

Eficiencia de consorcios microbianos probióticos en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales**Efficiency of probiotic microbial consortiles in the treatment of domestic and industrial wastewater****BRAVO IDROGO, Sergio¹; VÁSQUEZ GARCÍA, Ántero Celso²;
GAMARRA GONZÁLES, Julissa Del Rocío³**^{1,2}Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo³Universidad César Vallejo**RESUMEN**

Para medir la eficiencia de consorcios microbianos formados por *Nitrobacter sp.*, *Nitrosomonas sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformes*, *Saccharomices cereviceae*, *Saccharomyces fragilis* en el tratamiento de aguas residuales urbanas, se midieron variables definidas en el DS 003-2010-MINAM. La suspensión de probióticos de la marca **Nitrobacter plus**® fue diluida en agua desionizada, luego se adicionó melaza y úrea agitándose constantemente durante 96 horas, posteriormente se adicionó a muestras de agua residual de la PTAR de la ciudad de Lambayeque y de Santa Rosa (Chiclayo), con el diseño experimental con estímulo creciente: Control, 0 ml; Dilución 1: 24 mL/L, Dilución 2: 48 mL/L, Dilución 3: 72 mL/L, Dilución 4: 96 mL/L en baldes de 20 L. Se concluyó que el efecto más notorio en las aguas residuales de la PTAR de la ciudad de Lambayeque se verificó en la disminución del DBO5 hasta 48,2 mg/L y de la población de Coliformes termotolerantes hasta 524 NMP/100 mL. 2. La concentración de Probióticos de 96 mL/L permitió obtener aguas residuales de mejor calidad. 3. Las aguas residuales urbanas provenientes de Santa Rosa y Lambayeque presentaron mejor calidad a las 96 horas en diluciones de 72 mL/L y 96 mL/L de Probióticos; 4. En el tratamiento de aguas residuales de ambos lugares se obtuvo mejor calidad a las 96 horas del experimento, con valores menores a los LMP fijados por el DS 003-2010-MINAM.

Palabras clave: Aguas residuales, Probioticos y aguas residuales, Nitrobacter plus®

ABSTRACT


To measure the efficiency of microbial consortia formed by *Nitrobacter sp.*, *Nitrosomonas sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformes*, *Saccharomices cereviceae*, *Saccharomyces fragilis* in the treatment of urban wastewater, variables defined in DS 003-2010-MINAM were measured. The **Nitrobacter plus**® brand probiotic suspension was diluted in deionized water, then molasses and urea were added constantly stirring for 96 hours, subsequently added to wastewater samples from the PTAR of the city of Lambayeque and Santa Rosa (Chiclayo), with the experimental design with increasing stimulus: Control, 0 ml; Dilution 1: 24 mL / L, Dilution 2: 48 mL / L, Dilution 3: 72 mL / L, Dilution 4: 96 mL / L in 20 L buckets. It was concluded that the most noticeable effect on the wastewater of the PTAR of the city of Lambayeque was verified in the decrease of BOD5 up to 48.2 mg / L and the population of thermotolerant coliforms up to 524 NMP / 100 mL. 2. The concentration of Probiotics of 96 mL / L allowed to obtain better quality wastewater. 3. Urban wastewater from Santa Rosa and Lambayeque presented better quality at 96 hours in dilutions of 72 mL / L and 96 mL / L of Probiotics; 4. In the treatment of wastewater from both places, better quality was obtained at 96 hours of the experiment, with values lower than the LMP set by DS 003-2010-MINAM.


Keywords: Wastewater, Probiotics and wastewater, Nitrobacter plus®

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista UCV HACER Campus Chiclayo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

Recibido: 29 de noviembre de 2019**Aceptado:** 20 de diciembre de 2019**Publicado:** 02 de enero de 2020

¹Ingeniero Civil, Doctor en ciencias ambientales, e-mail: sergiobravidrogo@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-7612-4056>

²Biólogo pesquero, Maestro en ciencias, Doctor en medio ambiente, e-mail: anterovasquez@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8977-3274>

³Ingeniero Químico, Doctora en Ciencias Ambientales, e-mail: julissagamarr@yaho.com,  <https://orcid.org/0000-0001-7629-6475>

INTRODUCCIÓN

Afonso, Cardian y Sánchez (2018) reportan que los componentes principales de las aguas residuales son materia orgánica e inorgánica y que sin adecuado tratamiento representan un riesgo muy elevado para la salud humana y el ambiente. La ingestión directa de agua provenientes de fuentes contaminadas o indirecta en alimentos crudos regadas con aguas residuales no tratadas o insuficientemente tratadas, pueden producir enfermedades del tracto digestivo humano. El ingreso de afluentes industriales a los sistemas de alcantarillado, cuya carga orgánica y de metales pesados, ácidos y bases, originan sobrecarga en los sistemas de tratamiento y afectan negativamente su eficiencia; lo que es un problema bastante significativo. p.1.

Hasta la fecha se han desarrollado diversos procedimientos para el tratamiento de aguas residuales urbanas; tales como: 1. uso de pozos sépticos, 2. tratamiento con humedales; 3. las lagunas de oxidación facultativas, 4. las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR, anaerobias y aerobias o combinaciones secuenciales de ellas), 5. El sistema de flotación por aire disuelto (DAF) utilizado desde hace unos quince años 6. El Sistema Im-Hoff; 7. Tratamiento biológico empleando Microorganismos Eficaces (ME), etc.

