

**INDICADORES BIOLÓGICOS
EN LA OPERACION DE
SISTEMAS DE TRATAMIENTO
DE LODOS ACTIVADOS**

**RICARDO H MANZANO
J RICARDO ALBARRAN
ADRIANA COSTERO**

SERIES DEL INSTITUTO DE INGENIERIA

No. D-23

JUNIO 1985

**INDICADORES BIOLÓGICOS
EN LA OPERACION DE
SISTEMAS DE TRATAMIENTO
DE LODOS ACTIVADOS**

RICARDO H MANZANO*
J RICARDO ALBARRAN*
ADRIANA COSTERO**

***Técnico Académico , Instituto de Ingeniería , UNAM**
****Estudiante de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM**

1.	INTRODUCCION	1
2.	ANTECEDENTES	3
3.	OBJETIVOS	9
4.	PARTE EXPERIMENTAL	11
4.1	<i>Descripción de los reactores analizados</i>	11
4.2	<i>Metodología</i>	12
4.3	<i>Resultados</i>	12
4.4	<i>Clasificación taxonómica de los organismos identificados</i>	16
4.5	<i>Resumen del número de organismos encontrados en los reactores</i>	18
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
6.	RECONOCIMIENTO	25
7.	REFERENCIAS	27
8.	BIBLIOGRAFIA	29
	APENDICES	31
	GLOSARIO	63

1. INTRODUCCION

Muchos de los problemas que se presentan en la operación de plantas de tratamiento de lodos activados se relacionan con la carencia de medidas oportunas para corregir una desviación indeseable en las condiciones del proceso. Esto se debe en parte a que los parámetros que se utilizan para evaluar el funcionamiento de la planta (demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos volátiles) requieren demasiado tiempo para su realización.

Por lo anterior, se han buscado variables de control que necesiten menos tiempo y sean igual o más confiables que las que se usan actualmente. Entre las diferentes posibilidades, destacan dos: una se basa en la rapidez de consumo de oxígeno; otra, en la diversidad de microorganismos presentes en los sistemas. El objetivo de este trabajo es realizar una investigación acerca de la última opción mencionada.

2. ANTECEDENTES

Recientemente se ha analizado la presencia de protozoarios en los sistemas de tratamiento de lodos activados, debido a que algunos investigadores (ref 1) consideran que dichos microorganismos son los responsables de la calidad del efluente del sistema.

Los primeros estudios sobre sistemas de lodos activados comprobaron la existencia de gran cantidad de microorganismos, tales como: bacterias, protozoarios, algas y hongos (todos provenientes generalmente del suelo); por tanto, era muy probable que la intervención de estos pequeños organismos determinara la eficiencia del reactor.

Arden y Lockett (ref 1) publicaron las primeras tablas que demuestran la relación entre cierto tipo de protozoarios y un efluente de buena calidad. Otros autores, como Agersborg y Hatfield (ref 2), Cramer (ref 3), Baines, Hawkes, Hewitt, Jenkins (ref 2) y Curds y Cockburn (ref 1), han sugerido que los protozoarios pueden servir como indicadores de la condición de los lodos. Reynoldson y Baines *et al* (ref 2) han señalado que se obtiene la mejor calidad de efluente cuando en la población de ciliados predominan los sésiles.

Pillai y Subrahmanyam (ref 2) afirmaron que sin protozoarios el sistema de lodos no crece ni hay clarificación; además, la presencia de ciliados, como *Epistylis sp.*, tiene mucha importancia, pues influye en el proceso de oxidación que el lodo activado lleva a cabo. Dichos autores consideran que este ciliado es el que origina más floculación.

Buswell y Long (ref 3) explicaron el mecanismo de purificación mediante lodos activados, de la siguiente manera: los microorganismos ingieren y asimilan la materia orgánica de los desechos, y luego la reintegran, sintetizada, al material que forma los lodos del flóculo. Este proceso cambia la materia orgánica, coloidal y en estado de disolución y dispersión, a una condición en la que se puede sedimentar. Los autores no presentaron pruebas de su teoría.

El grupo de los protozoarios incluye aproximadamente 65 000 especies, de las cuales la mitad son fósiles; la clasificación más reciente (ref 4) divide al subreino Protozoa en siete Phyla:

1. *Sarcomastigophora*
2. *Labyrinthomorpha*
3. *Apicomplexa*
4. *Microspora*
5. *Ascetospora*
6. *Myxospora*
7. *Ciliophora*

Diversos estudios sobre protozoarios en lodos activados demostraron la existencia de una sucesión biológica de estos organismos conforme se desarrollaba el sistema: durante las fases iniciales predominaban los flagelados, y después estos daban lugar a los ciliados; cuando el reactor alcanzaba su máxima eficiencia, los ciliados sésiles eran los más abundantes.

Lo anterior confirma la relación entre cierto tipo de protozoarios y un efluente de buena calidad. En efecto, dichos microorganismos intervienen en la descomposición de la materia orgánica. Muchos ciliados y amebas al igual que algunos flagelados engloban fragmentos de detritos; hay una gran variedad de protozoarios de estos tres grupos que son capaces de tomar la materia orgánica disuelta y utilizarla como fuente de energía; así, compiten con las bacterias, hongos y otros organismos por el aprovechamiento de la materia orgánica muerta.

Muchos protozoarios se alimentan de bacterias (organismos degradadores), y parte de la energía contenida en ellas se dirige a niveles tróficos superiores de la cadena alimenticia, ya que tanto bacterias como protozoarios pueden ser devorados por otros animales.

Los protozoarios ciliados, flagelados y ameboideos ingieren muchas plantas diminutas: diatomeas y algas cocoides. También existen, dentro de estos tres grupos, protozoarios de vida libre que se alimentan de otros protozoarios, larvas y organismos muy pequeños.

Los lodos activados contienen los siguientes microorganismos: bacterias, protozoarios, rotíferos, nematodos, algas y hongos. Los más abundantes son: bacterias heterótrofas (las cuales, junto con los protozoarios soprotófitos, forman el primer eslabón trófico) y protozoarios holozóicos (que se alimentan de bacterias); también puede haber rotíferos y nematodos en menor cantidad.

Los factores ecológicos que determinan el tipo y cantidad de protozoarios son: agua, temperatura, oxígeno, pH y luz. Si dichos factores están dentro de los límites tolerados por una especie de protozoarios, la existencia y abundancia de esta dependerán de la cantidad de alimento disponible.

- 1) Agua. Los protozoarios abundan en los ambientes acuáticos, aunque también pueden habitar en suelos y regiones polares donde solo hay agua durante cortas temporadas. Los protozoarios

se defienden de la escasez de este líquido mediante el proceso de enquistamiento; en condiciones favorables, se rompe el quiste y se desarrolla el organismo.

- 2) Temperatura. La temperatura óptima para la vida de los protozoarios varía según la especie: de estirpes frías viven en temperaturas inferiores a 5°C, y los de estirpes calientes (aguas termales) soportan de 40 a 50 °C; sin embargo, existen especies con intervalos de tolerancia más restringidos.

Por otra parte, la temperatura también influye en la reproducción de estos microorganismos.

3. Oxígeno. Una característica ambiental que varía según la temperatura es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua: va de 14 ppm a 0°C hasta 7.5 ppm a 30 °C. Casi todos los protozoarios de vida libre son aerobios, aunque hay algunos que soportan cantidades muy bajas de oxígeno, siempre y cuando existan bajas concentraciones de H_2S y CO_2 .
4. pH. La cantidad de CO_2 es importante porque al combinarse con el agua forma ácido carbónico, que tiende a bajar el pH. Sin embargo, los protozoarios autótrofos (fitoflagelados) requieren ciertas cantidades de CO_2 , ya que utilizan el carbono como fuente para realizar la fotosíntesis.

El pH puede variar por otras razones; por ejemplo: los efluentes de industrias aumentan la acidez de las aguas donde son vertidos.

5. Luz. Los protozoarios pigmentados son los más sensibles a los cambios de luz, ya que esta es fuente de energía para realizar la fotosíntesis.

Hay otros factores que también determinan la cantidad y tipo de protozoarios existentes en lodos activados, como son: materiales tóxicos y carga orgánica en el afluente, deficiencia de ciertos nutrientes, etc.

Al analizar los lodos activados, Curds y Cockburn (ref 1) encontraron 225 especies de protozoarios: 160 ciliados y el resto flegelados y ameboideos. Las principales especies de ciliados fueron: Vorticella sp, Opercularia sp y Epistylis sp.

La sucesión biológica que se lleva a cabo en los lodos activados puede explicarse de la siguiente manera. Al inicio del sistema, la concentración de alimento (materia orgánica) es alta y la población de cualquier grupo de microorganismos es baja. Entre los organismos "colonizadores" predominan las bacterias, seguidas de los ameboideos (amibas) y fitoflagelados. Conforme aumenta el número de bacterias, se incrementa su consumo de alimento; esto ocasiona que el número de fitoflagelados disminuya. Los zooflagelados aparecen cuando existe una cantidad de bacterias suficiente para alimentarlos. La presencia de ciliados provoca la disminución de flagelados, ya que los primeros, al tener mayor facilidad de movimiento, acaparan la materia orgánica y logran un predominio sobre los demás organismos.

La participación de las bacterias es fundamental durante todo el proceso de purificación de lodos activados, pues ellas realizan la mayor parte de la oxidación aerobia de la materia orgánica. Son no filamentosas, móviles; algunas forman grumos mediante un proceso de floculación que se agudiza en presencia de protozoarios ciliados. La formación de dichos grumos elimina muchas bacterias de la suspensión y proporciona un sustrato para la fijación de protozoarios ciliados pedunculados. Los ciliados más abundantes son los que consumen bacterias, pero también hay especies carnívoras o que se alimentan de detritos.

Los organismos consumidores de bacterias, que se encuentran en suelos y aguas contaminadas, tienen gran importancia pues participan en los ciclos tróficos.

Los fitoflagelados son organismos productores de materia orgánica en los ambientes acuáticos; muchos ciliados, ameboideos y flagelados devoran pequeñas plantas (diatomeas) e incluso se alimentan de larvas, otros protozoarios, etc (ref 5).

Todos los organismos desempeñan una función, ya sea como degradadores (bacterias), productores (plantas y fitoflagelados) o consumidores (ciliados, ameboideos y zooflagelados); por esto forman una sucesión biológica.

3. OBJETIVOS

En el presente estudio se relacionan las condiciones de operación de sistemas de tratamiento de lodos activados a escala de laboratorio, con la eficiencia en remoción de materia orgánica y la diversidad de población de microorganismos presentes. A fin de proporcionar información básica de utilidad para estudiantes, investigadores y técnicos del área en general, se elabora, además, un catálogo elemental de organismos propios de estos sistemas, incluyendo su clasificación taxonómica.

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Descripción de los reactores analizados

Se estudió el funcionamiento de cuatro reactores aerobios sujetos a un ciclo semicontinuo, cuyas variables de operación se muestran en la tabla 1.

TABLA 1. VARIABLES DE OPERACION DE LOS REACTORES AEROBIOS SEMICONTINUOS

Reactor	F/M^* , en día ⁻¹	Volumen, en l	S_0 , en $\left(\frac{\text{mg de DQO}}{\text{l}}\right)^{**}$
1	0.5	1.5	16 975
2	1.3	1.5	16 975
3	2.2	1.5	16 975
4	3.0	1.5	16 975

Se analizó también un reactor aerobio bajo un régimen continuo, cuyas variables de operación se describen en la tabla 2.

* $F/M = \frac{\text{comida suministrada diariamente}}{\text{biomasa}}$

** DQO, demanda química de oxígeno

TABLA 2. VARIABLES DE OPERACION DEL REACTOR AEROBIO CONTINUO

F/M, en día ⁻¹	Q, en l/d	Tiempo de retención, en d		Volumen, en l	S ₀ , en ($\frac{\text{mg de DQO}}{\text{l}}$)
		Celular	Hidráulico		
0.5	2.8	5	5	17	6 000

4.2 Metodología

Inicialmente, se suspendió la aireación de los reactores, se limpiaron sus paredes con cepillo y se homogeneizaron los lodos con un agitador de barra. Después, se tomaron muestras de licor agitado (100 ml), tanto de los cuatro reactores semicontinuos como del continuo, y se analizaron de acuerdo con el programa físico-químico*.

