glaciares, capas de hielo, depósitos subterráneos profundos de difícil acceso (SEMARNAT, 2016).

México se ubica entre los países que se considera con escasez hídrica y el agua es extraída primordialmente de los cuerpos de aguas superficiales y de los acuíferos, donde se obtiene aproximadamente un volumen total de  $186 \text{ km}^3$  anuales, y que son empleados de diversas formas para todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir bienes y servicios (CONAGUA, 2014).

CONAGUA (2014) reporta que el agua extraída en México está destinada principalmente para las actividades agrícolas, con el 76% y que es utilizada para el riego de 6.3 millones de hectáreas, seguida por el uso público urbano con 14% y el uso industrial con un 10%; en conjunto todas estas actividades generan una gran cantidad de agua residual, misma que es generalmente vertida a los cauces y cuerpos naturales de agua.

La contaminación del agua es un serio problema tanto de aspecto ambiental como de salud pública, por lo que es necesario realizar acciones para la prevención y cuidado del agua; una de estas medidas es el tratamiento de aguas residuales que es un proceso que incorpora técnicas físicas, químicas y biológicas con las cuales remueven contaminantes del agua (CONAGUA, 2007).

La mayor parte de agua procesada recibe tratamiento del tipo secundario-biológico mediante el sistema de lodos activados (Martínez, 2014), el cual emplea

microorganismos para remover algunos contaminantes del agua, principalmente materia orgánica (Torrescano, 2009).

Los procesos biológicos aerobios para la degradación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por consorcios de microorganismos. Estos consorcios forman flóculos llamados lodos activados los cuales utilizan a los compuestos orgánicos presentes en el agua residual como fuente de energía. Los lodos activados están constituidos por poblaciones de bacterias, hongos y protozoos (González, 2012).

La presencia y distribución de determinadas especies de protozoos en el agua residual permite establecer las condiciones en las que ésta se encuentra y de manera recíproca conocer las características en que estas especies son capaces de sobrevivir y de participar en el proceso de depuración (Atlas y Bartha, 2002). Lo cual convierte a los protozoos en indicadores del funcionamiento y la eficiencia de los sistemas de tratamiento biológico (Cruz, 2005).

Las Amibas de Vida Libre (AVL) son protozoos que se encuentran distribuidas ampliamente debido a que pueden soportar variaciones ambientales (Visvesvara, 2014), por medio de dos estrategias: enquistarse o producir numerosos individuos pequeños (Rodríguez-Zaragoza, 1994).

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. *Usos del agua en México*

El agua es empleada de diversas formas prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios. La FAO (2011) ubica a México en el octavo lugar dentro de los países con mayor extracción de agua con 80.6 km<sup>3</sup>/ año.

El Registro Público de Derechos de Agua (REPD), agrupa en cuatro grandes grupos los usos constitutivos, es decir aquellos que extraen el recurso de su ubicación natural, lo utilizan para sus fines, y luego lo vierten en un sitio diferente, reducido en cantidad y calidad distinta a la original.

**Agrícola**, se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos.

**Abastecimiento público**, incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes.

**Industria autoabastecida**, en este rubro se incluye la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país.

**Generación de energía eléctrica**, excluyendo hidroelectricidad (CONAGUA, 2014).

#### B. *Industria textil*

Dado que el sector textil representa en nuestro país uno de los sectores de mayor importancia económica ya que constituye una fuente importante de ingresos y empleo para muchos países (López y Guerrero, 1993). Se agrupa en dos categorías de acuerdo a las fibras que procesan (Villegas, 2009):

### **Fibras naturales**

Fibras vegetales o celulósicas: algodón, yute y lino.

Fibras proteicas: lana y seda natural.

### **Fibras artificiales**

Fibras celulósicas: viscosa y acetato.

Fibras no celulósicas: poliéster, acrílico, poliamida (nylon) y elastómero (lycra).

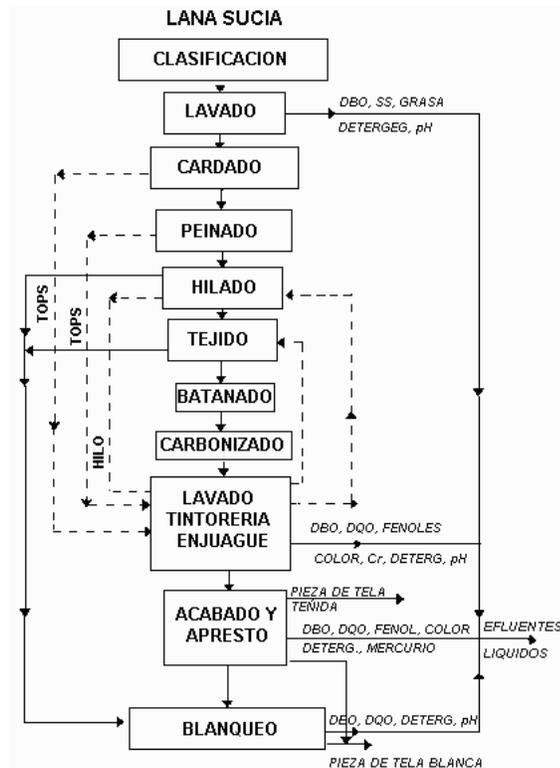
Se considera que la industria textil es de las actividades productivas que más agua consume, reportándose aportaciones de agua residual de 64.196 m<sup>3</sup>/día, lo cual hace que esta industria ocupe el lugar número 11 de las industrias del país que mayor cantidad de agua residual produce (SEMARNAT, 2012), este consumo depende de los procesos y métodos de producción, del tipo y forma de los textiles (Tabla 1), así como de la maquinaria y equipo empleado (Villegas, 2009).

**Tabla 1. Consumo de agua por tipo de textil.**

<b>Textiles</b>	<b>Consumo (m<sup>3</sup>/ton de material)</b>
Telas de algodón	80-240
Tejidos de algodón	70-180
Telas de lana	100-250
Telas de poliacrilato	10-70

Existen varios procesos en la producción de telas, que van en función al tipo de fibra, para el caso de la lana el proceso descrito por Rondinel en 1990 (Figura 1) consta de las siguientes etapas:

- Lavado de la fibra cruda
- Cardado peinado
- Peinado
- Hilado
- Teñido de hilado
- Tejido
- Batanado
- Blanqueo
- Teñido
- Carbonizado
- Acabado



**Figura 1. Esquema del proceso de producción de la industria lanera.**

El sector textil lanero es una cadena productiva compleja sin embargo para este estudio se hace énfasis en solo dos procesos: teñido y acabado, ya que los efluentes se generan durante estos procesos. En estas etapas se agregan una serie de insumos químicos, tales como tintes, detergentes, agentes estabilizantes, agentes humectantes, dispersantes y penetrantes, sales inorgánicas como soda cáustica, sal textil, peróxido de hidrógeno, ácido acético, entre otros más, los cuales son, en su mayor parte, lavados y retirados con el efluente. Por lo tanto las sustancias que predominan en el agua residual de la industria textil son: metales derivados de los colorantes, surfactantes no biodegradables, detergentes, emulsificantes y dispersantes, agentes decolorantes de tintes como, fenoles solventes aromáticos, ácidos oxálico, ácidos, bases entre otros de los cuales en su mayoría son considerados como agentes peligrosos (Villegas, 2009; Campos,

2015; Ibarra, 2015). Consecuentemente pueden ser perjudiciales para la salud y al medioambiente debido a que superan los valores límites de descarga permisibles por la NOM-001-ECOL-1996; por lo que si ciertos requerimientos no son cumplidos, el agua residual debe ser tratada (Flores, 2004; Villegas 2009).

### ***C. Tratamiento de agua residual***

La selección adecuada de un proceso de tratamiento de aguas residuales debe tomar en cuenta las metodologías, las diferentes variables involucradas, así como los procesos existentes y sus aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales (Ibarra, 2015).

Los contaminantes del agua pueden ser eliminados por distintos tipos de operaciones:

**Físicas**, involucran la interacción de fuerzas físicas como la gravedad, las diferencias de cargas y concentración.

**Biológicas**, interviene la actividad de microorganismos para la remoción o transformación de contaminantes.

**Químicas**, adición de reactivos químicos o realización de reacciones químicas.

En general, la mayor parte de las plantas de tratamiento hacen combinación de las tres operaciones antes mencionadas. El tratamiento de agua residual es generalmente clasificado en tres niveles: primario, secundario y terciario; cada nivel de tratamiento elimina contaminantes específicos (CONAGUA, 2007).

