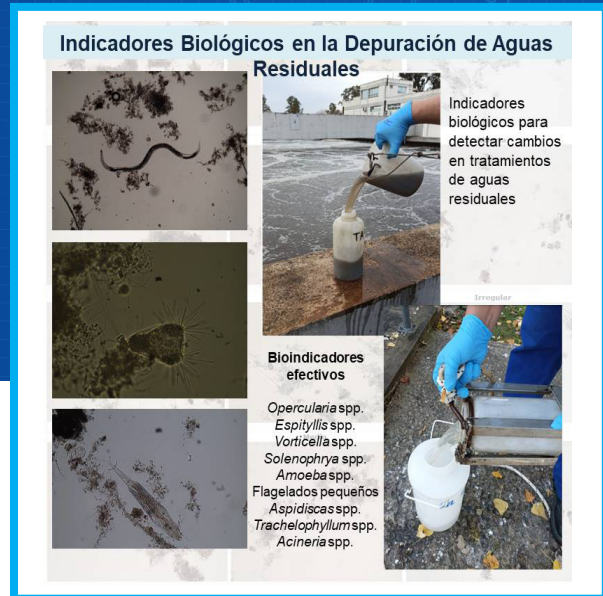


Evaluación de la calidad de depuración de líquido residual domiciliario mediante bioindicadores

Ionno, V.; Iglesias, G.

Laboratorio de Bioindicadores y Remediación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Flores

Contacto: valeria.ionno@uflouniversidad.edu.ar; Gabriela.y.iglesias@gmail.com



RESUMEN

Se caracterizan los microorganismos presentes en las zanjas de oxidación de una planta depuradora de aguas residuales domésticas. El propósito subyacente es evaluar la adecuada operación del proceso de tratamiento y la calidad del agua que se descarga en el cuerpo receptor, en este caso, el río Reconquista. Para alcanzar este objetivo, se llevaron a cabo una serie de ensayos que abarcan la medición de la sedimentación del lodo, el contenido de sólidos en suspensión (MES), la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO5), el oxígeno disuelto, el pH, entre otros parámetros de interés de estudio. Asimismo, se realizó la observación del licor mezcla bajo un microscopio, para la cuantificación de los microorganismos presentes en el tratamiento biológico y su relación con la calidad del efluente, con el fin de establecer medidas de control mediante indicadores biológicos.

ABSTRACT

We characterize microorganisms present in the oxidation ditches of a domestic wastewater treatment plant. The underlying purpose is to evaluate the adequate operation of the treatment process and the quality of the water that is discharged into the receiving body, in this case, the Reconquista River. To achieve this objective, a series of assays were conducted, including measurements of sludge sedimentation, suspended solids content (TSS), chemical oxygen demand (COD), 5-day biochemical oxygen demand (BOD5), dissolved oxygen, pH, among other parameters of interest for study. Additionally, observation of the mixed liquor under a microscope was performed to quantify the microorganisms present in the biological treatment and their relationship with effluent quality, aiming to establish control measures using biological indicators.

Palabras clave: Aguas residuales, microorganismos, contaminación, lodos activados, bioindicadores

INTRODUCCIÓN

El constante incremento poblacional acompañado de la creciente industrialización, ha incidido en el aumento de la demanda y consumo de agua dulce, generando un aumento en los caudales de aguas servidas [1]. Las constantes perturbaciones, como las que están hoy emergidas en nuestros cursos de agua, alteran el ambiente, produciendo grandes pérdidas de las funciones ecosistémicas y el desequilibrio ecológico. Muchas veces se producen cambios profundos en la flora y fauna autóctonas, inhibiendo o estimulando el desarrollo de ciertos organismos, modificando cadenas tróficas y afectando la calidad de vida de los seres vivos [2]. Los cuerpos de agua superficiales son capaces de asimilar cierta cantidad de descargas de residuos cloacales, domésticos e industriales por medio de su capacidad de autodepuración.

Sin embargo, al estar expuestos a continuos aportes de contaminación, se altera la capacidad de asimilación de estos cursos, causando polución térmica y eutrofización de las masas de agua receptoras [3].