Asimismo, se tomaron muestras con pipetas Pasteur, y se colocaron entre portaobjetos y cubreobjetos para realizar su identificación biológica en un microscopio de contraste de fases (American Optical, modelo ONE-TWENTY, con cámara fotográfica) con las lentes que se indican en el Apéndice A.

Todos los organismos fueron identificados con ayuda de claves especializadas (refs 6 a 8) y fotografiados.

Se analizaron biológicamente los lodos sedimentados de cada una de las muestras.

4.3 Resultados

En la tabla 3 se presentan los organismos identificados en los diferentes reactores; únicamente se indican las especies o grupos de organismos observados y el porcentaje de remoción de DQO respectivo.

* Proyecto 3303, Informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM (dic 1983)

En los Apéndices B, C, D y E se muestran las figuras y fotografías correspondientes.

TABLA 3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

Reactor	Fecha	Organismos identificados	Remoción de DQO, en porcentaje
1	25/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Epistylis</u> sp . <u>Stylonychia</u> sp . <u>Euplotes</u> sp . <u>Aspidisca</u> sp . <u>Oikomonas</u> sp . Bacterias . Ciliados (muy pequeños) . Flagelados (pequeños) 	60
1	26/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Epistylis</u> sp . <u>Euplotes</u> sp . <u>Aspidisca</u> sp . <u>Stylonychia</u> sp . <u>Oikomonas</u> sp . Bacterias . Flagelados (pequeños) 	58
1	28/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Epistylis</u> sp . <u>Opercularia</u> sp . <u>Stylonychia</u> sp . <u>Euplotes</u> sp . <u>Aspidisca</u> sp . Flagelados (pequeños) 	58
1	7/XI/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Trachelocerca</u> sp . <u>Euplotes</u> sp . <u>Aspidisca</u> sp . <u>Epistylis</u> sp . <u>Opercularia</u> sp . <u>Vorticella</u> sp (telotroco) . <u>Stylonychia</u> sp . <u>Rotaria</u> sp (rotífero) 	71
1	8/XI/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Stylonychia</u> sp . <u>Euplotes</u> sp . <u>Aspidisca</u> sp . <u>Rotaria</u> sp . Nematodo . <u>Epistylis</u> sp 	85

TABLA 3 (CONTINUACION)

Reactor	Fecha	Organismos identificados	Remoción de DQO, en porcentaje
		<ul style="list-style-type: none"> . <u>Opercularia</u> sp . <u>Trachelocerca</u> sp . <u>Tokophrya</u> sp (suctor) 	
1	10/XI/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Euplotes</u> sp . <u>Aspidisca</u> sp . <u>Epistylis</u> sp . <u>Opercularia</u> sp . Nematodos 	85
2	25/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Epistylis</u> sp . <u>Opercularia</u> sp . <u>Vorticella</u> sp (telotroco) . Ciliados pequeños . Bacterias 	40
2	26/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Epistylis</u> sp . Quistes ciliados . <u>Oikomonas</u> sp . Bacterias . Flagelados (pequeños) 	40
2	28/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Epistylis</u> sp . <u>Opercularia</u> sp . <u>Stylonychia</u> sp . <u>Euplotes</u> sp . <u>Aspidisca</u> sp . Flagelados (pequeños) 	45
2	8/XI/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Vorticella</u> sp . <u>Epistylis</u> sp . <u>Opercularia</u> sp . <u>Stylonychia</u> sp 	45
3	25/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . <u>Vorticella</u> sp (telotroco) . Bacterias . Quistes de ciliados 	25
3	26/X/83	<ul style="list-style-type: none"> . Ciliados pequeños . Flagelados pequeños . Bacterias (muchas) 	20

TABLA 3 (CONTINUACION)

Reactor	Fecha	Organismos identificados	Remoción de DQO, en porcentaje
3	28/X/83	. Bacterias	5
3	7/XI/83	. Bacterias	5
3	8/XI/83	. Bacterias	3
3	10/XI/83	. Bacterias	0.0
4	25/X/83	. Bacterias	5.0
4	26/X/83	. Bacterias	5.0
4	28/X/83	. Bacterias	3.5
4	7/XI/83	. Bacterias	3.5
4	8/XI/83	. Bacterias	3.0
4	10/XI/83	. Bacterias	3.0
Continuo	26/X/83	. <i>Oikomonas sp</i> . Algas (clorofitas y diatomeas) . Bacterias (bacilos, espiroque- tas) . <i>Epistylis sp</i> . <i>Stylonychia sp</i> . Ciliados pequeños	50
Continuo	28/X/83	. Diatomeas: <i>Navicula, Pinnularia</i> . Algas filamentosas: <i>Nostoc, Microspora</i> . <i>Volvox sp</i> . <i>Pandorina morum</i> . Flagelados pequeños . <i>Oikomonas sp</i> . Ciliados pequeños . <i>Stylonychia sp</i> . Bacterias (espiroquetas)	65

TABLA 3 (CONTINUACION)

Reactor	Fecha	Organismos identificados	Remoción de DQO, en porcentaje
Continuo	31/X/83	. Algas (diatomeas y clorofitas): <u>Navicula</u> <u>Frustulina</u> <u>Microspora</u> <u>Protococcus</u> . <u>Netrium</u> sp . <u>Epistylis</u> sp (predominaban) . <u>Opercularia</u> sp (predominaban) . <u>Vorticella</u> sp (telotroco) . Ciliados pequeños . <u>Stylonychia</u> sp	85
Continuo	8/XI/83	. Algas clorofitas y diatomeas . <u>Epistylis</u> sp . <u>Opercularia</u> sp . Ciliados pequeños	
Continuo	10/XI/83	. Algas clorofitas y diatomeas . <u>Opercularia</u> sp (predominaban) . <u>Epistylis</u> sp . <u>Stylonychia</u> sp . Nematodos	80

4.4 Clasificación taxonómica de los organismos identificados

Por medio de esta clasificación se pueden conocer algunas características de los microorganismos registrados en cada reactor.

I CILIADOS

Reino	Protista
Subreino	Protozoa
Phylum	Ciliophora
Clase	Oligohymenophorea
Subclase	Peritrichia

Orden	Peritrichida
Suborden	Sessilina
Género	<u>Epistylis</u> sp <u>Opercularia</u> sp <u>Vorticella</u> sp
Clase	Polymenophorea
Subclase	Spirotrichia
Suborden	Sporadotrichina
Género	<u>Stylonychia</u> sp <u>Euplotes</u> sp <u>Aspidisca</u> sp
Clase	Kinetofragminophorea
Subclase	Suctoria
Orden	Suctorida
Suborden	Endogenina
Género	<u>Tokophrya</u> sp
Clase	Kinetofragminophorea
Subclase	Gymnostomatia
Orden	Karyorelictida
Género	<u>Trachelocerca</u> sp

II FLAGELADOS

Reino	Protista
Subreino	Protozoa
Phylum	Sarcomastigophora
Subphylum	Mastigophora
Clase	Phytomastigophorea
Orden	Chrysomonadida
Género	<u>Oikomonas</u> sp

Orden	Volvocida
Género	<u>Volvox</u> sp
	<u>Pandorina morum</u>

III ROTIFEROS

Phylum	Rotifera
Clase	Bdelloidea
Orden	Bdelloida
Familia	Philodinidae
Género	<u>Rotaria</u> sp

IV NEMATODO

Phylum	Nematoda
--------	----------

4.5 Resumen del número de organismos encontrados en los reactores

Se hicieron conteos con un hemocitómetro, poniendo una gota del licor agitado de los reactores 1, 2 y del reactor continuo. Los resultados se muestran en la tabla 4.

TABLA 4. CONTEO DE ORGANISMOS ENCONTRADOS EN LOS REACTORES 1, 2 y CONTINUO

Reactor	Fecha	Organismos	Promedio de organismos, en 1 mm ³
1	28/X/83	. <u>Epistylis</u> sp, <u>Opercularia</u> sp . <u>Euplotes</u> sp, <u>Stylonychia</u> sp, <u>Aspidisca</u> sp	4 a 5 7
2	28/X/83	. <u>Epistylis</u> sp, <u>Opercularia</u> sp . <u>Euplotes</u> sp, <u>Stylonychia</u> sp, <u>Aspidisca</u> sp	7 0
Continuo	31/X/83	. <u>Epistylis</u> sp, <u>Opercularia</u> sp . <u>Stylonychia</u> sp	4 a 5 2

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) Cuando no hay protozoarios en los sistemas de lodos activados, se puede asegurar que los reactores no están trabajando debido a:
- Insuficiencia de oxígeno disuelto desde el inicio de la operación del reactor
 - Baja carga orgánica en el afluente
 - Falta de nutrientes o mala relación entre C:N:P, ya que muchos de los protozoarios son indicadores de ciertas condiciones ambientales.
- b) La presencia de protozoarios sésiles va asociada con las eficiencias de remoción más altas.
- c) Debe haber un equilibrio entre protozoarios y bacterias para lograr un buen funcionamiento del sistema. En este trabajo se encontró la siguiente relación entre eficiencia y número de especies:

Eficiencia, en porcentaje	40	60	85	85
Número de especies de protozoarios	2	5	8	8*

- d) Cuando los sistemas de tratamiento de lodos activados trabajan con regular eficiencia, la cantidad de bacterias es mayor que la de protozoarios; sin embargo, estos predominan si la eficiencia es alta.
- e) Experimentalmente se encontró que hay mayor eficiencia de remoción y más densidad de microorganismos cuando la carga orgánica es menor ($F/M = 0.5$).

Es conveniente mencionar la intervención de los protozoarios en la contaminación y depuración de aguas residuales.

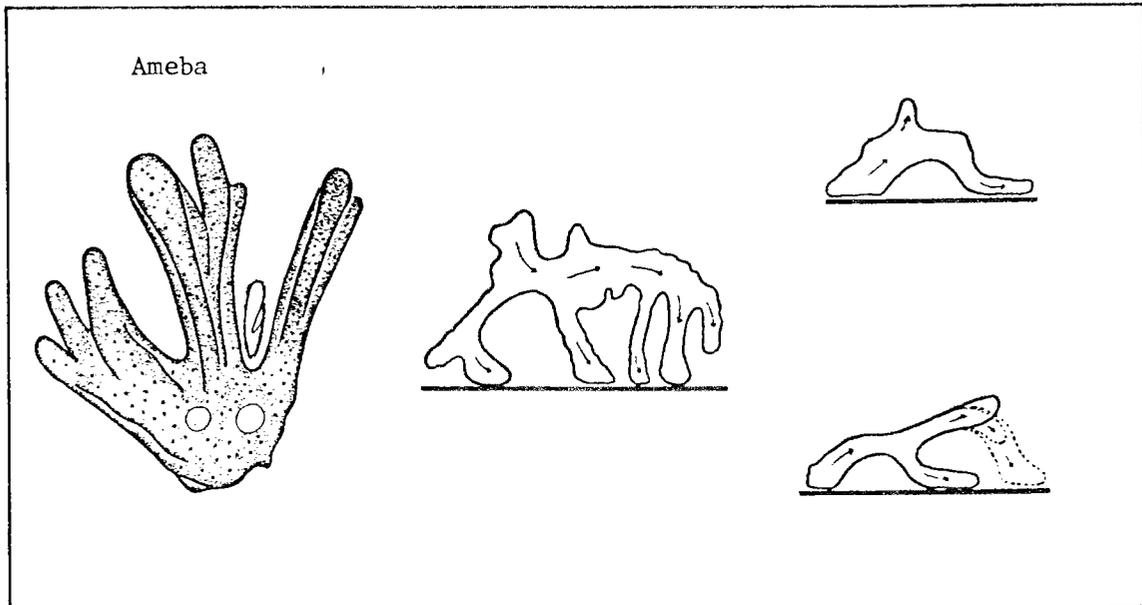
La mayoría de los ríos tienen gran cantidad de materia orgánica, ya que a ellos llegan aguas contaminadas que provienen de los efluentes de fábricas, etc. En el sitio donde se lleva a cabo la contaminación existe una intensa actividad bacteriana, la cual, al degradar los compuestos orgánicos, consume mucho O_2 . Si el grado de contaminación es alto, la cantidad de O_2 llega a cero y el agua puede contener H_2S y varios componentes nitrogenados (amoníaco); en estas condiciones solo sobreviven ciertos protozoarios (Oikomonas).