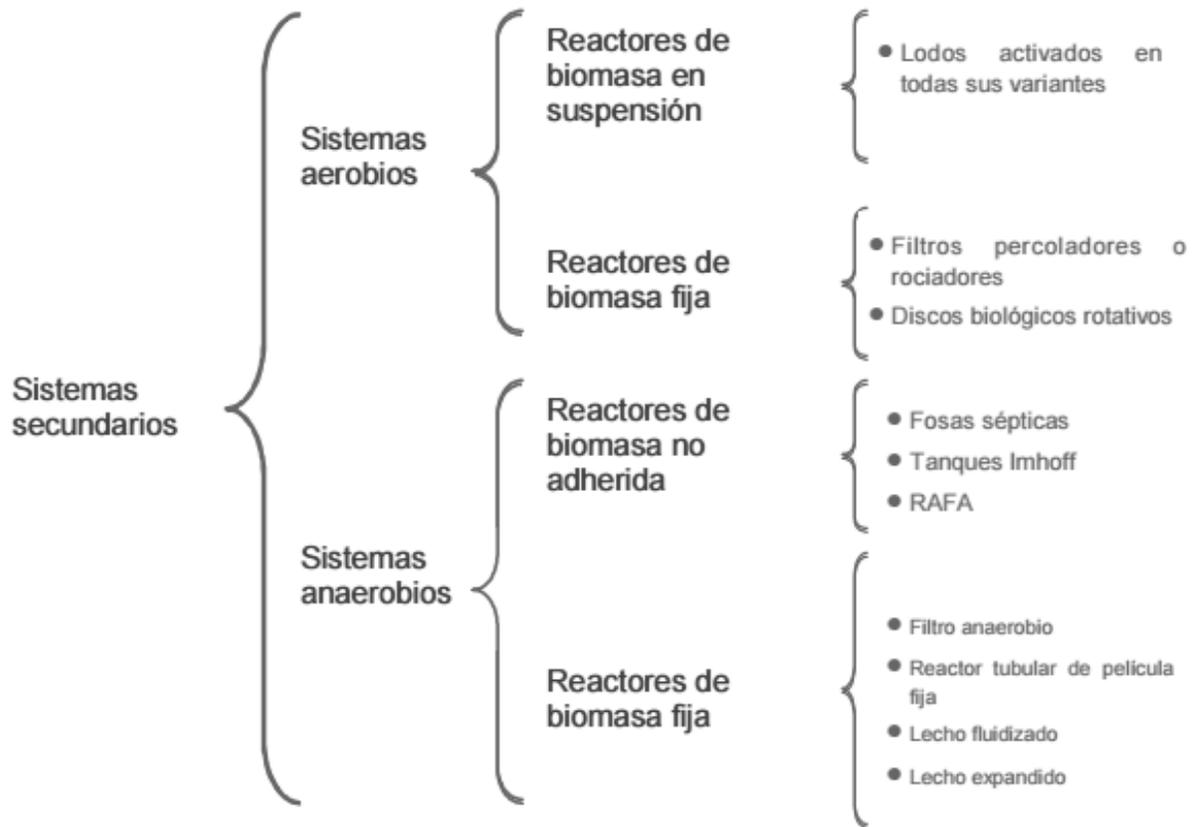
No existe un sistema de tratamiento específico, en muchos casos se combinan diferentes procesos acorde a los contaminantes que se quieren eliminar, lo que establece propiedades abióticas-bióticas específicas para cada sistema de tratamiento (Ramalho, 1996).

#### ***D. Tratamientos de agua residual de la industria textil***

El tratamiento del agua residual textil comprende el tratamiento preliminar y primario que utiliza métodos de igualación, neutralización, destoxificación, filtración y evaporación. El tratamiento secundario implica métodos de aireación, reducción y oxidación química. Los métodos biológicos se basan en la acción de los microorganismos; se pueden incluir a los filtros percoladores, lodos activados y aireación extendida. El tratamiento terciario comprende procesos más complejos y por consiguiente más costosos como la adsorción con carbón activado, intercambio iónico (para remover sales, nitratos y fosfatos), ultrafiltración y osmosis inversa (Villegas, 2009).

El tratamiento secundario tiene como objetivo eliminar la materia orgánica disuelta. Para ello se emplean microorganismos con el fin de degradar la materia orgánica y transformarla en sustancias más sencillas, tales como bióxido de carbono, ( $\text{CO}_2$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Los reactores biológicos se clasifican de acuerdo a la vía metabólica de los microorganismos (aerobia o anaerobia) y en base a la forma en que la población microbiana se encuentra dentro del reactor (Figura 2). Se conoce como biomasa suspendida a aquellos reactores que no utilizan un medio de soporte y los microorganismos forman agregados conocidos como flóculos. Cuando el reactor cuenta con un medio, ya sea natural o sintético, que sirve de soporte para que se desarrolle la comunidad microbiana en forma de película, se dice que es un reactor de biomasa fija (Calderón, 2005).



**Figura 2. Clasificación de los sistemas de tratamiento secundarios.**

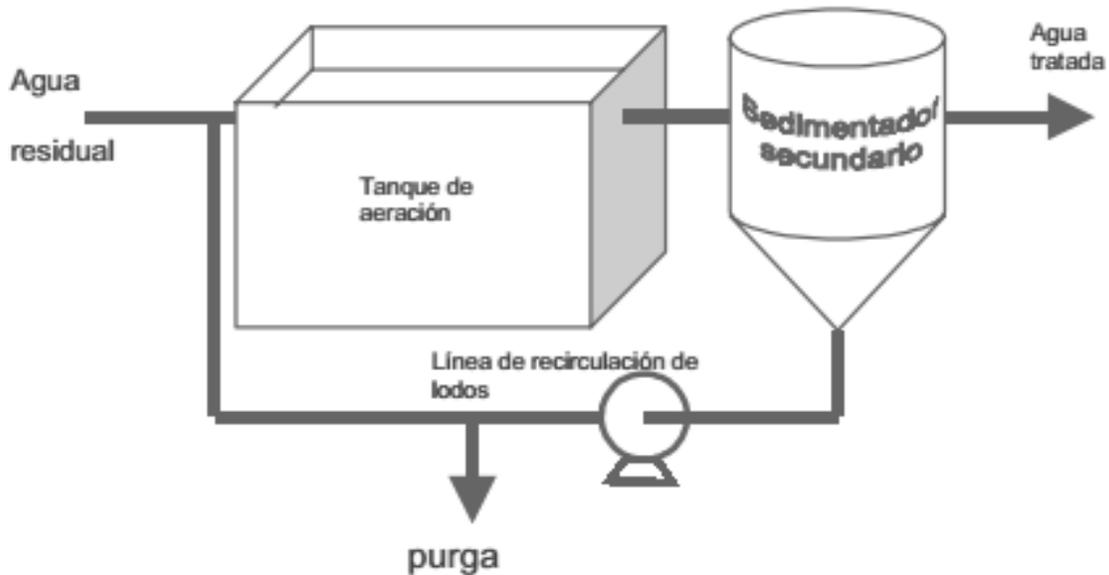
### ***E. Lodos activados***

El sistema de lodos activados es el proceso biológico más utilizado para el tratamiento de aguas residuales, domésticas e industriales (Cruz, 2005), debido a que son intensivos y muy eficientes, comparados con la mayoría de los procesos fisicoquímicos empleados para la descontaminación (SEMARNAT, 2016), se lleva a cabo fundamentalmente bajo dos principios:

**Oxidación**, conversión de materia orgánica en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4$  y nueva masa molecular realizada por medio de los microorganismos aerobios en el tanque de aireación.

**Floculación**, separación del agua depurada en el sedimentador secundario de la biomasa recientemente constituida en estructuras conocidas como flóculos (Bitton, 2005; Ibarra, 2015, Campos, 2015).

Los lodos activados son agregados de partículas y cultivos de microorganismos aerobios los cuales forman estructuras denominadas flóculos (González, 2012). El oxígeno se suministra por medio de aireadores mecánicos o difusores en un tanque de aireación (CONAGUA 2007) en donde se favorece contacto íntimo entre el agua residual y los lodos activados (Martínez, 2014). Después de un tiempo el agua pasa a un tanque de sedimentación donde se precipitan y separan los flóculos del agua, parte de los lodos son retornados al tanque de aeración con el fin de mantener constante la concentración de sustrato y de comunidades microbianas, mientras que los dos restantes son retirados como desecho (Torrescano, 2009; Ibarra, 2015; Ramírez, 2016) (Figura 3).



**Figura 3. Sistema de tratamiento de lodos activados.**

El éxito del proceso con un sistema de lodos activados es el desarrollo de un sistema heterotrófico, es decir organismos que requieren materia orgánica como única fuente de carbono para su metabolismo, por ello la importancia de poseer una población heterogénea muy variada, que incluya bacterias, protozoos, hongos, algas, rotíferos, nematodos y pequeños invertebrados inferiores

(González, 2012; Vilaseca, 2001) y de acuerdo a las condiciones que prevalezcan en el sistema, favorecerá la presencia de unas u otras especies (Cruz, 2005).

### **F. Generalidades de Amibas de vida libre (AVL)**

Las amibas de vida libre es un grupo de protozoos llamados Sarcodinos conocidos comúnmente como amibas, su característica principal es la presencia de pseudópodos, que pueden ser de varios tipos: los lobópodos suelen ser tubulares y están formados por endoplasma y ectoplasma a la vez, los filópodos que pueden ser ramificados, las puntas tienden a ser aguzadas y están formados exclusivamente por ectoplasma, estas proyecciones tienen la funciones locomotoras y alimenticia (Fenchel, 1987).

Se consideran organismos heterótrofos, que poseen la capacidad de alimentarse tanto de forma osmótrofa, consumiendo materia orgánica disuelta, como por medio de alimentación holozóica por fagocitosis, ya que ingieren materia particulada, bacterias entre otros organismos (Bitton, 2005; Ibarra, 2015)

Dentro del grupo de los sarcodinos se encuentran las llamadas amibas anfitriónicas, las cuales, se denominan de esta forma porque pueden vivir como organismos exozóicos de vida libre y como organismos endozóicos que es la forma parasitaria para el ser humano y algunos animales (Page, 1988). Pueden causar principalmente infecciones del cerebro, ojo y piel. Los géneros amibianos que están involucrados en las infecciones cerebrales son *Naegleria*, *Acanthamoeba*, *Balamuthia* y *Sappinia*, causando Meningoencefalitis Amibiana Primaria (MAP) y Encefalitis Amibiana Granulomatosa (EAG). *Acanthamoeba* además causa queratitis amibiana en el ojo y junto con *Balamuthia* pueden causar lesiones en la piel (Visvesvara, 2014).