Los principales contaminantes que contiene el agua residual y que pueden estar disueltos o suspendidos, son la materia orgánica, compuestos nitrogenados y fosforado, microorganismos y patógenos, tales como helmintos, protozoos, bacterias y virus. Estos agentes obstruyen la superficie hídrica, impidiendo el paso del sol, lo que afecta de manera directa el proceso de fotosíntesis. Asimismo, ocasiona el descenso del nivel de oxígeno, alterando la proliferación de vida en estos ambientes [4].

Mayormente, el tratamiento de aguas servidas es realizado por métodos convencionales, tales como los lodos activados, los cuales utilizan microorganismos eficientes para la depuración de estas aguas, a fin de minimizar dicha contaminación [5]. Estos microorganismos utilizan la materia orgánica como fuente de carbono, con el fin de obtener energía para su metabolismo y crecimiento. La identificación de estos organismos, en el licor mezcla, permite utilizarlos como bioindicadores, aportando información a la hora de evaluar la calidad ambiental del agua tratada. Esto se refleja en las características fisicoquímicas y biológicas de un cuerpo receptor en un tratamiento biológico de aguas residuales [6].

La correlación entre los análisis biológicos y los fisicoquímicos, representan líneas de información convergentes y complementarias. Estos parámetros de control en los procesos sirven para verificar y respaldar los estudios experimentales obtenidos en el laboratorio (cuantitativos) con aquellos observados y detectados en la calidad microbiana (cualitativos). Este análisis, permite elaborar es-

trategias para la prevención y solución de alteraciones producidas por variaciones operacionales y ambientales en los sistemas de depuración [7].

DESARROLLO

El proceso de los lodos activados se basa en la diversidad de microorganismos que forman el licor de mezcla. Este licor está constituido principalmente por descomponedores, bacterias, hongos y flagelados, los cuales utilizan la materia orgánica como alimento. A su vez, están los consumidores, que incluyen flagelados, amebas, ciliados, rizópodos y metazoos. Estos se alimentan de bacterias dispersas y otros organismos, estableciendo relaciones de competencia entre sí por el alimento y la depredación. [8].

Si se analizan las características fisicoquímicas más relevantes del agua residual, se puede encontrar los siguientes parámetros y valores guía:

pH: el pH en aguas residuales municipales, suele estar en el rango de 6,5 a 8,5 unidades, con una media de 7,0 unidades (neutro).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): La DBO promedio en aguas residuales crudas suele estar en el rango de 150-250 mg/l. y el efluente tratado, en valores menores a los 20 mg/l.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La DQO en aguas residuales municipales crudas suele encontrarse en un rango de 250-400 mg/l. Mientras que el efluente tratado se puede encontrar en valores menores a los 50 mg/l.

Sólidos suspendidos totales (SST): Los SST en aguas residuales municipales crudas varían dentro del rango de 150-350 mg/l. y el efluente tratado, por debajo de 30 mg/l.

Sólidos Disueltos Totales (SDT): Los SDT en aguas residuales municipales suelen estar en el rango de 200-400 mg/L.

Nutrientes: Los nutrientes (Nitrógeno (N) y Fósforo (F) total), en aguas residuales municipales crudas, pueden variar su cantidad. Sin embargo, generalmente se encuentran en el rango de 20-50 mg/l de N total y de 5-15 mg/l. de F total.

Turbidez: La turbidez en aguas residuales crudas suele ser alta, con valores superiores a 100 NTU. Luego del tratamiento, el efluente debe estar con valores menores a 1 NTU.

Microbiología del licor mezcla en lodos activados

El licor mezcla de un reactor en un sistema de lodos activados, contiene una comunidad de diversos microorganismos. La presencia de determinadas categorías taxonómicas está relacionada con las condiciones favorables para su desarrollo, tales como la supervivencia y adaptación a medios adversos, como así también el equilibrio ecológico en

la cadena trófica del hábitat. En la **Fig. 1**, se describe los microorganismos responsables de la depuración en sistemas de lodos activados.