A medida que la materia orgánica se degrada y se reduce al consumo de O_2 , la aireación y la reaparición de algunas plantas verdes hacen que se vuelva a elevar el contenido de oxígeno en el agua. Cuando el agua está muy contaminada, predominan los protozoarios consumidores de bacterias; sin embargo (ref 5), al reaparecer las plantas, se incrementa la cantidad de organismos herbívoros y carnívoros (ciliados y amebas).

Finalmente, se presenta una guía general acerca de la relación entre el predominio de ciertos protozoarios y la eficiencia de sistemas de tratamiento de lodos activados.

* Predominan los protozoarios sésiles

Sarcodina (ameboideos). Predominan rara vez; se encuentran únicamente en sistemas que empiezan, o que se recuperan de una completa toxicidad.



Phytomastigophorea (fitoflagelados). Predominan con baja eficiencia, cuando la concentración orgánica es alta.

Existe una polémica acerca del reino a que pertenecen los fitoflagelados, ya que tienen características específicas tanto del reino Plantae (realizan la fotosíntesis) como del Animalia (se desplazan libremente gracias a sus flagelos). Debido a lo anterior, se ha optado por incluir a estos organismos (junto con los demás protozoarios) dentro del reino Protista o Protoctista, con base en la clasificación de los seres vivos que propuso Whittaker (ref 9), la cual consta de cinco reinos:

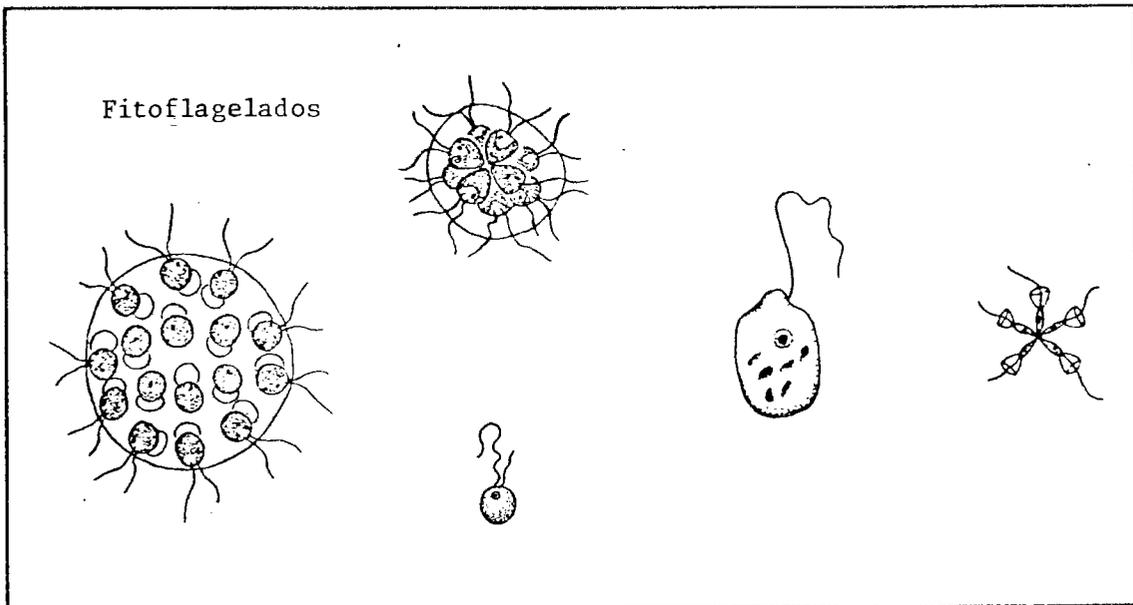
Reino Monera: organismos procariontes (bacterias y cianofitas)

Reino Protista: organismos unicelulares, eucariontes, cuyas características son únicas y diferentes de las de los organismos pertenecientes a los otros cuatro reinos. Incluye protozoarios, algas y algunos hongos myxomicetes

Reino Fungi: organismos eucariontes, sin clorofila. Aquí se encuentran casi todos los hongos (excepto myxomicetes)

Reino Plantae: eucariontes fotosintéticos. Abarca todas las plantas, excepto las algas

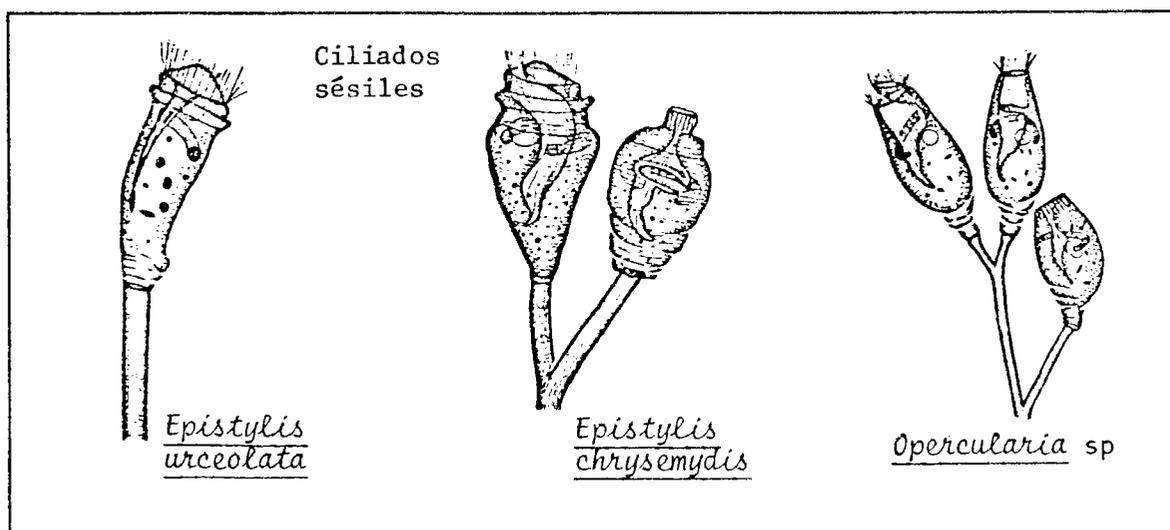
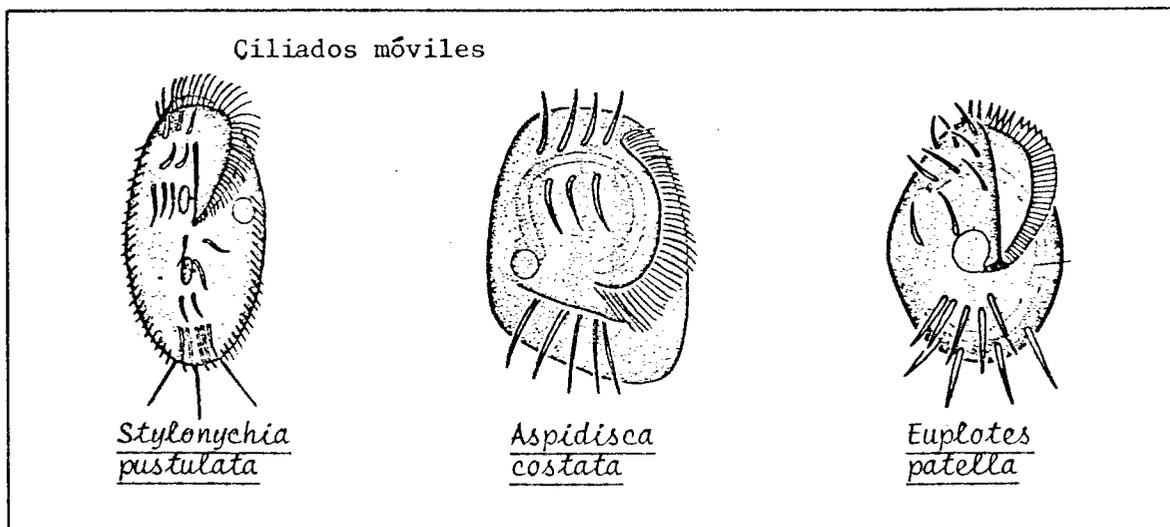
Reino Animalia: eucariontes, heterótrofos, pluricelulares. Incluye a todos los animales, excepto a los protozoarios.



Zoomastigophorea (zooflagelados). Su número aumenta conforme disminuye el de los fitoflagelados. Indican un ligero incremento en la eficiencia del sistema. (En el presente estudio no se observaron estos organismos).

Ciliata (ciliados). Miden la actividad bacteriana; sin embargo, como las bacterias reflejan las condiciones bioquímicas del sistema, los ciliados indican la eficiencia de este con bastante precisión.

Existen ciliados móviles y sésiles: los primeros denotan una eficiencia baja; los segundos, una alta. Los ciliados móviles aparecen antes que los sésiles, y se presentan cuando hay muchas bacterias; si su número es elevado, el sistema trabaja con una eficiencia de 50 por ciento. Cuando los ciliados sésiles son abundantes, la eficiencia alcanza 90 por ciento (ref 1).



Se concluye que los protozoarios se pueden utilizar como indicadores de la calidad de efluente de sistemas de tratamiento de lodos activados, en sustitución de las pruebas físico-químicas tradicionales. Así, la disminución repentina de una determinada especie puede señalar la presencia de compuestos tóxicos, cambios en el pH, temperatura, oxígeno, etc.

6. RECONOCIMIENTO

Se agradece a Rosa Martha Pérez-Sandi su valiosa colaboración en la revisión y corrección de este trabajo, y a Francisco Romero L sus oportunos comentarios.

7. REFERENCIAS

1. Curds, C R y Cockburn, A, "Protozoa in biological sewage-treatment processes", I. A survey of the protozoan fauna of british percolating filters and activated- sludge plants, II. Protozoa as indicators in the activated- sludge process, *Water Research*, Vol 4, Gran Bretaña (1970), 225-236 y 237-249
2. Pike, E B y Curds, C R, "The microbiological ecology of the activated-sludge process", *Microbiological Aspects of Pollution*, Vol I, Academic Press, Nueva York (1971), 123-147
3. Cramer, R, "The role of Protozoa in activated-sludge", *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol 23, No 3, EUA (1931), 309-313
4. Levine, H *et al*, "A newly revised classification of the Protozoa", *Journal of Protozoology*, Vol 27, No 1 (1980), 37-57
5. Sleight, M, *Biología de los protozoarios*, Blume, España (1979)
6. Jahn, T L, *How to know the Protozoa*, W M G Brown Co Publishers, Iowa, EUA (1980)
7. Kudo, R, *Protozoología*, CECSA, México (1982)

8. Needham, J G y Needham, P R, *Guía para el estudio de los seres vivos en las aguas dulces*, Reverté, S A, México (1978)
9. Whittaker, R H, "New concepts of kingdoms of organisms", *Science*, Vol 163, EUA (1969), 150-160
10. Pelczar, M *et al*, *Microbiología*, Mc Graw-Hill, México (1982)

8. BIBLIOGRAFIA

Bernis Mateu, F J, *Atlas de Microscopia*, Ediciones Jover, S A, Barcelona (1982)

González, S, "Estudio de la tratabilidad de los desechos líquidos del proceso de nixtamalización", Informe interno, *Instituto de Ingeniería, UNAM*, México, D F (1983)

Hartmut, B, "An illustrated guide to ciliated Protozoa used as biological indicators in freshwater ecology", *World Health Organization*, Vol I-IX, EUA

Hughes, D E y Stafford, D A, "The microbiology of the activated-sludge process", *Critical Reviews in Environmental Control*, EUA (1976), 233-257

Jenkins, S H, "Role of Protozoa in the activated-sludge process", *Nature*, Vol 150, No 3812, EUA (1942), 607

Mc Kinney, R y Gram, A, "Protozoa and activated-sludge", *Biology of Sewage and Industrial Wastes Treatment*, Vol 28, EUA (1956), 252-261

Owen, S O, *Conservación de los recursos naturales*, la edición, PAX-MEX, México (1977)

Streble, H y Krauter, D, *Das leben im Wassertropfen*, 6a edición, Editorial Kosmos-Franckh, Stuttgart (1982)

Ville A C, *Biología*, 6a edición, Interamericana, México (1974)

APENDICE A

Se presenta una clasificación de organismos según su tamaño (de mayor a menor), en la cual se incluyen las lentes y el tipo de microscopio recomendados para identificarlos.