Las AVL presentan en general una amplia distribución, es decir, habitan cualquier tipo de ambiente, especialmente lugares húmedos como el suelo y el agua, aunque también se pueden encontrar en el aire el cual utilizan como vehículo para su dispersión (Bonilla *et al.*, 2004).

En el agua, las amibas desempeñan un papel fundamental en el flujo energético y en el reciclado de los nutrimentos. Los cuerpos de agua son un enlace fundamental entre desintegradores y niveles tróficos superiores, convirtiendo las AVL en un eslabón importante en el circuito microbiano acuático (Fenchel, 1987).

Las condiciones básicas que necesitan las amibas para sobrevivir en cualquier ambiente son alimento, oxígeno, agua y una temperatura adecuada. Estos factores tienen una marcada influencia en la estructura de las comunidades de amibas en ambientes acuáticos. Sin embargo son más frecuentes en temperaturas por arriba de los 25°C, niveles óptimos de oxígeno, pH cercano a la neutralidad, presencia de bacterias y materia orgánica. Su distribución se relaciona a las condiciones y gradientes ambientales, pero factores particulares causan una selección y agregación de estos organismos (Bonilla *et al.*, 2004).

Un mecanismo de protección que presentan estos individuos para protegerse de los cambios ambientales es la formación de quistes; de esta manera pueden sobrevivir a la ausencia de humedad, cambios de temperaturas, presión, pH, falta de oxígeno, escasez de alimento, o algún otro factor adverso (Visvesvara, 2014; Schuster y Visvesvara, 2004).

#### IV. ANTECEDENTES

Se han realizado algunos estudios de las AVL en sistemas de tratamiento del agua residual doméstica, pero en agua residual industrial y específicamente en los de la industria textil son escasos.

Campos (2015) determinó la riqueza específica de AVL y la distribución-temporal en un sistema de lodos activados que recibe el agua residual de una industria textil con producción de telas de lana, en este estudio se realizaron 12 muestreos y se identificaron 20 especies de las cuales *Vermamoeba vermiformis*, *Vahlkampfia inornata*, *Acanthamoeba polyphaga*, *Guttulinopsis vulgaris* y *Platymoeba stenopodia* aparecieron con alta frecuencia. Sin embargo todas las especies no presentaron un patrón de distribución temporal pero se encontraron dentro de los intervalos reportados para los parámetros fisicoquímicos.

Ibarra (2015) realizó un estudio para evaluar el efecto de los parámetros fisicoquímicos en todas las etapas del sistema de tratamiento de agua de una industria textil sobre la presencia de las especies de gimnamebas, hallando diversos efectos en cada una de las 23 especies reportadas, de lo anterior se infiere que las AVL tienen diferentes grados de resistencia a las variaciones de ciertos compuestos presentes en las aguas residuales textil.

Ramírez *et al.* (2014), determinaron la presencia y distribución de amibas de vida libre en un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, muestrearon entrada, tanque de aireación, tanque de sedimentación y salida del sistema. Encontraron AVL en todos estos sitios muestreados. El mayor número de aislamientos se obtuvo en el tanque de aireación, siendo *Acanthamoeba* y *Vermamoeba* los más frecuentes de los 14 géneros identificados. Las amibas se detectaron en temperaturas medias de 27-33°C, oxígeno disuelto en concentraciones promedio a los 2 mg/L y pH entre 5.9 – 7.1.

Choncohua (2014) evaluó la distribución temporal y espacial de las amibas de vida libre en una planta de tratamiento de lodos activados de agua ARD, durante el periodo de febrero a noviembre realizó cada mes un muestreo en la entrada,

reactor biológico, decantador, filtros y la salida del sistema, teniendo un mayor número de aislamientos en el reactor biológico e identificó un total de 24 especies de amibas, de las cuales *Vermamoeba vermiformis*, *Acanthamoeba polyphaga*, *Naegleria sp.*, *Vahlkampfia avara* y *Vannella sp.* fueron las más frecuentes sin embargo, la distribución temporal fue variable y no tuvo diferencias significativas entre la asociación de AVL y los parámetros fisicoquímicos.

González (2012) describió la dinámica de poblaciones de los lodos activados de un reactor de dos litros con funcionalidad discontinua secuencial (SBR) durante un periodo de aclimatación de una mezcla a proporciones iguales de compuestos fenólicos (fenol, 4-clorofenol, 2,4, diclorofenol y 2,4,5-triclorofenol). El periodo de aclimatación se caracterizó por presentar una disminución en las poblaciones de bacterias, hongos, algas, nematodos, protozoarios y rotíferos, además de cambios morfológicos y una disminución del consorcio de microorganismos que forman al flóculo; sin embargo la mezcla de clorofenoles fue degradada con porcentajes de eliminación superiores al 75%.

Villegas (2009) efectuó pruebas de toxicidad mediante ensayos biológicos aplicados a los efluentes de las plantas textiles que demostraron distintos grados de toxicidad acuática. En la mayoría de los residuos tratados mostraron un bajo nivel de toxicidad, mientras que otros demostraron una alta toxicidad acuática incluso en concentraciones relativamente bajas, debido a la presencia de sustancias como metales derivados de los colorantes, surfactantes no biodegradables, detergentes, emulsificantes y dispersantes, provenientes del proceso húmedo, agentes decolorantes de tintes como, fenoles, solventes aromáticos, ácido oxálico, ácidos, bases, entre algunos otros. Los contaminantes orgánicos pueden ser tratados usando reactores con sistemas biológicos aerobios/anaerobios que generalmente muestran mejor remoción.

Toledo (2007) realizó una investigación en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria que procesa ARD con el fin de determinar la presencia y distribución de las amibas de vida libre y los ciliados, además de su relación con parámetros fisicoquímicos como potencial de Hidrógeno, oxígeno disuelto, temperatura,

demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, y sólidos suspendidos totales. Aquí encontró 59 especies de protozoos de los cuales 31 eran amibas y *Vannella platypodia* fue la que se presentó con mayor frecuencia.

## V. JUSTIFICACIÓN

La industria textil representa en nuestro país uno de los sectores de mayor importancia económica que conlleva a la utilización de grandes volúmenes de agua durante el proceso de producción, misma que termina convirtiéndose en agua residual con una gran variedad de productos químicos, que en su mayoría son perjudiciales tanto para la salud como para el ambiente. Por lo tanto existe la necesidad de contar con medidas alternas para solucionar los efectos de estas descargas. Es por ello que actualmente el agua residual tratada ha adquirido gran importancia en las industrias debido a que resuelve parcialmente la problemática que existe con respecto a la escasez y suministro de agua, así mismo reduciendo el consumo, la contaminación y desperdicio del agua utilizada por las empresas.

Los lodos activados es el tratamiento más utilizado para tratar al agua residual industrial, en la mayoría de los casos, los estudios se han enfocado en la presencia de comunidades bacterianas ya que son la base del funcionamiento de este tipo de procesos, no obstante las amibas también juegan un papel fundamental porque son consumidoras voraces de bacterias. Sin embargo los estudios que se han realizado sobre las AVL en sistemas de tratamiento de agua residual doméstica son pocos y escasos en agua residual textil.

Por tanto es necesario conocer la participación de AVL para este tipo de tratamiento en el agua residual textil, así como los factores que influyen en su presencia.

## **VI. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

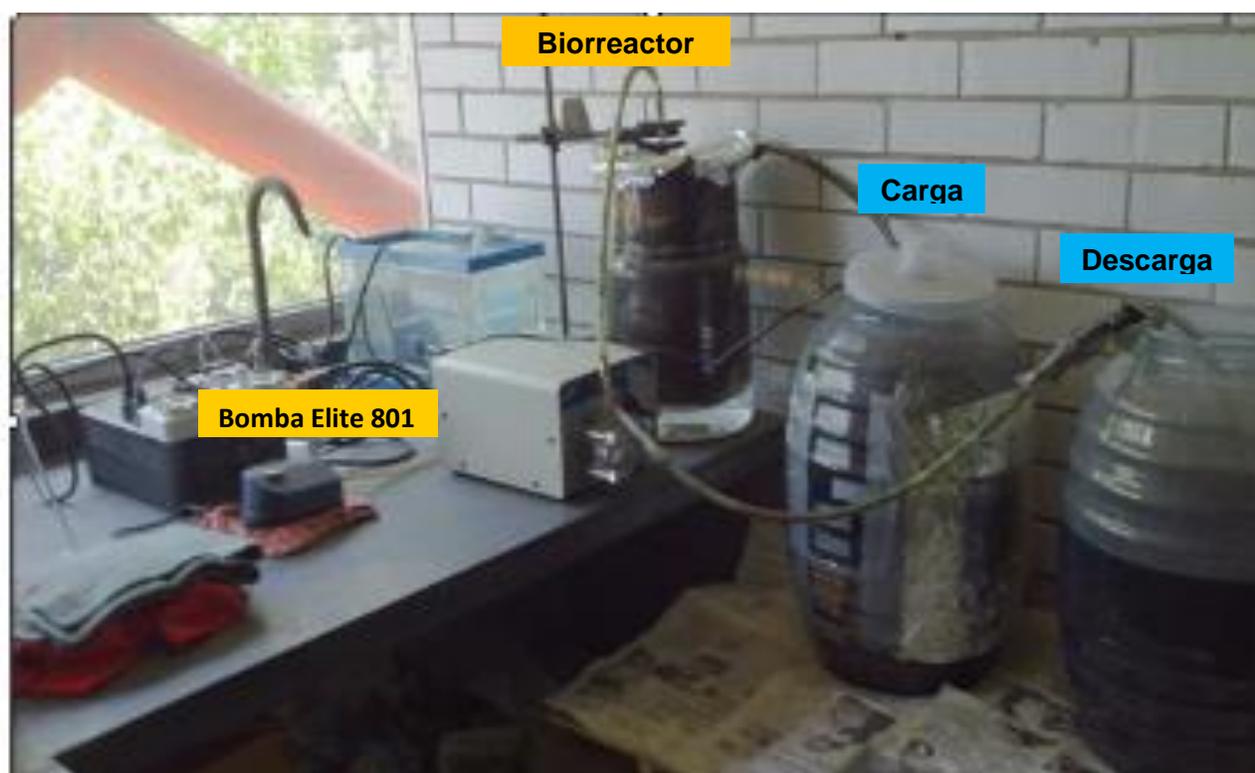
- Determinar la presencia de Amibas de Vida Libre en gradiente de agua residual doméstica a agua residual textil.