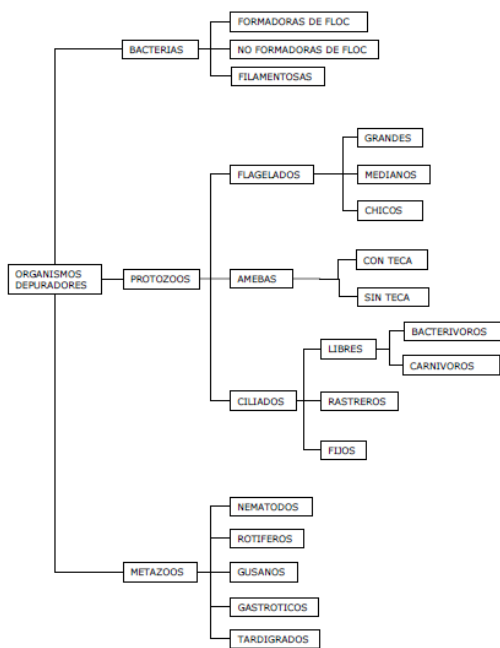


Figura 1. Microorganismos responsables del tratamiento de depuración en sistemas de lodos activados. Fuente: Nomdeu, 2018.

Existe evidencia que, en las zanjas de oxidación, los protozoos, al alimentarse de bacterias, reducen un gran número de microorganismos y se detecta un alto número de ciliados, con alto rendimiento de los lodos. Se debe destacar que los protozoos flagelados son menos frecuentes en estos tratamientos ya que solamente tienen protagonismo cuando se encuentran sistemas con sobrecarga de materia orgánica. Otras poblaciones presentes en estos sistemas de lodos activados, son los hongos y las algas, pero en menor cantidad y en ambientes muy específicos. Los hongos están relacionados en etapas de descomposición y las algas en sitios donde puede penetrar la luz solar. Actualmente, se encuentran en estudio su poder de depuración en aguas residuales.

ÁREA DE ESTUDIO

La Planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR), donde se realizó esta investigación, se encuentra situada en la localidad de Bella Vista, Partido de San Miguel, Provincia de Buenos Aires. El predio cuenta con una extensión de terreno de 5 ha., con un caudal promedio de operación diario de 0,4 m³/s. Dicho caudal, está compuesto por aguas residuales de origen domiciliario. No obstante, es importante destacar que, en ocasiones, las indus-

trias ubicadas en zonas urbanas aledañas, vierten sus efluentes líquidos crudos mediante conexiones clandestinas, ocasionando que se descarguen como aguas residuales domésticas, lo que conlleva a incluirlas en el volumen total tratamiento de la planta.

Las unidades de tratamiento de depuración (lodos activados) del caso de estudio son las siguientes:

- 1. Pretratamiento:** cámara de ingreso, rejas finas (2) y gruesas (2), elevación y desarenador (2).
- 2. Tratamiento secundario:** zanjas de oxidación (2) y clarificadores (2).
- 3. Tratamiento de lodos:** Espesador por gravedad (2), almacenador (1) y deshidratación (centrífuga).

Una vez tratadas las aguas residuales son vertidas al cuerpo receptor, siendo el mismo el río Reconquista (**Fig. 2**)



Figura 2. Descarga de los efluentes tratados en río Reconquista (2023). Fuente: Google Maps.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento de depuración de aguas residuales domésticas mediante la correlación de parámetros fisicoquímicos con bioindicadores. Dentro de los objetivos específicos se incluyen: caracterizar las aguas residuales tanto en la entrada (afluente) como en la salida (efluente) del sistema de tratamiento, identificar y clasificar los microorganismos presentes en el licor mezcla durante el proceso de tratamiento aplicado al agua residual y evaluar la eficiencia global del proceso, estableciendo relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y los bioindicadores.

La metodología de trabajo, se basó en el monitoreo y análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Con el fin de caracterizar, determinar e identificar las poblaciones microbianas y su relación con la calidad de lodos del proceso. También evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica de los lodos para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante muestreos durante el período de marzo del 2021 a marzo del 2022. Durante ese período se realizó la toma de muestras del afluente, efluente y zanja de oxidación, se ponderaron parámetros fisicoquímicos correspondientes, a los parámetros de sólidos sedimentables 30' (30 minutos), concentración de sólidos (MES), temperatura, oxígeno disuelto, pH y la actividad de la biomasa microbiana mediante la microscopía óptica. Para realizar la trazabilidad de datos se tomaron muestras del efluente a las que se le realizaron técnicas de MES, Temperatura, pH, DQO y DBO (Tabla 1).