Medidas	Organismos	Grupos taxonómicos y elementos constitutivos	Lentes	Microscopios
500 μ	Rotífero	Rotíferos	10-20x	↑
400 μ	Nematodo	Nematodos	10-20x	
300 μ	<i>Stylonychia</i> sp	Protozoarios	40x	Microscopio de luz
200 μ	<i>Trachelocerca</i> sp			
170 μ	<i>Tokophrya</i> sp			
160 μ	<i>Epistylis</i> sp			
150 μ	<i>Euplotes</i> sp			
75 μ	<i>Volvox</i> sp			
65 μ	<i>Opercularia</i> sp		40x	
50 μ	<i>Pandorina</i> sp		40x	
40 μ	<i>Aspidisca</i> sp		40x	
20 μ	<i>Oikomonas</i> sp		40-100x	
10 μ		Células hemáticas	40-100x	Microscopio electrónico
1 μ	Bacterias	Bacterias	40-100x	
100 nm a 1 nm		Virus Macromoléculas Moléculas		UV
1 Å		Atomos		↓

APENDICE B

Se presentan los organismos por orden de aparición y se anotan sus características morfológicas más evidentes, alimentación, distribución y condiciones óptimas de supervivencia. Las características, corresponden al género (pueden variar según la especie).

Bacterias

Son organismos procariontes. Existen varios tipos según su forma: cocos, diplococos, espiroquetas, estafilococos, estreptococos, bacilos, etc. Se alimentan de materia orgánica en descomposición. Habitan en cualquier lugar donde encuentran alimento. Las espiroquetas tienen un movimiento característico de tirabuzón debido a su forma alargada.

Flagelados

Phytomastigophorea (flagelados con cloroplasto)

Volvox sp. Colonia esférica de células iguales. Cada célula posee dos flagelos y un cloroplasto. Las células se unen entre sí mediante filamentos citoplasmáticos. Se alimentan de material orgánico en descomposición.

Pandorina morum. Colonia de células que mide aproximadamente entre 20 y 50 μ . Es esférica y vive en agua dulce.

Oikomonas sp. Organismo que mide entre 5 y 20 μ . Puede habitar solo o en colonias. Su forma es ovalada. Se enquista cuando el medio le es desfavorable. Vive en aguas estancadas o en suelo húmedo. Se alimenta de materia orgánica en descomposición.

Todos estos organismos, por el hecho de tener cloroplastos, pueden alimentarse de manera autótrofa.

Ciliados

Stylonychia sp. Mide entre 100 y 300 μ . Su cuerpo es aplanado dorsoventralmente. La región dorsal tiene pequeños cilios; la ventral posee cirros acomodados en grupos característicos. Se alimenta de algas, flage

lados y ciliados más pequeños. Se encuentra en charcos, lagos, ríos, etc. Sus condiciones óptimas de vida son:

Temperatura	2	a	25 °C
pH	4.0	a	8.4
O ₂ (OD)	0	a	9.2 mg/l
CO ₂ libre	0	a	205 mg/l
NH ₄ ⁺	0	a	26 mg/l
NH ₃ libre	0	a	3 mg/l

Euplotes sp. Mide entre 80 y 150 μ. Su cuerpo es aplanado dorsoventralmente. Presenta cirros. Puede tener zooclorelas simbiotes. Se alimenta de flagelados, algas, otros ciliados y colonias bacterianas. Habita en plantas y animales en descomposición, charcos, lagos y aguas dulces. Sus condiciones óptimas son:

Temperatura	0	a	25 °C
pH	5.7	a	8.2
O ₂ (OD)	0	a	12 mg/l
CO ₂ libre	0	a	66 mg/l
NH ₄ ⁺	0	a	10 mg/l
H ₂ S	0	a	1 mg/l

Aspidisca sp. Mide entre 25 y 40 μ. Su forma es ovoide y su cuerpo no plástico. La región ventral es plana y tiene cirros y membranela. La región dorsal es convexa. Se alimenta de bacterias. Se encuentra en lodos activados, filtros, etc. Sus condiciones óptimas son:

Temperatura	0	a	30 °C
pH	5.4	a	9.4
O ₂ (OD)	0.1	a	12.0 mg/l
DBO ₅	1.9	a	21.0 mg/l
CO ₂ libre	0.1	a	12.0 mg/l
NH ₄ ⁺	0	a	31.0 mg/l

NH ₃ libre	0	a	2.3 mg/l
NO ₂ ⁻	0	a	51.0 mg/l

Trachelocerca sp. Su cuerpo es alargado, aplanado y flexible. Posee una vacuola contráctil terminal. El extremo anterior tiene forma de cuello. Vive en agua dulce y se alimenta de bacterias.

Epistylis sp. Mide entre 70 y 160 μ; la colonia puede alcanzar hasta 3 mm de longitud. Tiene forma de campana alargada. El tallo no es contráctil. Se alimenta de bacterias. Se encuentra en ríos, lagos, y adherido a plantas y caracoles de agua dulce.

Sus condiciones óptimas son:

Temperatura	4	a	25 °C
pH	6.5	a	7.5
NH ₄ ⁺	0	a	10 mg/l
O ₂ (OD)	2	a	12 mg/l
CO ₂ libre	0	a	8 mg/l

Opercularia sp. Mide entre 50 y 100 μ. Las colonias contienen de 3 a 6 organismos. Se alimenta de bacterias. Vive en aguas lentas y ricas en bacterias y materias orgánica en descomposición. Se adhiere a conchas, plantas, etc. Sus condiciones óptimas son:

Temperatura	4	a	25 °C
pH	6.5	a	8.0
O ₂ (OD)	2	a	12 mg/l
NH ₄ ⁺	0	a	12 mg/l

Vorticella sp. Mide entre 50 y 150 μ. El pie es contráctil y cada organismo está adherido directamente al sustrato. Tiene forma de campana invertida. Puede encontrarse en agua dulce o salada. Se alimenta de bacterias.

Los ciliados presentan un amplio intervalo de resistencia, superior e inferior a sus condiciones óptimas; esto les permite sobrevivir a pesar de ciertas modificaciones del medio ambiente (temperatura, pH, luminosidad, etc); por tanto, son organismos cuvitermos.

Suctores

Tokophrya sp. Es móvil durante su etapa juvenil; al pasar a la etapa adulta, se vuelve sésil. Se alimenta de ciliados, a los cuales succiona con sus tentáculos.

Rotíferos

Rotaria sp. Organismo de agua dulce que posee dos dedos en la región posterior. Es alargado y tiene dos coronas ciliares juntas en la región anterior. Se alimenta de ciliados.

Nematodos

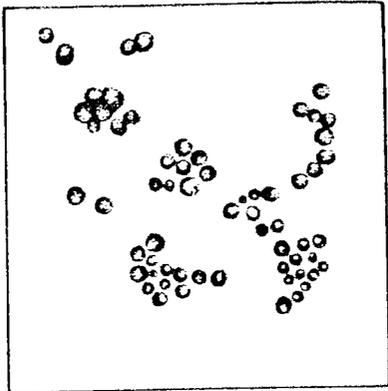
Nematoda. Organismo vermiforme; su cuerpo es redondeado, con ambos extremos afilados. Pertenece al grupo de los pseudocelomados.

(En algunos casos no se indican las condiciones óptimas de vida de los microorganismos porque no se encontraron en la bibliografía consultada.)

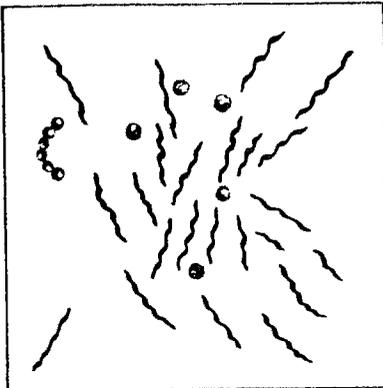
APENDICE C

Se ilustra una secuencia de microorganismos presentes en los reactores de lodos activados.

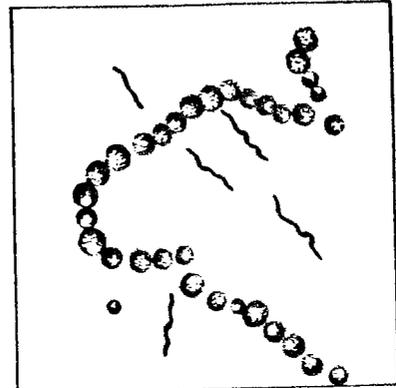
1. Bacterias (ref 10)



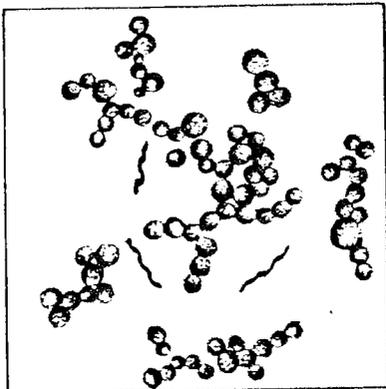
1.1 Cocos



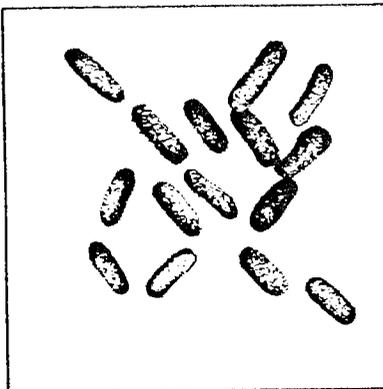
1.2 Espiroquetas



1.3 Estreptococos



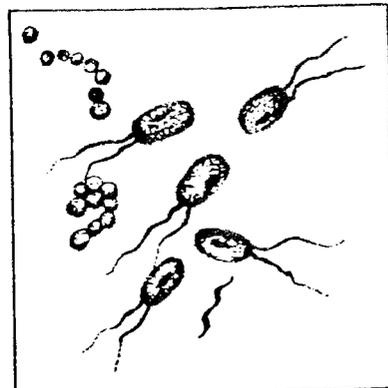
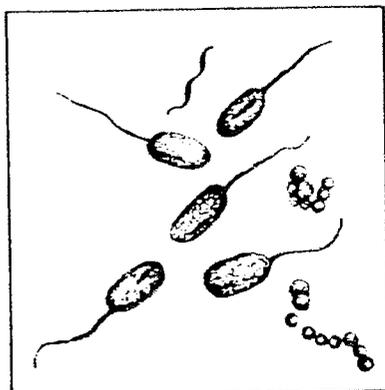
1.4 Estafilococos