### **Objetivos particulares**

- Determinar la riqueza específica de las Amibas de Vida Libre.
- Relacionar la presencia de las Amibas de Vida Libre con los parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura y oxígeno disuelto.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un biorreactor con capacidad de 3 litros, sitio donde se encontraban los lodos activados y se realizó la degradación de materia orgánica. La aireación se administró a partir de una bomba ELITE801 con 3.0 de Psi (presión por pulgada cuadrada) y se distribuyó al biorreactor por medio de difusores de burbuja fina (Figura 4).



**Figura 4. Biorreactor donde se realizaron las mezclas de agua residual doméstica-textil (Tomado de Ramírez, 2016).**

En primera instancia el biorreactor se alimentó con ARD con lodos de origen doméstico en diferentes ciclos de tratamiento; posteriormente se adicionó ART en porcentajes que fueron incrementándose a través del tiempo (Tabla 2).

**Tabla 2. Mezclas de agua residual doméstica y agua residual textil realizadas durante el período de estudio.**

Muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tiempo de ciclo (horas)	6	4	4	4	4	6	6	12	12	12	12
Agua residual Doméstica (ARD)	100%	100%	90%	90%	90%	80%	60%	60%	60%	40%	30%
ART - Teñido	-	-	5%	5%	5%	10%	20%	20%	20%	10%	5%
ART - Acabado	-	-	5%	5%	5%	10%	20%	20%	20%	50%	65%

Las muestras de lodos activados se tomaron desde la estabilización del biorreactor es decir, cuando solo contenía ARD y en cada adición de ART en sus diferentes porcentajes.

Las muestras se colectaron en envases de 50 mL previamente esterilizados, se concentraron por centrifugación a 3000 rpm por 15 minutos y el sedimento se inoculó directamente en cajas petri con Agar no nutritivo con *Enterobacter aerogenes* (NNE), este procedimiento se realizó por triplicado para asegurar la detección de todas las amibas presentes en la muestra. Las cajas se incubaron a 30 °C.

Las cajas se revisaron a partir del tercer día para detectar el crecimiento de las amibas y su identificación se realizó morfológicamente, tomando en cuenta las características de la fase vegetativa o trofozoito y de la fase quística, para ello se hicieron preparaciones en fresco, agregando unas gotas de agua destilada estéril y raspando la zona de crecimiento, estas preparaciones se observaron en un microscopio de contraste de fases a 40x. Para la identificación se usó la clave taxonómica de Page (1988).

En cada muestreo se midieron *in situ* los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH con un potenciómetro HANNA Instruments HI 8314, temperatura y oxígeno disuelto con un oxímetro YSI. Mod. 51-b.

Se realizó un análisis de correlación, con el fin de determinar la relación de las AVL con los parámetros (Durán *et al.* 2005).

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Riqueza específica

Se identificaron 19 especies de AVL pertenecientes a 11 géneros (Tabla 3), que en su mayoría ya ha sido reportada en diferentes sistemas de tratamiento (Gudiño, 2003; Chiquillo, 2004; Ramírez *et al.*, 2005; Toledo, 2007) así como en sistemas de lodos activados tanto de origen doméstico (Choncohua, 2014) como de origen industrial (Campos, 2015; Ibarra 2015; Martínez, 2014).

**Tabla 3. Riqueza específica encontrada durante todo el estudio.**

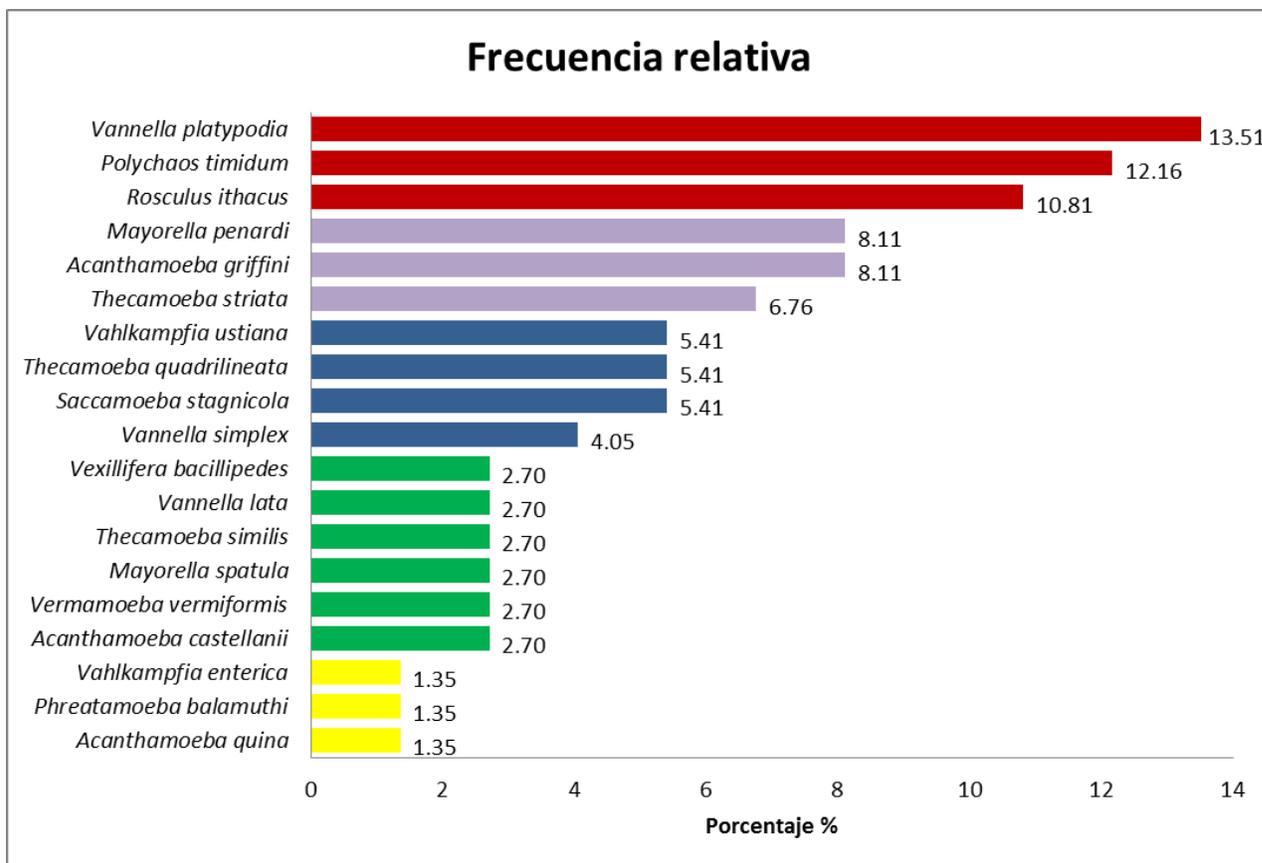
Género	Especie
<i>Acanthamoeba</i>	<i>castellanii</i> (Douglas, 1930)
	<i>quina</i> (Pussard & Pons, 1977)
	<i>griffini</i> (Sawyer, 1971)
<i>Mayorella</i>	<i>penardi</i> (Page, 1972)
	<i>spatula</i> (Bovee, 1970)
<i>Phreatamoeba</i>	<i>balamuthi</i> (Chávez, Balamuth & Gong, 1986)
<i>Polychaos</i>	<i>timidum</i> (Bovee, 1972)
<i>Rosculus</i>	<i>ithacus</i> (Hawes, 1963)
<i>Saccamoeba</i>	<i>stagnicola</i> (Page, 1974)
<i>Thecamoeba</i>	<i>quadrilineata</i> (Carter, 1856)
	<i>similis</i> (Greeff, 1891)
	<i>striata</i> (Penard, 1890)
<i>Vahlkampfia</i>	<i>ustiana</i> (Page, 1974)
	<i>enterica</i> (Page, 1974)
<i>Vannella</i>	<i>lata</i> (Page, 1988)
	<i>simplex</i> (Wohlfarth – Botermann, 1960)
	<i>platypodia</i> (Glaser, 1912)

<i>Vermamoeba</i>	<i>vermiformis</i> (Page, 1967)
<i>Vexillifera</i>	<i>bacillipedes</i> (Page, 1969)

## **B. Frecuencia**

La frecuencia relativa de cada una de las especies se muestra en la Figura 5, donde *Vannella platypodia* se presentó con la mayor frecuencia (13.51%), seguida de *Polychaos timidum* (12.16%) y de *Rosculus ithacus* (10.81%). Cada una de estas especies presentó alguna de las estrategias, como producir numerosos individuos pequeños con el fin adaptarse al aumento de concentración de agua residual textil (Rodríguez-Zaragoza, 1994).