Mediante microscopía óptica, se observaron microorganismos presentes en el licor de mezcla en suspensión. La biomasa bacteriana utilizada como inóculo, fue obtenida de las zanjas de oxidación (Z1 y Z2)

A partir de estas muestras se estimó la densidad de microorganismos indicadores, realizando un recuento directo de una alícuota de 25 µl, observando diariamente una de las zanjas al azar. La abundancia se expresó como el número de organismos por unidad de volumen (organismos/ml). Para realizar la trazabilidad de datos se tomaron muestras del efluente a las que se le realizaron técnicas de MES, Temperatura, pH, DQO y DBO.

Tabla 1. Métodos empleados para la ponderación de los parámetros evaluados.

Punto de muestreo	Parámetros	Métodos
Afluente	Materia en suspensión	Standard Methods 2540 D
	Temperatura	Standard Methods 2560 B Temperature of Water
	pH	Standard Methods 4500-H+B pH in Water by Potentiometry
	Demanda bioquímica de oxígeno	Standard Method 5210 B
	Demanda química de oxígeno	Standard Method 5220 D a reflujó cerrado (viales)
Zanjas de oxidación	Microbiología	Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed.
	Sólidos sedimentables 30 minutos	Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th Ed.
	Materia en suspensión	Standard Methods 2540 D
	Temperatura	Standard Methods 2560 B Temperature of Water
	Oxígeno disuelto	Standard Methods 4500-O-C (APHA)
Afluente	pH	Standard Methods 4500-H+B pH in Water by Potentiometry
	Materia en suspensión	Standard Methods 2540 D
	Temperatura	Standard Methods 2560 B Temperature of Water
	Demanda bioquímica de oxígeno	Standard Methods 4500-H+B pH in Water by Potentiometry
	Demanda química de oxígeno	Standard Method 5220 D a reflujó cerrado (viales)

Caracterización fisicoquímica

Se tomaron muestras y se analizaron parámetros de entrada (afluente) y salida (efluente) de la PTAR, obteniendo las caracterizaciones fisicoquímicas de las aguas residuales antes y después del tratamiento de depuración, las cuales se detallan la Tabla N° 2 y 3.

La caracterización fisicoquímica y microbiológica del líquido de entrada a la PTAR, arrojó valores de pH en el rango de 7,8 a 7,9, los valores registrados para el MES oscilaron entre 107 y 108 mg/l, en un rango de temperatura de 22°C a 22,4°C, con una concentración de sólidos suspendidos (SS) de 4,5 ml/L. A su vez, cuando el pH se encuentra en un intervalo promedio de 8,1 a 8,6 unidades, se observan

valores mensuales en el rango de 115 a 180 mg/l, a temperaturas que varían entre 18,4°C y 22,4°C, con una concentración de SS de 1,5 ml/l. Estos valores promedios son clásicos y característicos de este tipo de aguas residuales, al compararlo con lo citado anteriormente.

Tabla 2. Valores de parámetros analizados del Afluente de la PTAR.