1.5 Bacilos



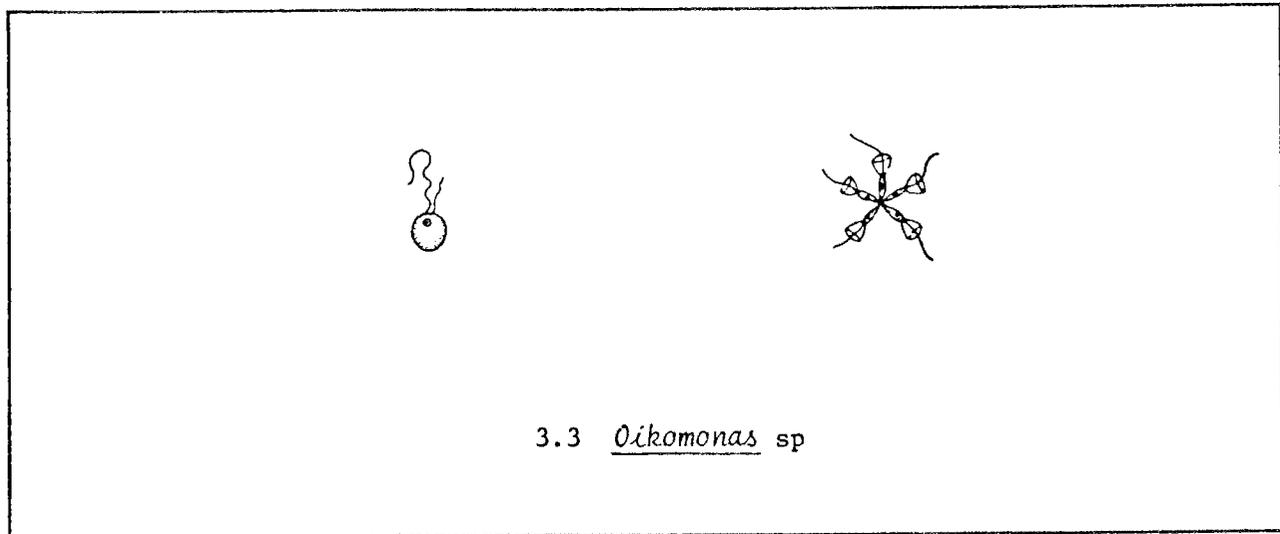
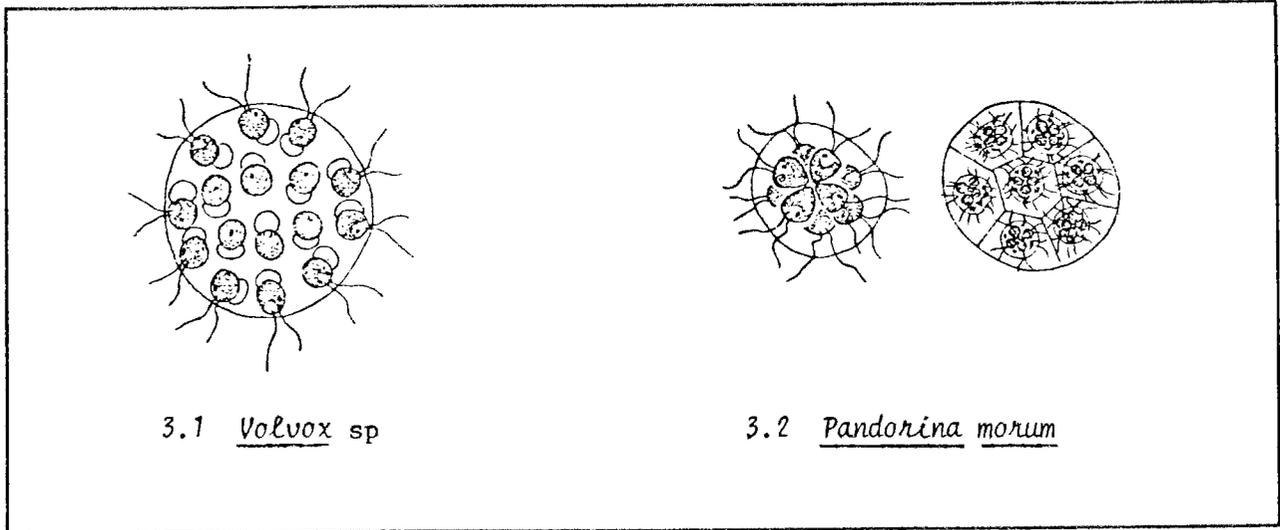
1.6 Diplococos



1.7 Bacterias flageladas

2. Sarcodina (amebas). No se observó ninguna

3. Phytomastigophorea (ref 6)

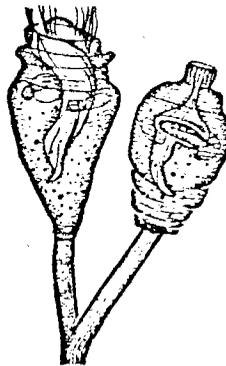


4. Zoomastigophorea. No se observó ninguna

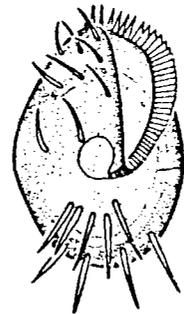
5. Ciliophora (ref 6)



5.1 Stylonychia
pustulata
(móvil)



5.2 Epistylis
chrysemydis
(sésil)



5.3 Euplotes
patella
(móvil)



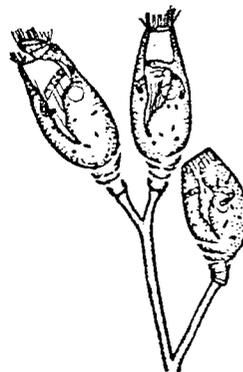
5.4 Epistylis
urceolata
(sésil)



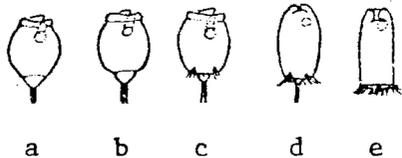
5.5 Aspidisca
costata
(móvil)



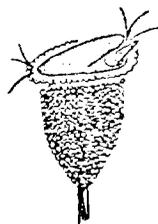
5.6 Trachelocerca sp
(móvil)



5.7 Opercularia
sterostoma
(sésil)



5.8 Desarrollo del tele
troco (d y e fueron
observados por los
autores)

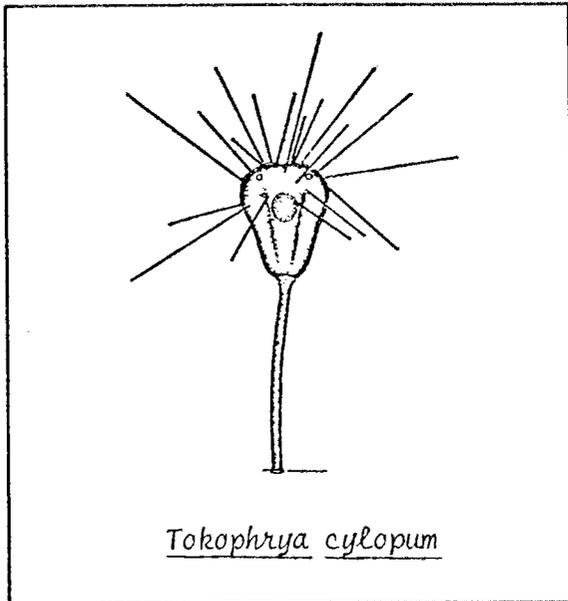


5.9 Vorticella
campanula

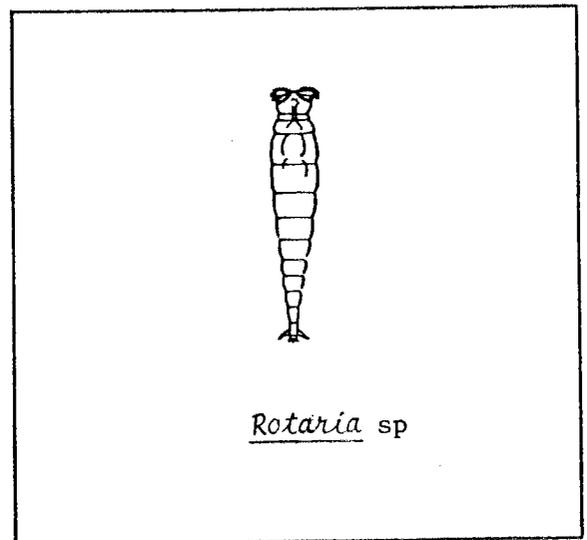


5.10 Vorticella
microstoma

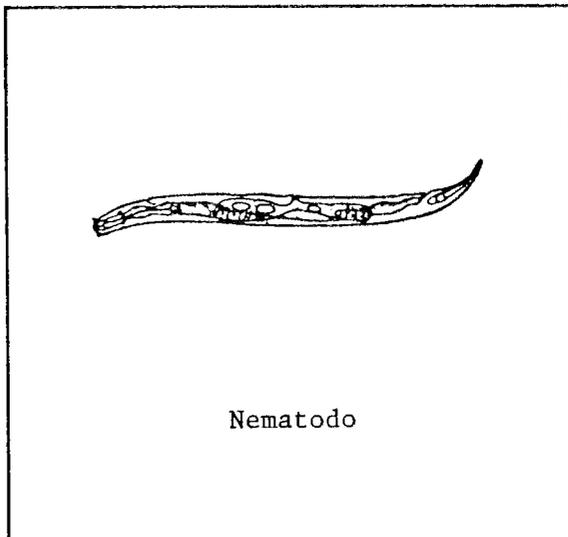
6. Suctorida (ref 6)



7. Rotífera (ref 8)

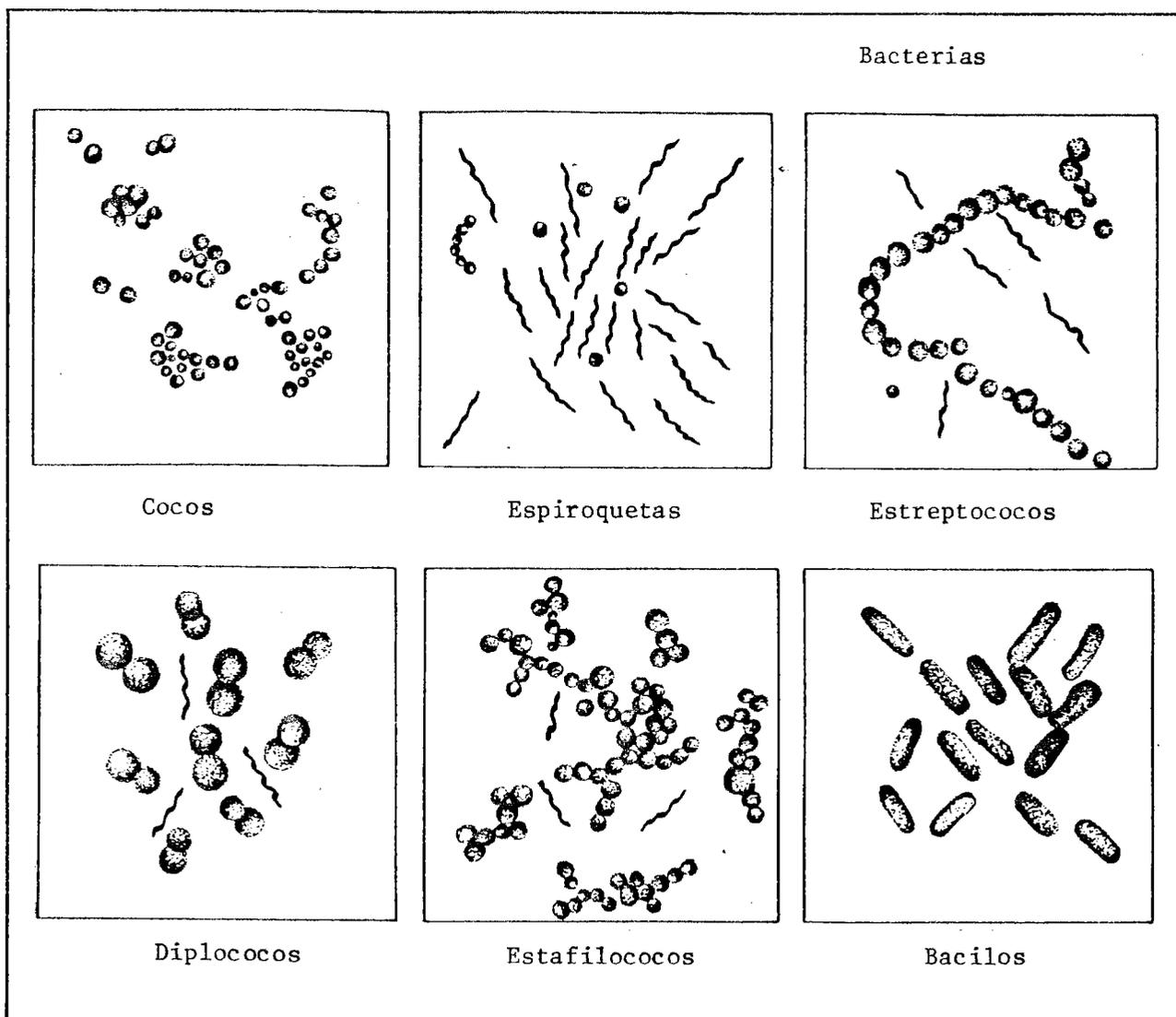
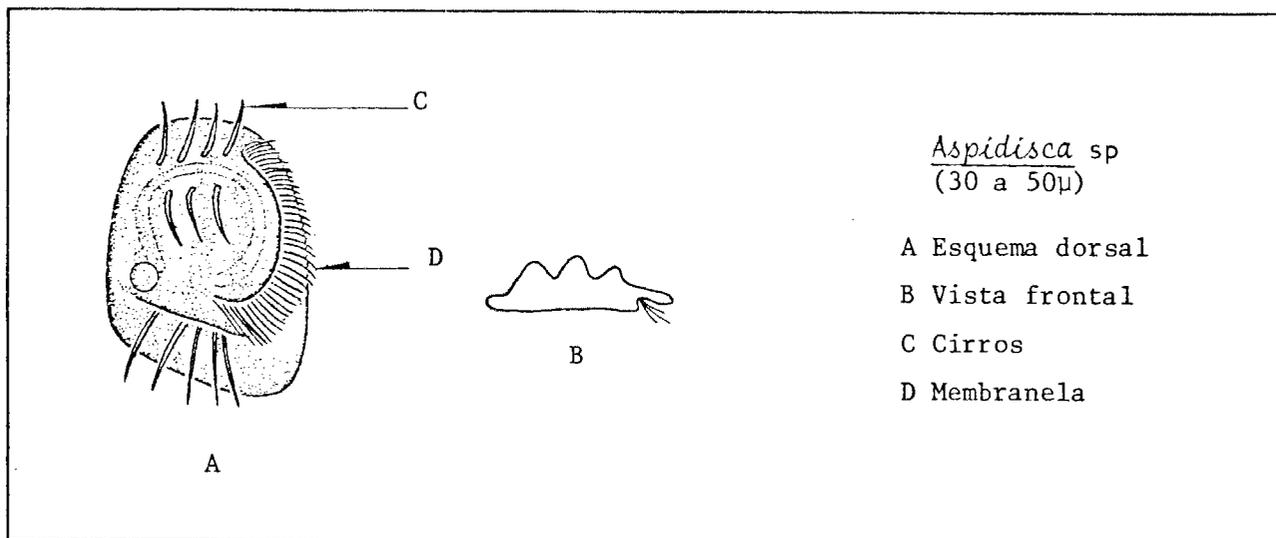