*Vannella platypodia* no tiene la capacidad de formar quistes (Page, 1988), por lo que se puede pensar que la respuesta a los cambios ambientales la afrontan mediante la estrategia de producir numerosos organismos pequeños ( $\bar{x}$  22  $\mu\text{m}$ ) (Figura 6a) (Rodríguez-Zaragoza, 1994) y presentar una forma pelágica que les permite permanecer “flotando” en un medio líquido (Figura 6b) (Page, 1988). La presencia de *Vannella platypodia* es común en agua residual doméstica (Rivera *et al.*, 1995; Choncohua, 2014) y recientemente se reportó en agua residual textil (Ramírez *et al.*, 2014; Campos, 2015; Ibarra, 2015).



**Figura 5. Frecuencia relativa de las especies encontradas en el biorreactor.**

La frecuente presencia de *Polychaos timidum* es de llamar la atención, porque aunque es la especie más pequeña de su género, es una amiba grande comparada con las amibas que comúnmente se presentan en el agua residual y no presenta quiste. Se había reportado en cuerpos de agua natural (Bonilla *et al.*, 2014), pero es la primera vez que se reporta en agua residual. Presenta 2 formas morfológicas la multipodial (45-60  $\mu\text{m}$  de largo por 35-50  $\mu\text{m}$  de ancho) (Figura 6c) y la monopodial (80-100  $\mu\text{m}$  de largo) (Figura 6d), siendo esta forma la de mayor movilidad. Tal vez esta característica es la que favoreció su presencia en las mezclas de agua residual doméstica-textil; además que se reporta como un voraz consumidor de bacterias.

La alta frecuencia de *Rosculus ithacus* en las mezclas de ARD-ART, se puede explicar porque presenta las dos principales estrategias para afrontar ambientes hostiles, producir numerosos organismos pequeños (12  $\mu\text{m}$ ) (Figura 6e) y puede formar quistes (4.8  $\mu\text{m}$ ) (Figura 6f) (Rodríguez-Zaragoza, 1994). Además se le considera un consumidor voraz de bacterias y se le relaciona con altas concentraciones de contaminación orgánica, esta última característica tal vez se deba a que esta amiba presenta una fase de hongo (Page, 1988), todo lo anterior le permitió soportar las mezclas de agua residual doméstica-textil de hasta 30%ARD-70%ART.

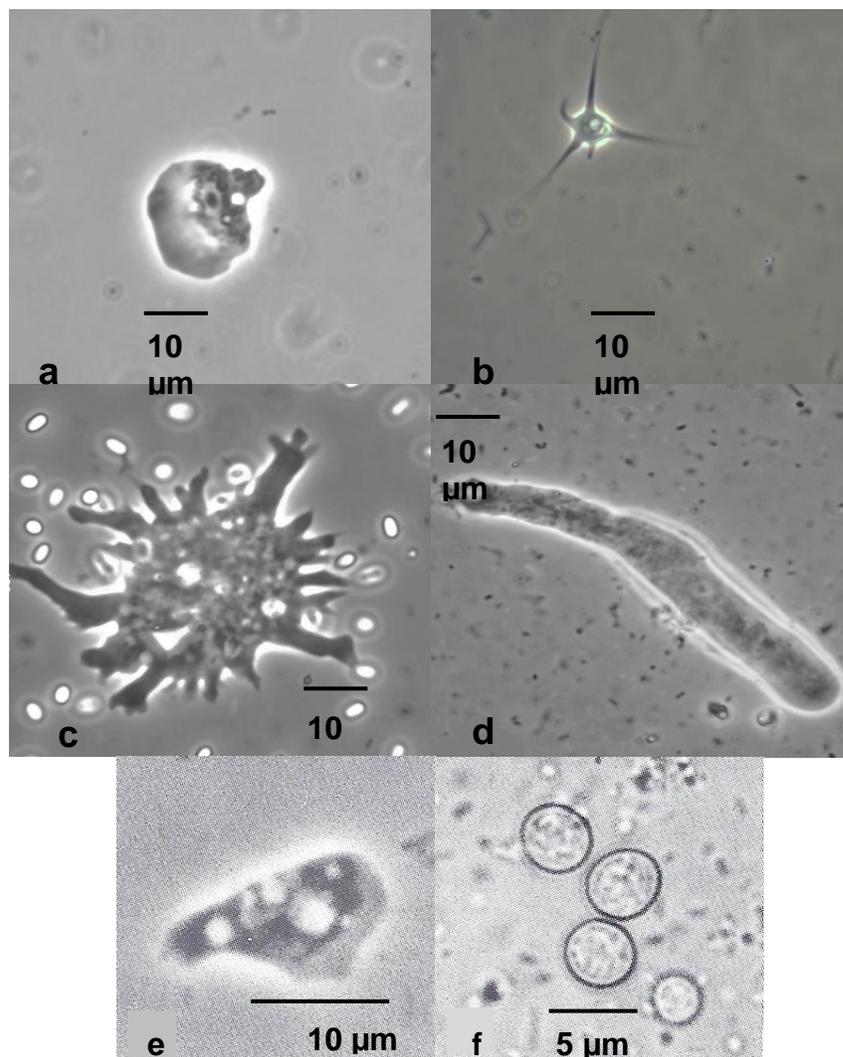


Figura 6. AVL aisladas con más frecuencia en un gradiente de ARD-ART. a y b: trofozoito y forma flotante de *Vannella platypodia*; c y d: forma multipodial y monopodial de *Polychaos timidum*; e y f: trofozoito y quiste de *Rosculus ithacus* (Page, 1988).

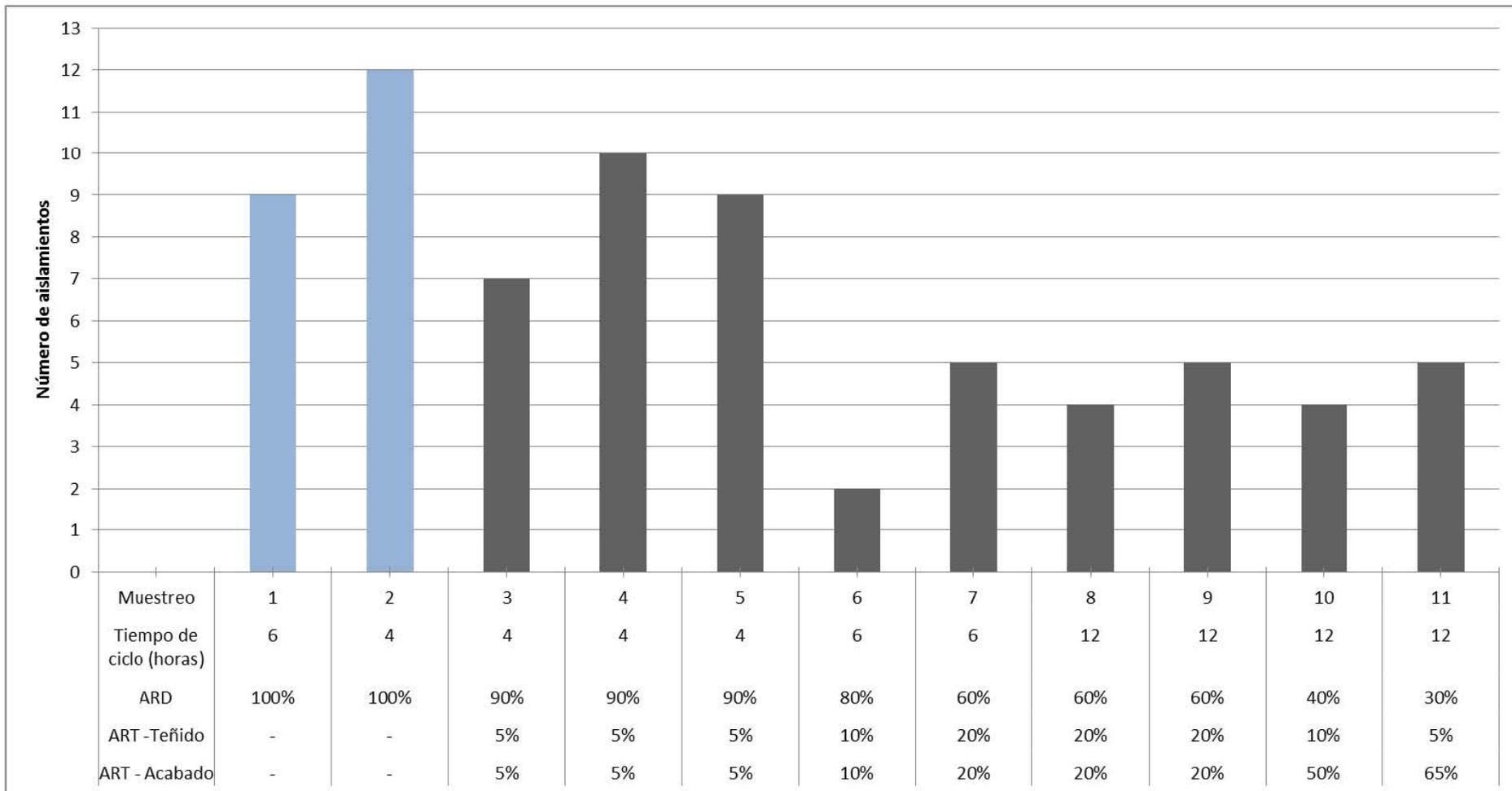
Las 16 especies restantes se presentaron en porcentajes menores a 10%, y en menor frecuencia se encontró a *Vahlkampfia enterica*, *Phreatamoeba balamuthi* y *Acanthamoeba quina*, solamente con el 1.35% de frecuencia, a pesar de que son formadoras de quiste (Page, 1988), pero probablemente no tuvieron las características necesarias para resistir las condiciones del agua residual textil (Campos, 2015).