Entrada de Planta - AFLUENTE									
pH	SS 10 min	SS 2 Hs	MES	Turb	Temp	Pot Redox	Cond	O2 Dis	
unidades	ml/L	ml/L	mg/l	NTU	°C	mV	uS/cm	mg/l	
7,9	1,5	4,5	117	69,3	22,4	141,1	—	2,65	
7,8	1	1,5	—	14,7	23,9	—	1381	3,74	
7,8	2	4	415	58,7	—	136	1350	2,25	
7,5	1	1	54,4	21,4	23,5	153,6	1440	2,02	
7,7	1	1	66,8	24,3	22,7	42,8	1359	2,85	
7,7	<0,1	<0,1	56	18,5	23,4	155	1326	2,42	
7,78	0,5	0,5	91	23,2	23,3	161	1256	2,52	
7,8	<1	<1	54	20,4	22,3	124	1331	—	
7,82	1	1	108	17,3	22	146	1317	5,34	
8	4,5	4,5	358	128	21,4	140	1510	1,23	
7,9	0,5	1	50	11,7	21,4	148	1331	5,04	
7,9	1	1	45	15,3	22,1	150	1338	4,41	
7,9	—	—	70	30	22,8	144	1487	1,56	
7,9	1	1	46	12,4	22	151	1448	3,54	
7,7	1	1	40	23,3	22,4	155	1359	2,23	
7,9	1	1	48	21,1	23,3	147	1334	4,17	
8	2,5	3	109	24,4	21,8	137	1477	3,56	
7,9	1,5	1,5	78	53,3	24,1	147	1427	0,89	
8,11	2	2	106	44,8	24,5	134	1477	3,54	
7,79	2	2,5	55	21,1	21,9	142	1389	4,92	
8	3	3	115	57,6	22,1	136	1496	4,23	
7,9	1	1,5	53	24,9	22,1	144	1369	4,39	
8	1,5	1,5	128	28,3	—	—	1402	3,05	
8,1	2,5	2,5	—	39,7	23,2	134,5	1432	4,52	
8,2	7	7	115	116	23,6	131,1	1338	2,75	
8,1	2,5	—	180	69,9	22,9	140	1501	—	
8,1	1	1	56	23,6	22,7	144	1299	3,33	
8,1	1	1,5	120	23,5	23,4	140	1373	4,47	
8,1	1	1,5	—	35,7	23,7	145	1441	4,11	
8,31	1	1	101	34,6	18,9	155	1462	0,743	
8,61	5,5	6	143	109	18,5	138	1340	4,9	
8,5	2,5	3	123	52,6	10,4	141	1350	6,94	
8,2	1	1	79,2	30,3	20	155	1364	3,6	
8,63	10	10	131	66	19,5	132	1504	2,7	
8,6	2	5	87	75,2	18,1	144	1328	4,5	
8,6	2	2,5	109	44,1	18,4	147	1406	4,1	
7,52	2	2,5	149	51,3	18,8	150	1391	2,9	
Promedio	8,0	2,1	2,5	109	42,3	21,6	140,7	1394	3,4

La ponderación de los parámetros de las muestras a la salida de PTAR, arrojaron que el pH promedio fue de 7,3 a 7,6 unidades, los valores de salida de MES, variaron en un rango de 2,0 a 22,0 mg/l., para la DBO el valor mínimo fue de 5,0 mg/l y un máximo 19,0 mg/l, en el caso de la DQO se obtuvieron valores entre 8,0 y 30,0 mg/l. y para los SS 0,01 ml/l. a 0,10 ml/l. Se puede afirmar ser un efluente característico de agua residuales, con sus parámetros medios de pH 7,50, DQO 17 mg/l, MES

8 mg/l, DBO 9,4 mg/l y SS 0,05 ml/l.

Tabla 3. Valores de parámetros analizados al Efluente de la PTAR.

Salida de Planta - Efluente					
	SS 10' sal (ml/l)	DBO sal (mg/l)	MES sal (mg/l)	DQO sal	pH sal
	0,01	16	18	20	7,60
	0,05	19	16	22	7,60
	0,03	8	5	14	7,70
	0,05	13	16	30	7,70
	0,05	18	22	26	7,90
	0,01	15	9	17	7,30
	0,05	11	8	14	7,60
	0,05	9	7	12	7,60
	0,08	6	6	13	7,50
	0,05	7	7	10	7,60
	0,05	5	2	8	7,70
	0,03	7	2	12	6,90
	0,09	9	5	21	7,60
	0,05	12	6	19	7,40
	0,05	6	6	15	7,40
	0,05	5	3	17	7,30
	0,10	10	9	18	7,40
	0,05	8	7	19	7,40
	0,05	7	5	16	7,70
	0,02	9	5	13	7,50
	0,04	4	5	10	7,60
	0,05	6	6	15	7,60
	0,05	5	4	9	7,60
	0,10	9	4	12	7,80
	0,05	5	5	19	7,40
	0,05	15	19	28	7,60
	0,01	14	13	26	7,60
	0,05	6	4	11	7,40
Promedios	0,05	9,4	8	17	7,50

Caracterización microbiológica del licor mezcla

La implementación de bioindicadores se fundamenta en la evaluación microbiológica y su correlación con parámetros fisicoquímicos. Dado que este proceso es biológico, es sensible a factores ambientales que pueden influir en la subsistencia de ciertas especies microbianas. Variaciones extremas en el pH, temperatura y materia orgánica, entre otros, pueden impactar el rendimiento del proceso de depuración. Estas fluctuaciones pueden propiciar la proliferación de microorganismos formadores de agregados filamentosos, los cuales, en cantidades excesivas, pueden ocasionar problemas operativos y generar efluentes con baja calidad, evidenciada por niveles de DBO por encima de 30 mg/L.