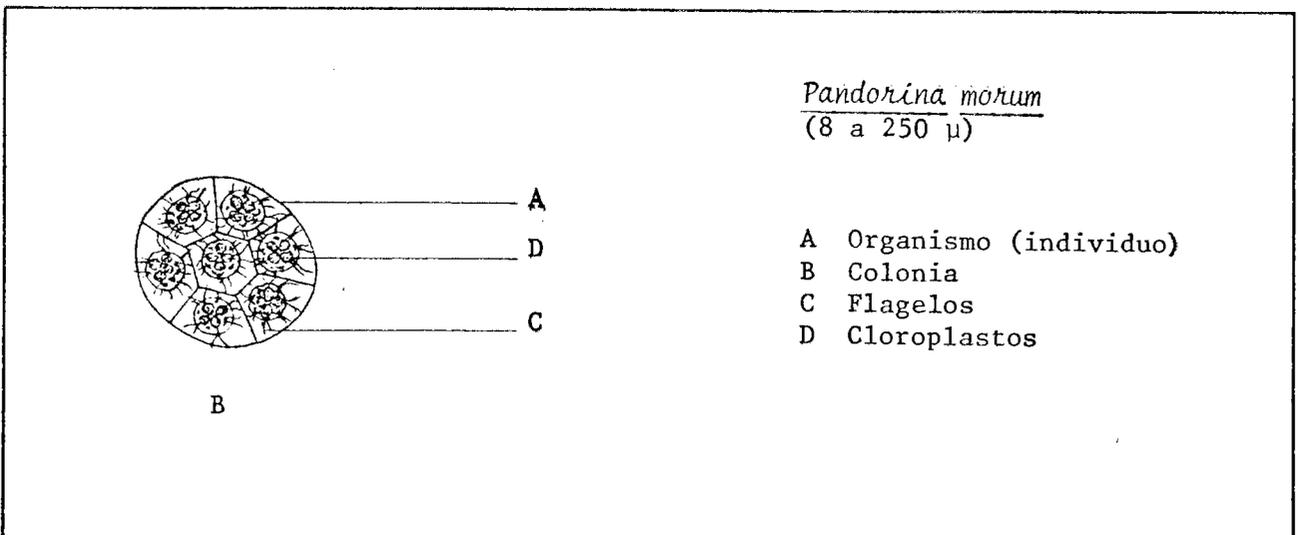
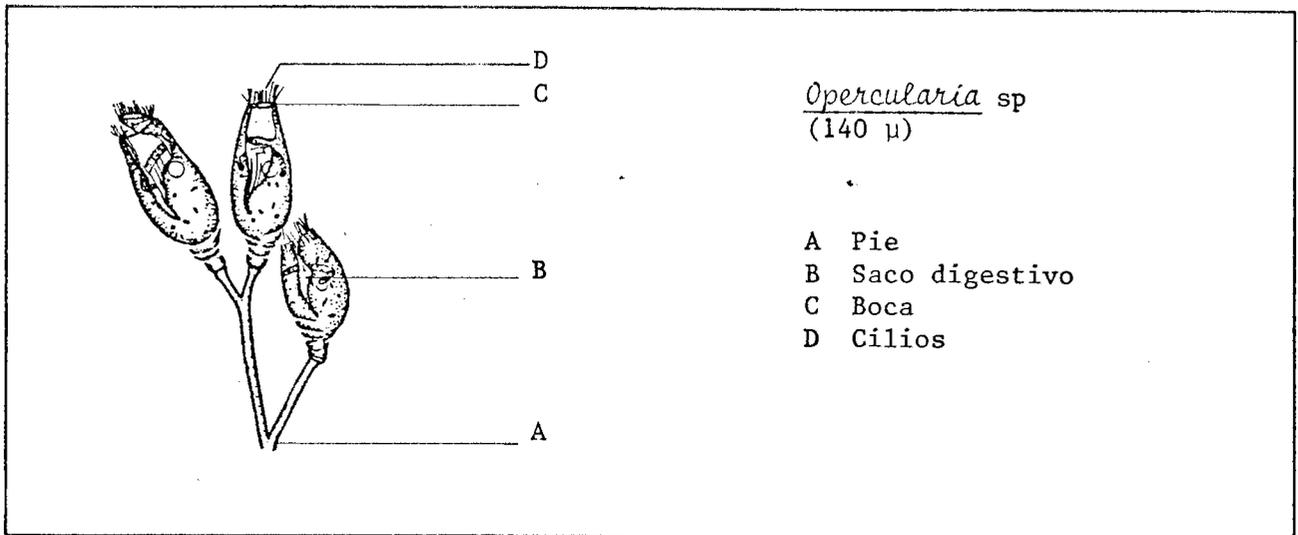
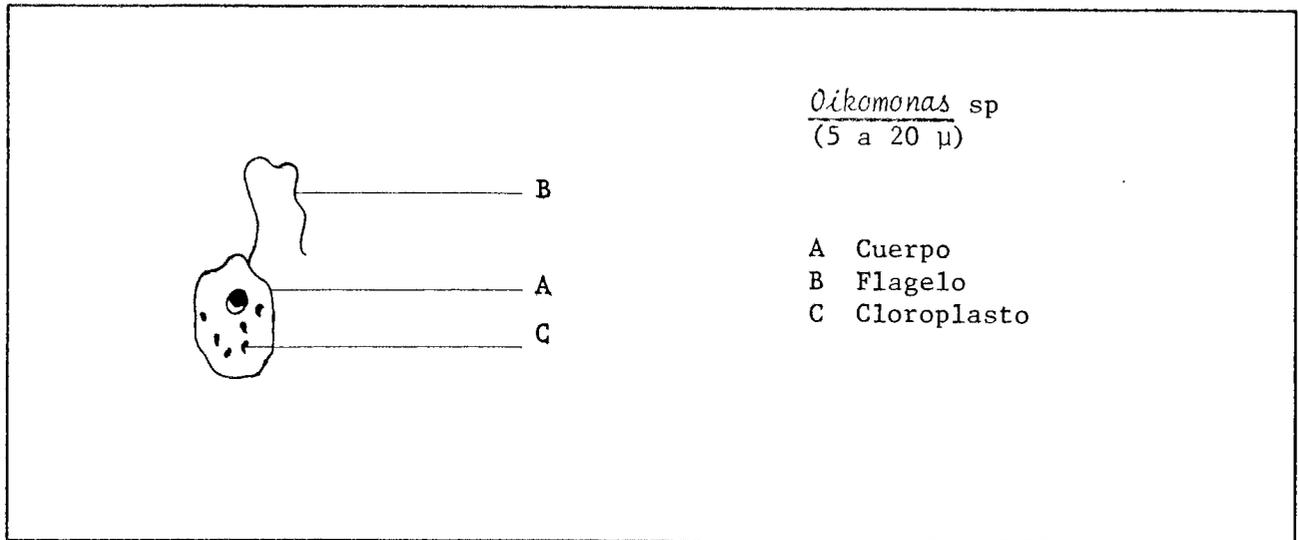
8. Nematoda (ref 8)