### ***C. Distribución del número de especies en las mezclas de ARD-ART.***

En la Figura 7 se muestra la distribución del número de aislamientos totales de amibas encontrados en las mezclas de ARD-ART realizadas en el biorreactor. Se observó que del muestreo 1 al 5, cuando el porcentaje de ARD fue del 100 y 90%, el número de aislamientos fue el más alto, destacándose el muestreo 2 donde se obtuvo el mayor número de aislamientos (12), esto coincide con lo mencionado por Ramírez *et al.* (2005) donde relaciona la alta concentración de materia orgánica con el aumento de las poblaciones; así mismo Anderson *et al.* (1988) sugiere que el aumento de las poblaciones, es debido al aprovechamiento de los recursos alimenticios.

En el muestreo 6 se observó una notable baja a 2 aislamientos, cuando se redujo al 80% de ARD, a partir del séptimo muestreo se mantuvo entre 4 y 6 especies, posiblemente porque algunas amibas pudieron aclimatarse a estas condiciones ambientales, después de ser expuestas gradualmente al ART (Moreno y González, 1996; Kim *et al.*, 2003).

En la tabla 4 se observa que el mayor número de especies (7 a 10) se encontró cuando el ARD estuvo entre 90 y 100%, y disminuyó cuando se aumentó el porcentaje de ART. Sin embargo, *Vannella platypodia*, *Polychaos timidum* y *Rosculus ithacus* se presentaron en la mayoría de las mezclas, desde los porcentajes más bajos hasta los más altos de ART. Señalando su gran capacidad para adaptarse a condiciones hostiles.



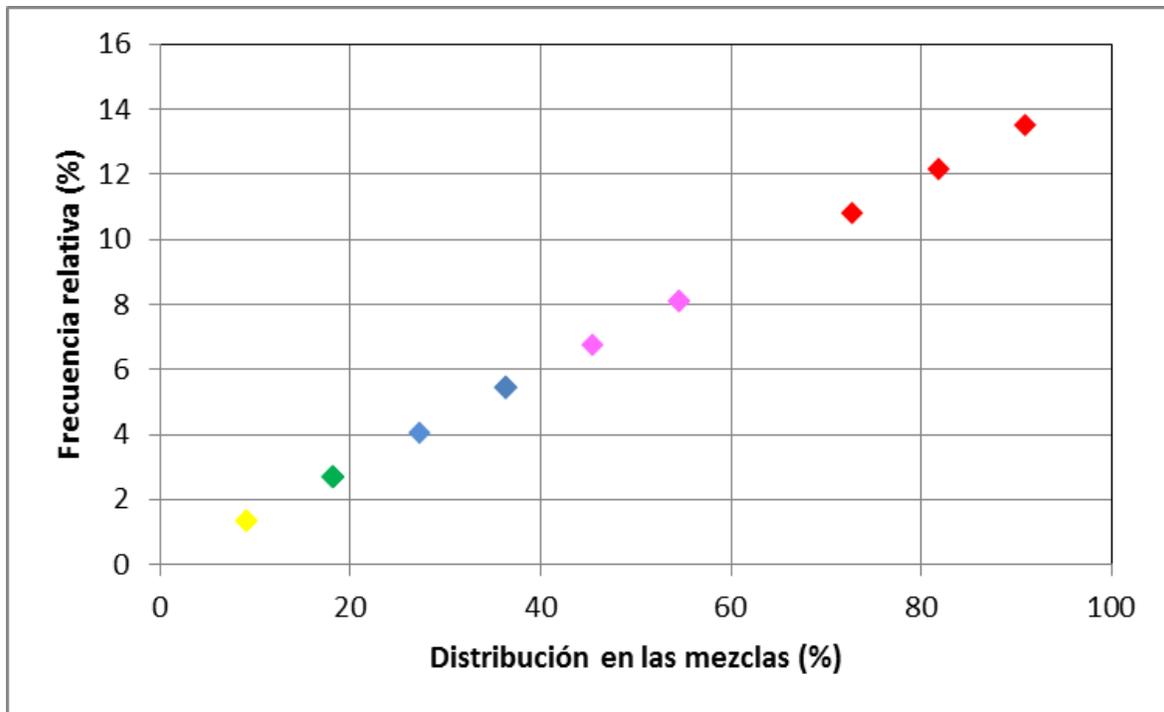
**Figura 7. Número de aislamientos totales de amibas de vida libre en las mezclas de ARD-ART.**

Tabla 4. Distribución de las especies de las amibas de vida libre en las mezclas de ARD-ART.

Muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Número de registro	(%)
<i>Acanthamoeba castellanii</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2.70
<i>Acanthamoeba quina</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.35
<i>Acanthamoeba griffini</i>	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	6	8.11
<i>Mayorella penardi</i>	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	6	8.11
<i>Mayorella spatula</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2.70
<i>Phreatamoeba balamuthi</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.35
<i>Polychaos timidum</i>	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	9	12.16
<i>Rosculus ithacus</i>	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8	10.81
<i>Saccamoeba stagnicola</i>	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4	5.41
<i>Thecamoeba quadrilineata</i>	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4	5.41
<i>Thecamoeba similis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2.70
<i>Thecamoeba striata</i>	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	5	6.76
<i>Vahlkampfia ustiana</i>	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	4	5.41
<i>Vahlkampfia enterica</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1.35
<i>Vannella lata</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2.70
<i>Vannella simplex</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	4.05
<i>Vannella platypodia</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	10	13.51
<i>Vermamoeba vermiformis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2.70
<i>Vexillifera bacillipedes</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2.70

1: presencia; 0: ausencia

Con la finalidad de agrupar a las especies en base a su distribución en las diferentes mezclas y su valor de frecuencia relativa se realizó un diagrama de dispersión (Figura 8) y se sometió a un análisis de Pearson, el cual arrojó una correlación positiva fuerte entre estas dos variables ( $r=1$ ) (Durán *et al.* 2005), lo que indica que las especies que presentaron una distribución en las mezclas amplia también tuvieron un valor de frecuencia alto y viceversa.



**Figura 8. Agrupación de las especies de AVL tomando en cuenta su frecuencia y su distribución en las mezclas.**

De acuerdo al diagrama de dispersión (Figura 8), las 19 especies se agruparon en 5 grupos.

**Grupo 1 (amarillo):** Este grupo estuvo formado por *Vahlkampfia enterica*, *Phreatamoeba balamuthi* y *Acanthamoeba quina* con una frecuencia relativa baja que se mantuvo  $< 2\%$  y distribución baja  $< 10\%$ , se presentaron solamente en un muestreo (100% de ARD). Estas especies aunque pueden enquistarse no se adaptaron al incremento de las concentraciones de agua residual textil.

**Grupo 2 (verde):** Este grupo se conformó por las especies *Acanthamoeba castellanii*, *Vermamoeba vermiformis*, *Mayorella spatula*, *Thecamoeba similis*, *Vannella lata* y *Vexillifera bacillipedes* con frecuencias relativas bajas entre 2 y 3% y distribuciones bajas entre 15 y 20%, se presentaron principalmente entre los primeros cuatro muestreos (100 y 90% de ARD).

**Grupo 3 (Azul):** *Vannella simplex*, *Thecamoeba quadrilineata*, *Saccamoeba stagnicola*, y *Vahlkampfia ustiana* con frecuencias bajas entre 4% y 6% y distribuciones entre 25% y 40%, se presentaron en 4 muestreos (90 y 80% de ARD), en el caso de *V. ustiana* se presentó incluso en la mezcla de 60% ARD-40% ART, tal vez debido a que esta especie es la única de este grupo que es capaz de formar quiste.

**Grupo 4 (rosa):** Este grupo estuvo formado por *Thecamoeba striata*, *Acanthamoeba griffini* y *Mayorella penardi* con frecuencias relativas entre 6% y 9% y distribuciones 45% y 55%, se presentaron de 5 a 6 muestreos (mezclas de 60%ARD-40%ART, 40%ARD-60%ART y 30%ARD-70%ART).

**Grupo 5 (rojo):** Este grupo estuvo formado por *Rosculus ithacus*, *Polychaos timidum* y *Vannella platypodia* con frecuencias >10% y distribuciones >70%, se presentaron de 8 a 11 muestreos (mezclas de hasta 30% ARD-70% ART). Por lo que se puede decir que fueron las que mejor se adaptaron al incremento gradual de ART. Estas especies posiblemente afrontaron los cambios desarrollando diferentes estrategias ecológicas o a las características particulares de cada especie.

## D. Parámetros fisicoquímicos

### I. Potencial Hidrógeno (pH)

La industria textil utiliza una gran cantidad de productos químicos como blanqueadores, suavizantes, colorantes y limpiadores cuyos ingredientes activos son sales de bases y ácidos (hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, ácido sulfúrico, ácido oxálico entre otros) (Muñoz, 2008), de tal forma que los efluentes de los procesos de tinción y acabado pueden tener a un pH ácido o básico, por lo que se tiene que realizar una neutralización antes de cargar el biorreactor. Por esta razón los valores de pH que se registraron a lo largo del estudio estuvieron cercanos a la neutralidad (de 6.3 a 7.8), valores que se han reportado como adecuados para la presencia de AVL (Bonilla *et al.*, 2004).

Al graficar el número de aislamientos de AVL y los valores de pH, se observó que no hubo relación entre ellos (Figura 9). Esto se confirmó mediante el análisis de correlación Pearson, obteniendo un coeficiente muy bajo (-0.26).