Durante la observación microscópica y el conteo de muestras, se ha logrado identificar los organismos indicadores hasta el nivel taxonómico de género en la mayoría de los casos. Este nivel de clasificación se considera adecuado en base al conocimiento bibliográfico disponible, proporcionando información suficiente sobre las condiciones operativas de la planta. En general, se ha observado una escasez de organismos ciliados y solo la presencia limitada de protozoos en densidades nu-

méricas bajas en los efluentes analizados.

Según las observaciones en microscopio de las muestras de las zanjas de oxidación (tratamiento biológico) y en el efluente de la PTAR, se detectaron, en condiciones normales de operación, los siguientes grupos taxonómicos:

a. MES / Indicadores biológicos observados en el microscopio

La tabla 4, evidencia un rango de parámetros de MES de 1500 a 2000 mg/l. Los protozoos presentes incluyen amebas, suctores y flagelados. A su vez, en valores de 2000 a 2500 mg/l, se identifican *Opecularia*, *Solenophrya* y *Aspidiscas*. Además, en valores de 2500 a 3000 mg/l, prosperan suctores, amebas y flagelados y para valores de 3500 a 5000 mg/l, se observan los protozoos mencionados anteriormente, junto con organismos unicelulares como *Peranema* pequeños y medianos, tecamebas, *Colpidium* y otros.

La presencia de protozoos en estas aguas residuales es beneficiosa para el proceso de tratamiento, ya que contribuyen a la depuración biológica al controlar la población bacteriana y descomponer la materia orgánica. Esto se ve reflejado en rangos de MES entre 2.000 mg/l y 4.000 mg/l, donde se detectó gran proliferación de protozoos, mayormente ciliados y en contraposición menor presencia de bacterias ya que son su sustrato.

Es interesante resaltar la presencia de rotíferos en condiciones extremas en concentración de sólidos en las zanjas (muy baja <1.500 mg/l o muy alta MES ">5.000 mg/l"), dando la pauta de que estos microorganismos generan inestabilidad en el proceso. Además, en concentraciones altas de materia en suspensión comienza la presencia

predominante de algas, ya que toleran un amplio espectro de condiciones para su supervivencia, como lo es competir por el alimento y por el oxígeno con los microorganismos, proporcionándoles a ellos deficiencia del mismo hasta generar su muerte (**Figura 3**).

Tabla 4 Grupos taxonómicos según diferentes rangos de MES.

Zanjas de oxidación	
Materia en suspensión (MES) Rango de valores (mg/l)	Características microbiológicas
1.500 a 2.000	Protozoos: Ciliados fijos (Vorticella - Espityllis, Suctores (Acineta - Podophrya), Amebas (Amoeba - Arcella), Ciliados móviles (Aspidiscas, Flagelados Pequeños)
	Metazoo: Rotíferos Bacterias: Zoogloea Tardigrado
2.000 a 2.500	Protozoos: Ciliados fijos (Opercularia - Espityllis, Suctores (Solenophrya), Amebas (Amoeba), Ciliados móviles (Aspidiscas)
	Metazoo: Rotíferos Bacterias
2.500 a 3.000	Protozoos: Ciliados fijos (Vorticella - Espityllis, Suctores (Solenophrya), Amebas, Flagelados Pequeños, Ciliados móviles (Aspidiscas - Trachelophyllum - Acineta)
	Metazoo: Gafrotzico Bacterias
3.000 a 3.500	Protozoos: Ciliados fijos (Vorticella - Espityllis, Suctores (Solenophrya), Ciliados móviles (Aspidiscas - Trachelophyllum)
	Bacterias: Zoogloea
3.500 a 4.000	Protozoos: Ciliados fijos (Vorticella - Espityllis, Flagelados Pequeños, Ameba (Arcella), Ciliados móviles (Aspidiscas - Litonotus - Trachelophyllum)
	Metazoo: Nematodos Bacterias
4.000 a 4.500	Protozoos: Ciliados fijos (Vorticella - Espityllis, Amebas (tecamebas - colpidium), Ciliados móviles (aspidiscas - trachelophyllum - periacineta), Suctores (Pequeños - grandes), Flagelados Pequeños - grandes
	Metazoo: Nematodos Algas Bacterias
4.500 a 5.000	Protozoos: Ciliados fijos (Vorticella - Espityllis), Amebas (tecamebas - colpidium), Ciliados móviles (aspidiscas - trachelophyllum - litonotus, Paranema, pequeño y medianos), Flagelados Pequeños, Suctores
	Metazoo: Rotíferos Algas Bacterias: Zoogloea