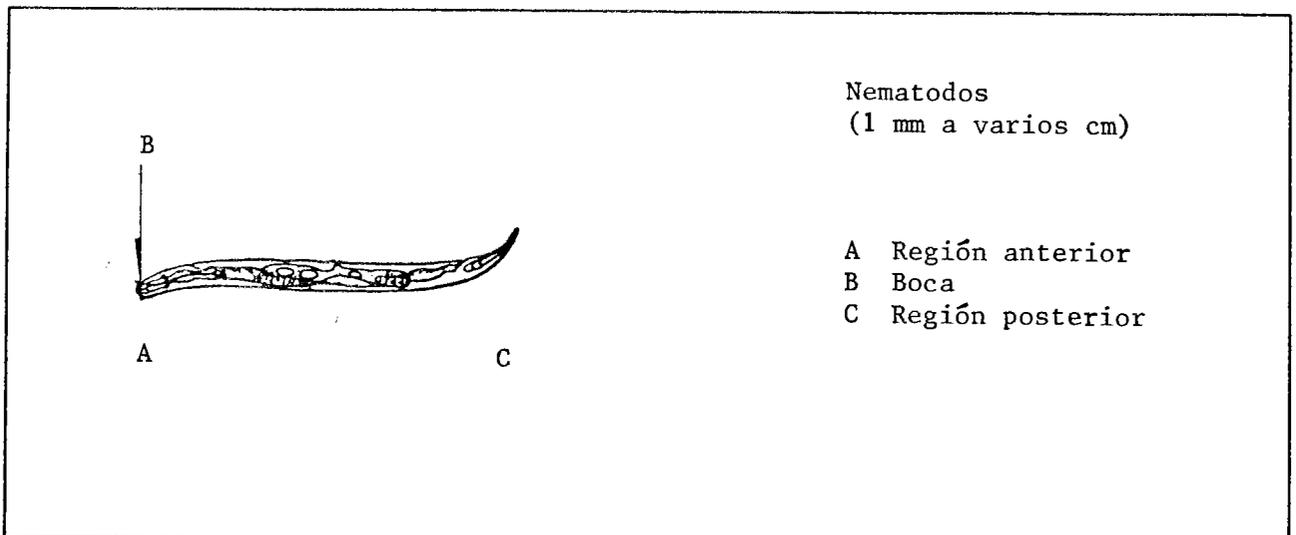
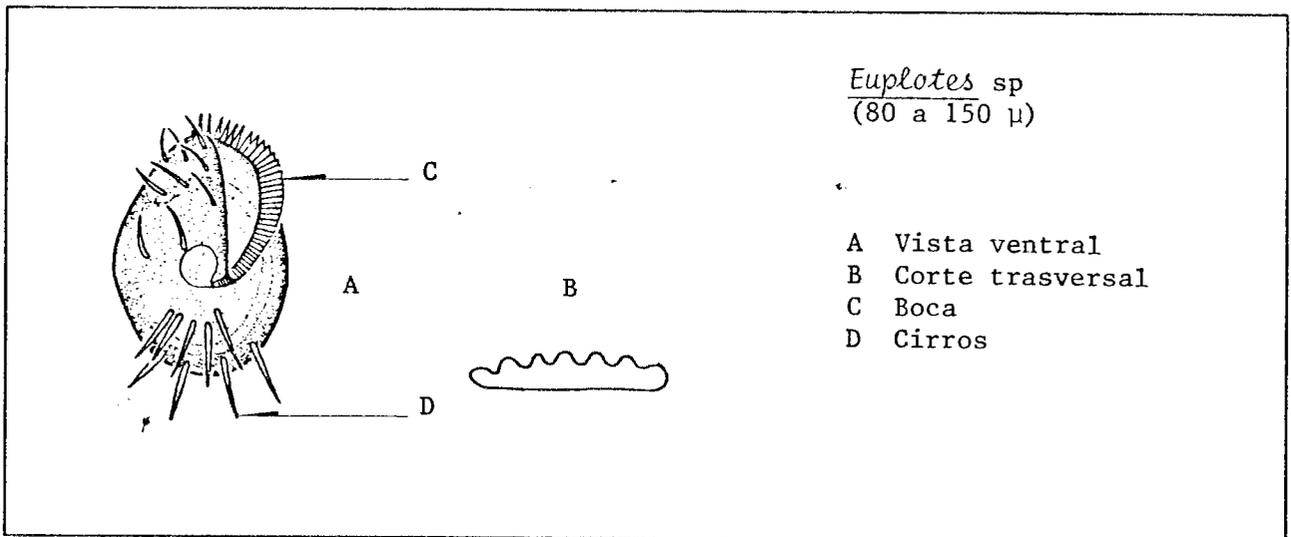
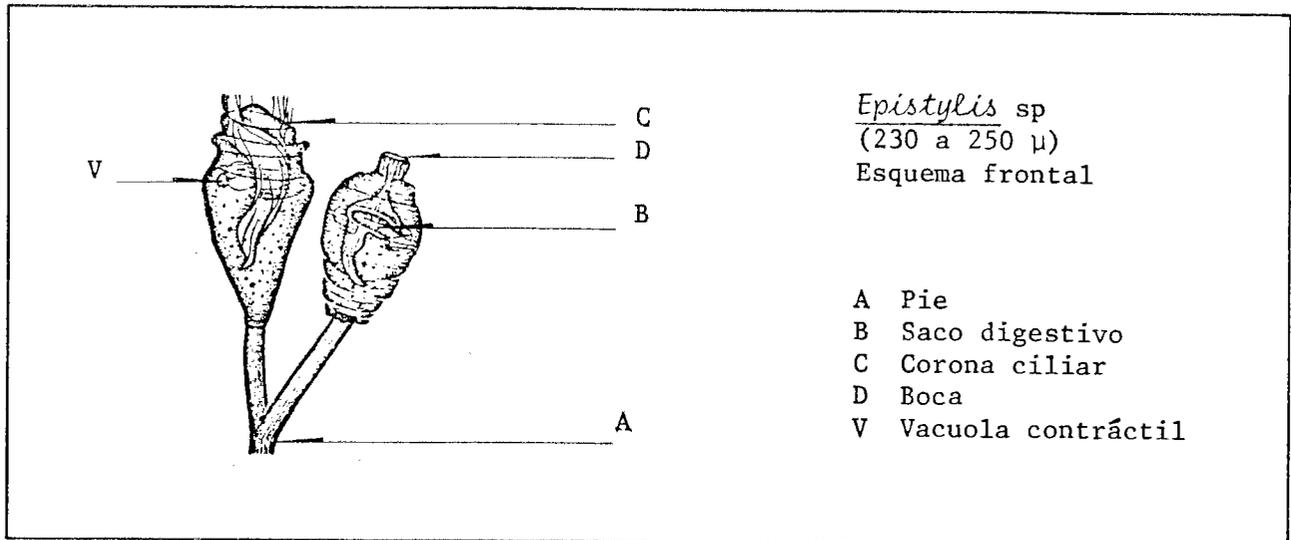


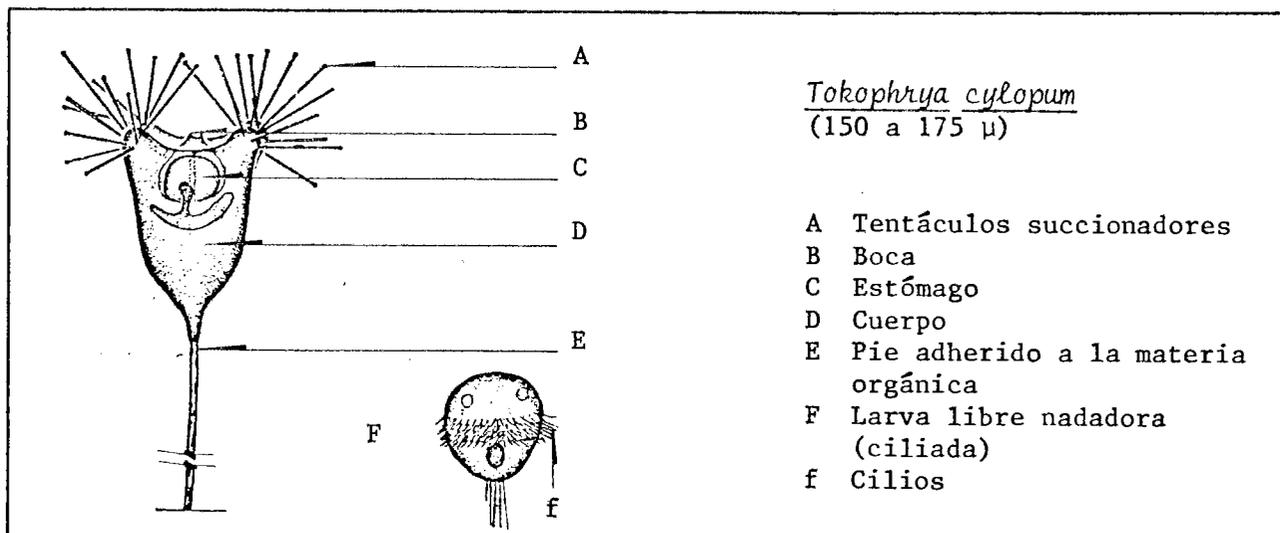
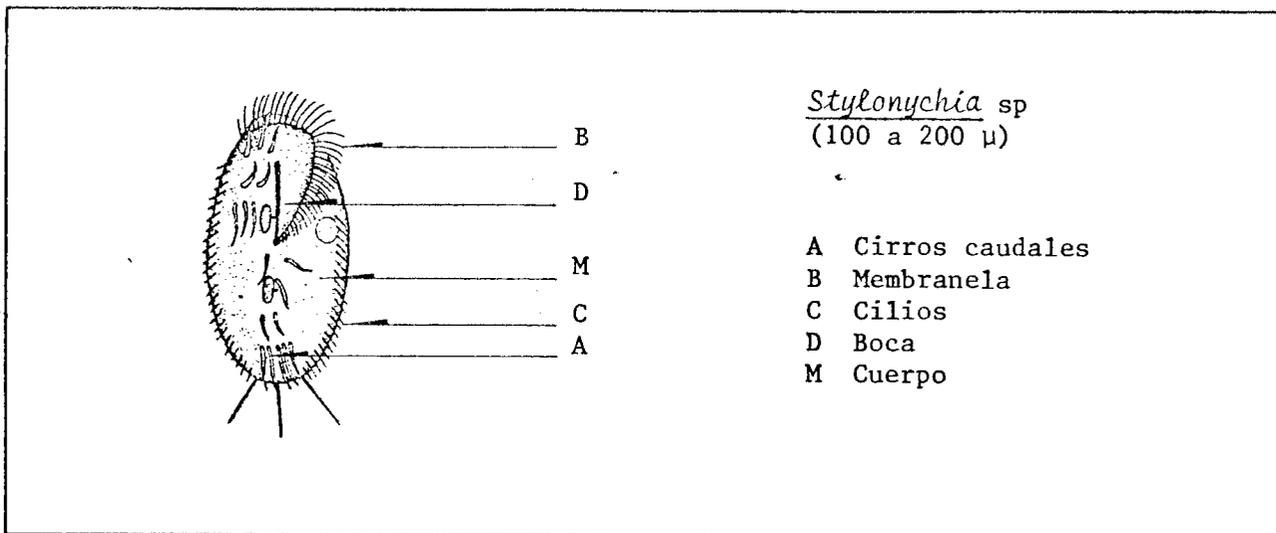
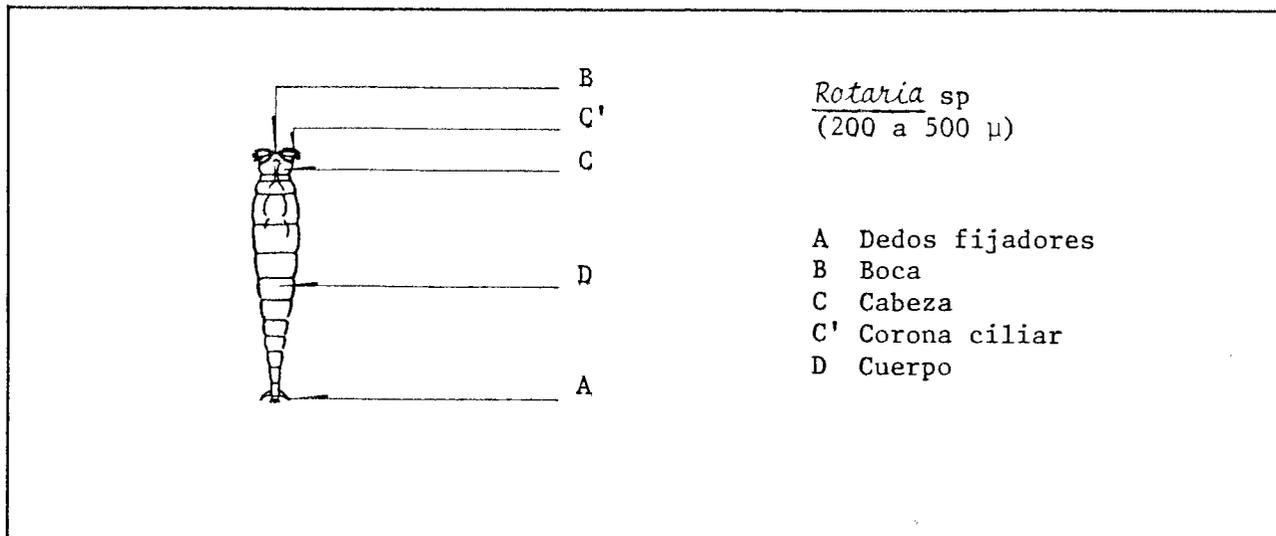
APENDICE D

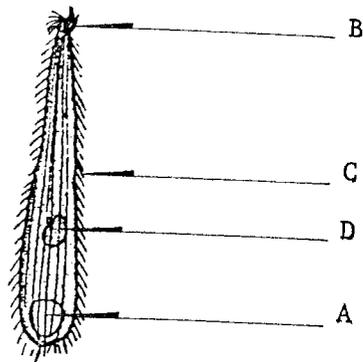
Se presentan, en orden alfabético, esquemas de los organismos identificados. Los dibujos corresponden al género, ya que los micorganismos pueden variar en pequeñísimos detalles según sea su especie.