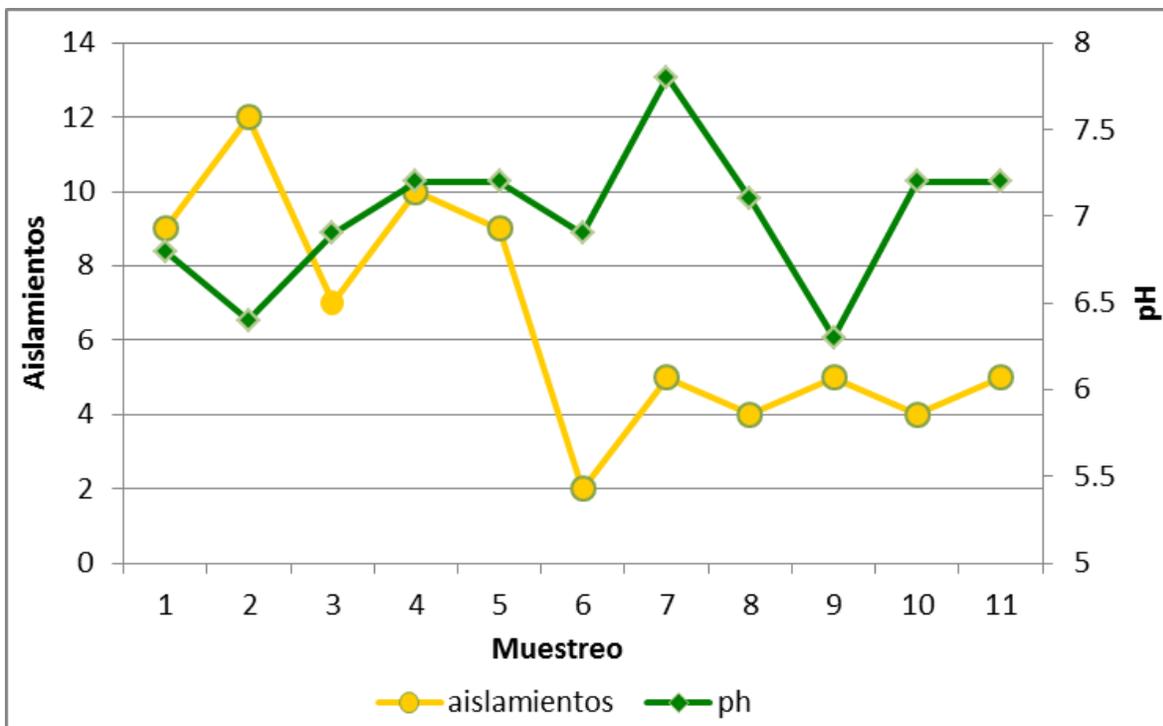
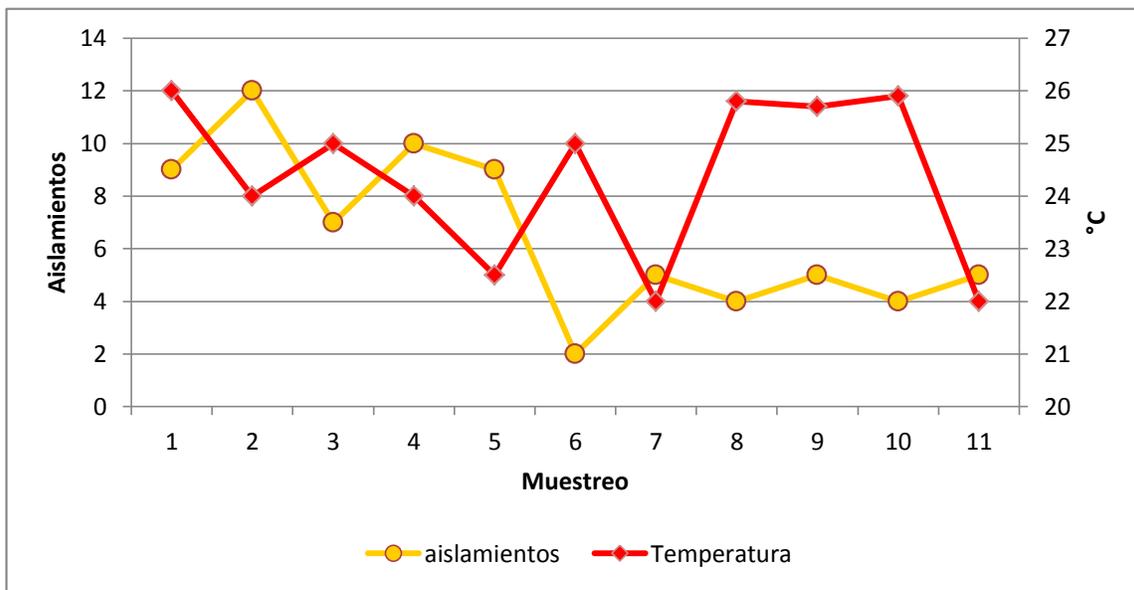


Figura 9. Mediciones de pH y el número de aislamientos de AVL durante los muestreos.

## II. Temperatura

La temperatura registrada estuvo en un intervalo de 21 a 26 °C con un valor promedio de 24.35 °C. Estos valores se encuentran en los reportados para la presencia de AVL, aunque las amibas patógenas prefieren temperaturas por arriba de los 30 °C e incluso pueden soportar hasta 45°C (Bonilla *et al.*, 2004).

Díaz (2003) sugirió que la temperatura elevada afecta negativamente la tasa de crecimiento bacteriano y en consecuencia el de las amibas, ya que las bacterias son el alimento principal de las AVL. Esto se observó al graficar el número de aislamientos y los valores de temperatura (Figura 10). Sin embargo esta relación no fue estadísticamente significativa, siendo el coeficiente de correlación de Pearson muy bajo (-0.18).



**Figura 10. Mediciones de la temperatura y el número de aislamientos de AVL durante los muestreos.**

### III. Oxígeno disuelto

El valor promedio de oxígeno disuelto en el biorreactor fue de 1.31 mg/L, observándose una concentración relativamente alta durante el primer muestreo (mayor de 4 mg/L), que disminuyó a partir del segundo, llegando a valores de 0.6 mg/L. Esto se pudo deber en parte a que el oxígeno es utilizado por los microorganismos para degradar la materia orgánica y a que el burbujeador que estaba suministrado el oxígeno al biorreactor no fue de la capacidad adecuada para mantener constante la oxigenación del agua (Figura 4). Por lo tanto tampoco se encontró relación gráfica ni estadística (coeficiente de 0.22), entre el oxígeno disuelto y las AVL, cabe mencionar que este resultado pudo haber sido modificado ya que no se pudieron realizar mediciones a partir del muestreo 7 (Figura 11),

Se ha señalado que las AVL pueden sobrevivir en amplios intervalos de oxígeno disuelto que van desde 0.5 mg/L hasta 7.8 mg/L (Ramírez *et al.*, 2005), pero el intervalo óptimo para la presencia de las AVL se encuentra entre 2 a 4 mg/L (Chiquillo, 2004; Bonilla *et al.*, 2004).

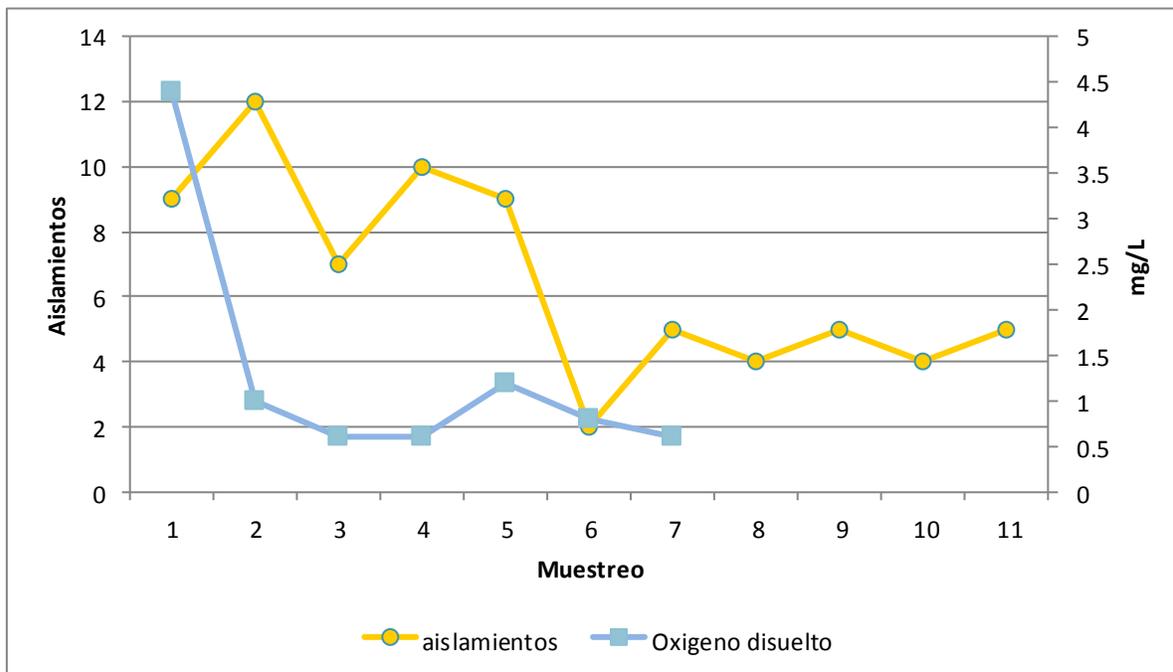


Figura 11. Mediciones del oxígeno disuelto y el número de aislamientos de AVL durante los muestreos.