Referencias	
Cantidad de microorganismos (N°)	
<5	Abundante colonia de microorganismos
5-10	Intermedio
>10	Escasa colonia de microorganismos

Es crucial resaltar que los protozoos, muestran una notable adaptabilidad frente a la disponibilidad de oxígeno disuelto en condiciones aerobias. Esta capacidad de adaptación implica que su desarrollo no se ve considerablemente afectado por las fluctuaciones en este parámetro, lo que representa un matiz de relevancia significativa a considerar en el contexto del proceso. Además, es notable la necesidad de requerimientos de oxígeno en todos los microorganismos que coexisten en estos sistemas, logrando la descomposición de la materia orgánica, lo cual refleja la naturaleza predominantemente aeróbica del proceso.

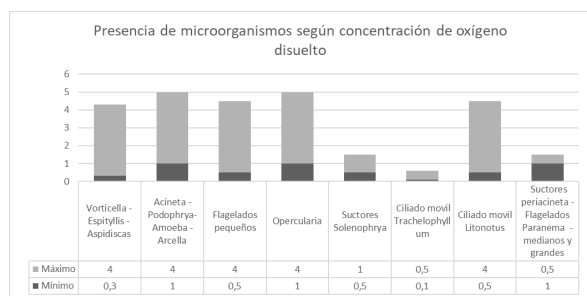


Figura 3. Presencia de microorganismos según cantidad de oxígeno.

b. Sólidos sedimentables 30' / MES zanja de oxidación

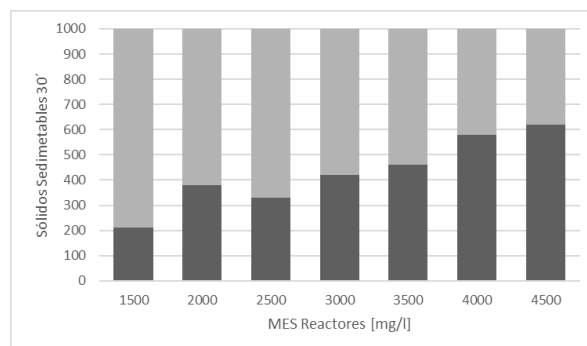


Figura 4. Valores MES y SS a los 30 minutos presentes en la muestra.

La medición de los SS puede indicar la eficacia de la sedimentación y la remoción de sólidos en suspensión, lo que puede influir en la eficiencia de los procesos biológicos posteriores. Cuanto mayor es el valor de MES mayor es su capacidad de sedimentabilidad en el tratamiento biológico. Es por ello que, es importante la presencia de microorganismos para obtener aguas tratadas con mayor eficiencia.

c. Parámetros de salida (mg/l) / MES zanja de oxidación

Para evaluar la calidad de los lodos activados, se tomó los valores menores de salida, en DBO, MES, y DQO. Se encontró valores de MES de 2.000 mg/l a 2.500 mg/l, donde según lo analizado en la tabla 1 se consideran protozoos de los generos: *Opercularia*, *Espityllis*, *Vorticella*, *Solenophrya*, *Amoeba*, flagelados pequeños, *Aspidiscas*, *Trachelophyllum*, *Acinera* para aguas cloacales domésticas.

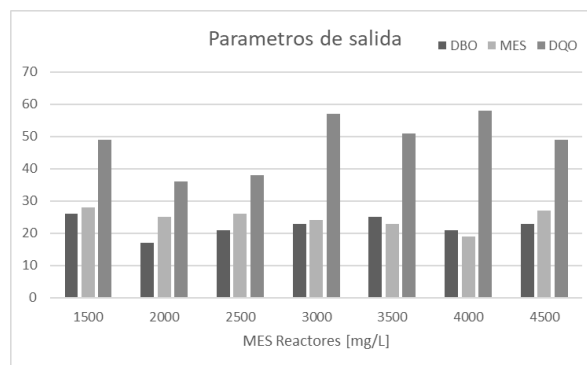


Figura 5. MES y parámetros de salida de DBO, MES Y DQO.