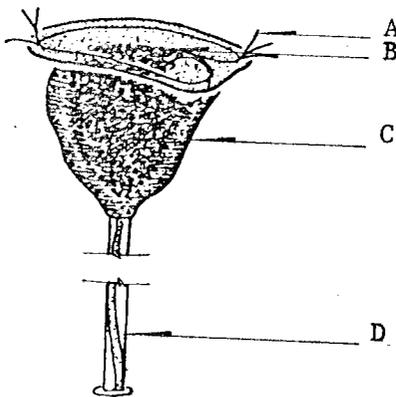




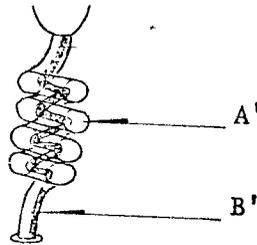


Trachelocerca sp
(140 μ)

- A Vacuola contráctil
- B Boca
- C Cilios
- D Vacuola digestiva

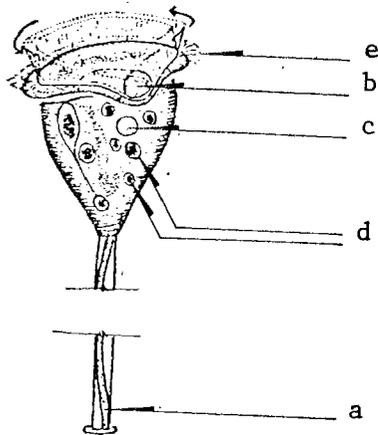


Vorticella sp
(50 a 150 μ)



- A Cilios
- B Boca
- C Cuerpo
- D Pie

- A' Pie encogido
- B' Pie



- a Pie
- b Boca
- c Vacuola contráctil
- d Vacuola alimenticia
- e Cilios

APENDICE E

Se presentan, en orden filogenético, fotografías de los microorganismos (plantas y animales) observados en la investigación.

E.1 Plantas



1.1 Alga

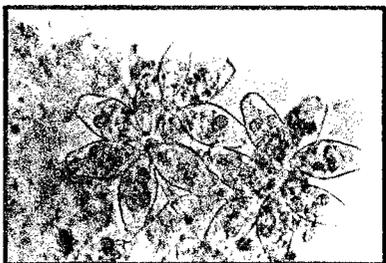


1.2 Alga

E.2 Animales

Stylonychia sp

2.1 Ciliado móvil

b) Epistylis spa) Opercularia sp

2.2 Ciliados sésiles

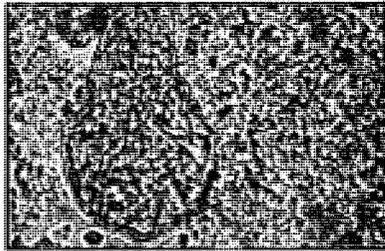
c) Epistylis sp



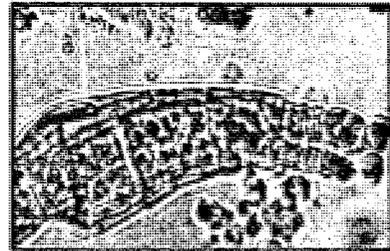
2.3 Protozoario suctor



2.4 Nematodo

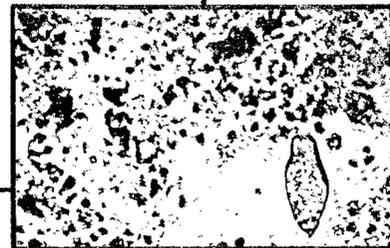
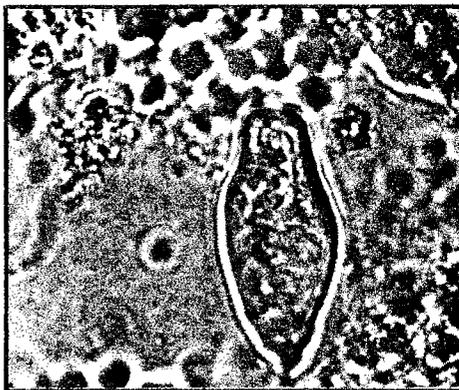


a) Encogido

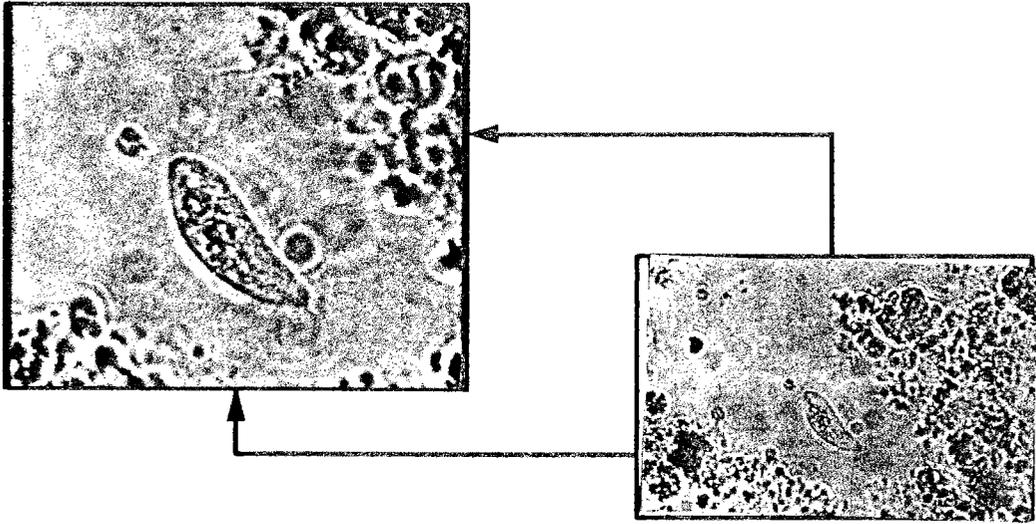


b) Comiendo

2.5 Rotíferos



a) Vorticella sp



b) Trachelocerca sp

2.6 Telotrocos

GLOSARIO

AEROBIOS. Organismos que necesitan O_2 libre para sobrevivir. Por ejemplo: plantas y animales.

BACTERIAS. Organismos procariontes, unicelulares y microscópicos que se alimentan de materia orgánica en descomposición. De acuerdo con su forma y agregados se clasifican en: cocos, bacilos, espiroquetas, estafilococos, estreptococos, etc.

CADENA ALIMENTICIA. Es una transferencia de energía y nutrientes a través de una sucesión de organismos, que se lleva a cabo por la repetición del proceso de comer y ser comido.

CICLOTROFICO. Se refiere a la cadena alimenticia, donde todos los organismos funcionan como cazadores y como presas.

CILIADOS. Organismos que se mueven por medio de cilios. Pueden ser sésiles (Epistylis) o móviles (Euplotes).

CILIO. Orgánulo locomotor de algunos protozoarios. Es más corto que el flagelo y generalmente existen muchos en el organismo que los presenta.

CIRRO. Es más grueso que un cilio; funciona como timón y sujetador. Lo presentan Stylonychia, Aspidisca, etc.

CLASIFICACION TAXONOMICA. Es un sistema de ordenamiento de organismos según sus características evolutivas. Dentro de la clasificación taxonómica hay diferentes jerarquías que van de las características generales (reino, phylum, clase) a las más particulares (género, especie).

CLOROPLASTO. Orgánulo dentro del cual se encuentra la clorofila; en su interior se realiza la fotosíntesis.

COMUNIDAD. Grupo natural de organismos diferentes que habitan en un medio común, tienen relaciones recíprocas (sobre todo desde el punto de vista nutritivo) y son relativamente independientes de otros grupos.

CONSUMIDOR. Organismo que se alimenta de otros. Por ejemplo: tigre, hombre, conejo, vaca, etc.

CORONA CILIAR. Es un círculo de cilios que se encuentra en la región anterior del organismo. Es típica de los rotíferos.

DETRITOS. Partículas pequeñas de origen orgánico o inorgánico, resultado de la descomposición de una masa sólida.

DIATOMEA. Cualquiera de las algas unicelulares, vivientes en el mar, en el agua dulce o en la tierra húmeda, que tienen un caparazón silíceo formado por dos valvas de tamaño desigual.

ENQUISTAMIENTO. Se presenta cuando un organismo adulto se protege de condiciones adversas, formando una estructura llamada quiste.

ESLABON TROFICO. Es un escalón dentro de la cadena alimenticia.

EUCARIONTES. Organismos que tienen su material genético (DNA) dentro de una membrana nuclear (protozoarios, plantas y animales).

FACTORES ECOLOGICOS. Son aquellos que afectan directamente a los seres vivos: humedad, temperatura, luz, etc.

FILAMENTOS CITOPLASMICOS. Prolongaciones muy finas del citoplasma; se presentan típicamente en amebas.

FLAGELADOS. Organismos que se mueven por medio de uno o más flagelos; pueden ser fitoflagelados (en su interior tienen cloroplastos, como Volvox) o zooflagelados (carecen de cloroplastos).

FLAGELO. Orgánulo locomotor de algunos protozoarios. Es más largo que el cilio y generalmente solo existen uno o dos en los organismos que los presentan. Su movimiento es en forma de látigo.

HETEROTROFO. Organismo que obtiene su alimentación de la ingestión y degradación de materia orgánica.

HOLOZOICO. Obtención de alimento por ingestión completa de la materia orgánica. Es una forma de alimentación común en la mayoría de los animales.

LATENCIA. Estado en el cual un organismo reduce al mínimo sus actividades metabólicas.

MEMBRANELA. Conjunto de cilios que forman una membrana. Se presenta en Stylonychia.

MICRA. La milésima parte de un milímetro. Se indica con el símbolo μ ($1 \mu = .001 \text{ mm}$).

NEMATODOS. Organismos con forma de gusano, cuyos extremos son generalmente afilados.

pH. Se define como la concentración de iones hidrógeno (H^+) en una solución; permite saber si dicha solución es ácida o básica.

PROCARIOTES. Organismos cuyo material genético no se encuentra dentro de una membrana nuclear. Incluyen únicamente a bacterias y cianofitas.

PRODUCTOR. Organismo autótrofo (fotosintético) que transforma la energía lumínica en química. Por ejemplo: plantas verdes.

PROTISTA. Grupo taxonómico que incluye a protozoarios, algas y hongos eucariontes.

PSEUDOCELOMADO. Organismo que no posee un celoma verdadero. Por ejemplo: rotíferos, nematodos, etc.

QUISTE. Estructura de resistencia que forma un organismo adulto en condiciones ambientales desfavorables.

SAPROFITO. Organismo que se alimenta de materia orgánica en descomposición.

SIMBIOSIS. Se presenta cuando un organismo vive sobre o dentro de otro y ambos se benefician.

sp. Indica que la especie no fue identificada. Si hay más de una especie no identificada, se pone spp.

SUCESION BIOLÓGICA. Reemplazo ordenado y predecible de una comunidad de organismos (vegetales o animales) por otra más compleja.

TELOTROCO. Estado larvario de ciliados sésiles como Vorticella, Epistylis, etc.

VACUOLA CONTRACTIL. Es una "bolsita" interior del organismo que le ayuda a mantener un equilibrio osmótico con el ambiente que le rodea.

ZOOCLORÉLAS. Algas clorofíceas, unicelulares, endosimbiontes en animales (Sarcodina, Infusorios, Celenterados, Turbellarios).

INSTITUTO DE INGENIERIA

Sección editorial

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria

Coyoacán 04510, México, D F

Las *Series del Instituto de Ingeniería* publican trabajos de importancia producidos por los investigadores (ordinarios y visitantes) del propio Instituto. Se trata de contribuciones que, por su tema o extensión, no cabe que se publiquen en revistas científicas o libros.

Las *Series* constan de tres colecciones que se distinguen por su numeración y el color de sus cubiertas: 1) la serie ordinaria, en español, con cubierta azul y numeración natural, que publica trabajos de interés universal pero frecuentemente motivados por problemas nacionales; 2) la serie en lenguas extranjeras (inglés o francés), con cubierta gris y numeración precedida por la letra E, con trabajos sobre cuestiones de gran interés internacional o preparados con motivo de la participación en eventos de ese ámbito (suelen publicarse en esta colección preimpresos y sobretiros); 3) la serie orientada a la docencia, con cubierta ocre y numeración precedida de la letra D, que publica monografías sobre temas básicos de la ingeniería en respuesta a las necesidades de textos apropiados para algunos cursos universitarios.

Cada fascículo de las *Series* se publica con la aprobación técnica del Comité de Publicaciones del Instituto, basada en opiniones de árbitros internos y externos.

Todos los fascículos de las *Series del Instituto de Ingeniería* se venden al costo de impresión.