## IX. CONCLUSIONES

La mayoría de las especies de Amibas de Vida Libre encontradas en el biorreactor durante el estudio se han reportado en agua residual doméstica, pero en diferentes porcentajes. El mayor número de aislamientos y especies se obtuvo cuando el agua residual fue 100% doméstica, disminuyendo a medida que se incrementó el agua residual textil.

Las AVL encontradas se agruparon en 5 conjuntos de acuerdo a su frecuencia y distribución en las mezclas. Grupo 1 (3 especies) con frecuencia <2% y distribución baja <10%; Grupo 2 (6 especies) con frecuencias entre 2 y 3% y distribuciones entre 15 y 20%; Grupo 3 (4 especies) con frecuencias bajas entre 4% y 6% y distribuciones entre 25% y 40%; Grupo 4 (3 especies) con frecuencias relativas bajas entre 6% y 9% y distribuciones medias entre 45% y 55%, y Grupo 5 (3 especies) frecuencias >10% y distribuciones más altas >70%.

La frecuencia y distribución alta de las especies *Vannella platypodia*, *Polychaos timidum* y *Rosculus ithacus* en las mezclas, señalan su capacidad para adaptarse a las condiciones hostiles del agua residual textil, mediante diferentes estrategias ecológicas, como producir numerosos y pequeños individuos.

*Polychaos timidum* es la primera vez que se aísla en ART, lo que es de llamar la atención porque en este tipo de ambiente, tienden a presentarse amibas pequeñas. Sin embargo la capacidad de presentar dos formas morfológicas podría hacer posible su presencia en este ambiente hostil.

Los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los intervalos reportados para la presencia de AVL, pero no se encontró relación estadísticamente significativa con las amibas. En el agua residual textil existen otros factores, como la presencia de sustancias tóxicas, que pueden afectar la presencia y distribución de las amibas en este ambiente.

## X. LITERATURA CITADA

- Anderson, O. R., 1988. Comparative Protozoology. Ecology, Physiology, Life History. Springer-Verlag. New York. 482 págs.
- Atlas, R. y Bartha R., 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4ta ed. Addison Wesley. Madrid. 696 pp.
- Bitton, G., 2005. Wastewater Microbiology. 3ª. Wiley-Liss. USA. 765 pp.
- Bonilla, L.P., Ramírez, F.E., Ortiz O.R. Eslava C., 2004. La ecología de las Amibas Patógenas de Vida Libre en Ambientes Acuáticos. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/440/cap3.html>
- Bonilla, L.P., Caballero A.S., Carmona J.J., Lugo V. A., 2014. Occurrence of free-living amoebae in streams of the Mexico Basin. Experimental Parasitology 145 (2014) S28-S33.
- Calderón, M. C., 2005. Identificación y descripción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Fecha de consulta: 21 enero 2016. Disponible en [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Sistemas\\_secundarios.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Sistemas_secundarios.pdf)
- Campos, C.S., 2015. Amibas de vida libre en un sistema de tratamiento de lodos activados de una industria textil. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 46pp.
- Chiquillo, H. L. E., 2004. Detección de Gimnamebas en agua residual doméstica en un estanque de sedimentación. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala. 56 pp.
- Choncohua, R. E., 2014. Distribución espacial y temporal de las Amibas de Vida Libre (AVL) en una planta de tratamiento de los activados. Tesis de

Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 50pp.

- CONAGUA, 2007. Sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales y lodos producidos. México. 6-50 pp.
- CONAGUA, 2014. Estadísticas del agua, edición 2014. México. 57-75 pp. Fecha de consulta 10 enero 2016. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- Cruz, O. M., 2005. Especiación de metales pesados y comportamiento microbiológico ante la presencia de plomo en lodos activados. Tesis de Maestría en Microbiología. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. 62 pp.
- Díaz, J. P., 2003. Investigación sobre el efecto de la temperatura en los procesos biológicos por fangos activos. Tesis Doctoral, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos UPM.
- Durán, A. y Vargas, A., 2003. Bioestadística. UNAM FES Iztacala. 136-144 pp.
- FAO, 2011. Information System on Water and Agriculture, Aquastat. 2011. Fecha de consulta 15 enero 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es>
- Fenchel, T., 1987. Ecology of Protozoa: The biology of free-living phagotrophic protists. Springer Verlag, Wisconsin. 197pp
- Flores, E. T., 2004. Evaluación de la contaminación generada por el vertido de aguas residuales provenientes de la industria textil en Zinapecuaro, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería textil. IPN. 94 pp

- González, C. A., 2012. Dinámica de poblaciones de los lodos activados utilizados en el proceso de biodegradación de efluentes industriales. Tesis de Maestría e Ciencias. UNAM. 85pp
- Gudiño, D., 2003. Estudio cuantitativo de las amibas de vida libre presentes en un sistema de tratamiento del tipo del método de la zona de raíz (MRZ) en el poblado de Matilde, Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 60pp
- Ibarra, D., 2015. Presencia y distribución de gimnamebas en un sistema de lodos activados que trata agua residual de una industria textil lanera. Tesis de Posgrado de Ciencias Biológicas. UNAM. 19-20pp
- Kim, S., C. Park., T. Kim., J. Lee. y S. Kim, 2003. COD reduction and decolorization of textile effluent using a combined process. Journ. Bioscienc and Bioengin. 95 (1): 102-105.
- López, B. G. y Guerrero T. C., 1993. Planificación estratégica para la recuperación del agua residual dentro de la industria textil en acabados y su reutilización en diversas áreas y procesos. Tesis profesional. ESIT-IPN. México. 95 pp.
- Martínez, D. A., 2014. Remoción de bacterias, nutrientes y materia orgánica en un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales de una industria textil. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM, FES Iztacala. 3-4pp
- Moreno, G. y González, A., 1996. Population dynamics in an activated sludge during phenolic compounds acclimation. In: Proceedings of the 51st Purdue Industrial Waste Conference 1996. Purdue University West Lafayette, Indiana. 705-706pp. Fecha de consulta 15 marzo 2015. Disponible en: [https://books.google.com.mx/books?id=5gMSjEQipu8C&pg=PA705&lpg=PA705&ots=ZYTvT547e7&focus=viewport&dq=ariel+gonzalez+y+gloria+moreno&output=html\\_text](https://books.google.com.mx/books?id=5gMSjEQipu8C&pg=PA705&lpg=PA705&ots=ZYTvT547e7&focus=viewport&dq=ariel+gonzalez+y+gloria+moreno&output=html_text)

- Muñoz, C., A., 2008. Caracterización y tratamiento de aguas residuales, Tesis de Licenciatura, Instituto de Ciencias básicas e Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.
- Page, F.C., 1988. A new key to Freshwater and soil Gymnamoebae, Freshwater Biological Association. Cumbria, England.
- Ramalho R. S., 1996. Tratamiento de aguas residuales. Ed. Castellana, Faculty of Science and Engineering. Canada. 91pp
- Ramírez, E., E. Robles, P. Bonilla, G. Sainz, M. López, J. M. de La Cerda and A. Warren, 2005. Occurrence of pathogenic Free Living Amoebae and bacterial indicators in a constructed wetland treating domestic wastewater from a single household. *Eng. Life. Sci.* (5), 3: 253 – 258.
- Ramírez, E., E. Robles., B. Martínez., R. Ayala., G. Sainz., M. E. Martínez and M. González, 2014. Distribution of free-living amoebae in a treatment system of textile industrial wastewater. *Experimental Parasitology* 145 (2014) S34-S38.
- Ramírez, R. R., 2016. Valoración de la eficiencia de remoción de contaminantes en diferentes mezclas de agua residual doméstica-industrial en un reactor de lodos activados a escala laboratorio. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 66pp.
- Rivera, F., Warren, A., Ramírez, E., Decamp, O., Bonilla, P., Gallegos, E., Calderón, A., y Trinidad, S.J., 1995. Removal of pathogens from wastewaters by the root zone method (RZM). *Wat. Sci. Tech.* 32 (3): 211-218.
- Rodríguez-Zaragoza. S. 1994. Ecology of Free-Living Amoebae. *Crit. Rev. In Microbiology.* 20(3):225-241.

- Rondinel, P. E., 1990. Minimización de residuos peligrosos generados en la industria textil de algodón y fibras artificiales. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería 80pp
- SEMARNAT, 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México. 361pp
- SEMARNAT, 2016. El agua. Fecha de consulta 20 enero 2016. Disponible en [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documentos/05\\_serie/yelmedioambiente/4\\_agua\\_v08.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documentos/05_serie/yelmedioambiente/4_agua_v08.pdf)
- Schuster, F. y G. Visvesvara, 2004. Free-living amoebae as opportunistic and no opportunistic pathogens of human and animals. *Inter J. Parasitol.* 1-27 pp
- Toledo, T. E., 2007. Presencia y distribución de amibas y ciliados en el sistema de lodos activados de Ciudad Universitaria, Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 66pp
- Torrescano, E. J., 2009. Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados. *Aquaforum.* 12 (52): 15-19.
- Vilaseca, M. M., 2001. Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica. *Boletín intexter (U. P. C)* 119:72-97.
- Villegas, C. J., 2009. Efectos del efluente del proceso de teñido de hilos en el sistema de lodos activados a nivel piloto de una industria textil. Tesis de Química Farmacéutica Bióloga. Facultad de Química. UNAM. 59 pp.
- Visvesvara G., 2014. Pathogenic and Opportunistic Free-living Amoebae: Agents of Human and Animal Disease. In: *Manson's Tropical Infectious Diseases*. 23th ed. China. Elsevier Saunders. 683-691 pp.