Los protozoos mencionados anteriormente son indicadores del buen funcionamiento de los lodos, pero, así como existen indicadores de buena calidad, también se encuentran indicadores que muestran el mal funcionamiento de los lodos (parámetros de salida altos), como es el caso de suctores, tecamebas, *colpidium* spp., nematodos, algas y bacterias zoogeas.

Según el estudio realizado se proponen los siguientes protozoos como indicadores efectivos de la calidad del tratamiento de aguas cloacales domésticas: *Opercularia* spp., *Espityllis* spp., *Vorticella* spp., *Solenophrya* spp., *Amoeba* spp., flagelados pequeños, *Aspidiscas* spp., *Trachelophyllum* spp. y *Acineria* spp."

Adicionalmente, se ha observado la presencia de metazoos en sistemas con buenas condiciones de oxígeno y lodos estabilizados, lo que favorece una floculación efectiva y posterior sedimentación de sólidos. Sin embargo, en condiciones elevadas de materia en suspensión, se observa la predominancia de algas. La reducción de los parámetros MES, DBO y DQO al final del proceso indican una disminución significativa en la carga de contaminantes, lo que es esencial para garantizar la calidad del efluente y su conformidad con las regulaciones ambientales y sanitarias.

CONCLUSIONES

Se concluye que las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean lodos activados tienen un alto poder de remoción de materia orgánica.

Se destaca que los resultados cumplen con la Ley 26.221 (Anexo B), que regula los servicios de agua potable y recolección de desagües cloacales. Los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en el estudio cumplen con las directrices establecidas en dicho anexo, confirmando que los efluentes tratados cumplen con los estándares requeridos para los vertidos con tratamiento secundario.

Tras identificar la relación directa entre la microbiología presente en las zanjas de oxidación y los parámetros fisicoquímicos, podemos afirmar que la observación microscópica de lodos en los tratamientos de depuración biológicos se considera como un bioindicador del estado de funcionamiento de la planta. La identificación de los organismos hasta nivel de especie da mayor información, pero ante la dificultad que ello representa, con la observación a nivel de grupos diferenciados es suficiente para realizar un seguimiento de la planta, ya que cada uno de ellos desempeña una función concreta en el sistema. Según el tipo de organis-

mo que esté presente se podrá resolver problemas operativos, hasta incluso el buen funcionamiento de un sistema de depuración puede definirse por la presencia o la ausencia de los tipos de organismos que intervienen.

Al ser una técnica rápida la identificación de microorganismos y cuantificación de los protozoos presentes en los lodos activados, esta información proporciona una lectura instantánea sobre el rendimiento de una planta de tratamiento y su impacto ambiental. Los cambios en la abundancia de especies de bioindicadores pueden ser indicativos de problemas en el funcionamiento de la planta. A su vez, los protozoos, varían según el tipo de agua residual a tratar dando lugar a especies diferentes dentro de los bioindicadores.

Los indicadores biológicos, son más sensibles que los parámetros fisicoquímicos para detectar cambios en el funcionamiento de tratamientos de aguas residuales. Por lo tanto, la supervisión de los parámetros microbiológicos es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de estos tratamientos.

REFERENCIAS

- [1] Meoño, F. L., Taranco, C. G., & Olivares, Y. M. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*, 2(2), 8-25.
- [2] Mulero A. (1999). El problema de las aguas residuales en España: Carencias territoriales, gestión reciente y perspectivas. *Eria.*; 48:5-17.
- [3] Fernández, L. S. Q., Kulich, E. I., & Gutiérrez, C. M. (2016). Evaluación de la capacidad de autodepuración en ríos.
- [4] De Agreda, Celia Rodríguez Pérez (2003). Los peligros de eutrofización de los cuerpos de agua por el vertimiento de las aguas residuales. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 24(2), 7-12.
- [5] Bejarano Novoa, M. E., & Escobar Carvajal, M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual.
- [6] Nomdedeu, O. (2018). Indicadores Biológicos. *Ecología aplicada al tratamiento de líquidos residuales y aguas superficiales*.
- [7] Vilaseca, M. (2001). Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica.
- [8] Madoni, P. (1994). A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Water Research*, 28(1): 67-75.