Vásquez (2013, p.5) utilizó consorcios microbianos en el tratamiento de aguas residuales generadas en una planta de producción de aceite de palma ubicada en Caynarachi, Lamas, San Martín. Estos consorcios microbianos que se utilizan en el engorde de langostinos en Ecuador y en Tumbes, al Norte del Perú, los de la marca Nitrobacter Plus incluyen bacterias de los géneros *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Bacillus subtilis*; *Bacillus licheniformes*, levaduras de las especies *Saccharomyces cereviceae* y *Saccharomyces fragilis* y enzimas proteolíticas. Concluyó que la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales fue muy significativa pues disminuyó la DBO₅ y la población de Coliformes termotolerantes hasta cifras menores de los Límites Máximos Permisibles (LMP) fijado por el DS 003-2010-MINAM.

En Perú se están implementando políticas tendientes a lograr un eficiente tratamiento de aguas residuales; se han desarrollado proyectos

que permitirían obtener aguas residuales de mejor calidad y reusarlas en riego o limpieza. Estas decisiones promueven: la conservación de los recursos hídricos y los suelos y la salubridad de las ciudades. En este aspecto convergen el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura y Riego, quienes junto con las Municipalidades distritales y provinciales propician el uso de diversos sistemas de tratamiento; pero que no reportan datos sobre la eficiencia y calidad de los efluentes.

Por esta razón, se han desarrollado investigaciones para medir la eficiencia de los microorganismos componentes de la solución Nitrobacter Plus® para disminuir las poblaciones de Coliformes termotolerantes de aguas residuales urbanas hasta valores menores a los límites máximos permisibles.

METODOLOGÍA

La investigación fue realizada durando los meses de Junio, Julio y Agosto del 2017.

La población estuvo constituida por todas las aguas residuales urbanas que se tratan en las PTARs de la Región Lambayeque. Se obtuvieron 20 muestras de aguas residuales urbanas procedentes de la laguna de oxidación de la ciudad de Santa Rosa y 20 muestras de aguas residuales domésticas tratadas en la PTAR de la ciudad de Lambayeque con periodicidad mensual en dos estaciones de muestreo, obtenidas según un muestreo no probabilístico por conveniencia.

La estación de muestreo 1: fue al ingreso del sistema de tratamiento, 2: a la salida de la laguna facultativa N° 1, estación de muestreo 3: a la salida de la laguna facultativa N° 2, estación de muestreo 4: en el efluente que deriva en el Dren 2200 y 4000 respectivamente.

Las muestras de agua residual de la laguna de oxidación de la ciudad de Santa Rosa fueron obtenidas en las ubicaciones siguientes: Estación de muestreo 1, al ingreso de las aguas residuales a la laguna de oxidación.

Estación de muestreo 2, en la parte media y

superficial de la laguna de oxidación.
Estación de muestreo 3: en el efluente que deriva en el Dren 4000.

El diseño de contrastación de hipótesis fue el experimental con estímulo creciente.

Control: 0 mL/L

Dilución 1: 24 mL/L

Dilución 2: 48 mL/L

Dilución 3: 72 mL/L

Dilución 4: 96 mL/L

Las muestras de agua fueron obtenidas según lo pautado por la APHA y de acuerdo a los procedimientos estandarizados fijados en el DS 003-2010-MINAM, posteriormente trasladadas hasta el laboratorio de calidad de aguas de NKP S.R.L en Trujillo, en el cual se realizaron todos los análisis pertinentes (tabla 1).

Tabla 1

Variables de aguas residuales analizadas, se incluye equipos y unidades de medición.

Variable	Equipo	Unidades de medi-
pH	pHmetro Schott	Unida-
Temperatura	pHmetro Schott	°C
Conductividad eléctrica	Conductímetro Schott	uS/cm
Sólidos suspendidos totales	Conductímetro Schott	mg/L
Oxígeno disuelto	Oxímetro Schott	mg/L
DBO ₅	Oxímetro Schott	mg/L
DQO	Oxímetro Schott	mg/L
Coliformes termotolerantes		NMP/100 mL

Fuente. Elaboración propia.

En baldes de plástico de 25 litros se agregaron: a.16 litros de agua desionizada marca Vistony, b.4 kilos de melaza, c.1 kilo de urea, d.3,79 litros de Nitrobacter Plus.

La mezcla fue homogeneizada agitando continuamente durante 96 horas y luego se adicionaron en las proporciones que se indican en las diluciones. A partir de esta mezcla se agregaron las cantidades indicadas en el diseño y se verificaron cambios de olor y color y se midieron las diferentes variables: pH, conductividad eléctrica, temperatura, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, coliformes totales y coliformes

termotolerantes cada 24 horas durante cuatro días.

RESULTADOS

El color del agua proveniente de la PTAR Lambayeque varió desde marrón hasta verde más claro a las 96 horas. La apariencia fue sin sedimento durante todo el experimento y el olor solamente se percibió el primer día.

Las variables evaluadas en el agua residual procedente de la PTAR de la ciudad de Lambayeque variaron desde el inicio hasta el final del experimento en el rango siguiente: la temperatura desde 21°C hasta 18,5°C; el pH desde 6,45 hasta 5,4 en el tratamiento con la dilución 4; La Demanda Bioquímica de Oxígeno desde 4900 mg/L hasta 58 mg/L con la dilución 4, la concentración de aceites y grasas desde 16,4 mg/L hasta 6,4 mg/L en la dilución 4. En la muestra procedente de la laguna secundaria con la dilución 3, a las 96 horas de iniciado el experimento la población de Coliformes termotolerantes varió desde 170 000 000 NMP/100mL al inicio del experimento hasta 1 700 NMP/100mL a las 96 horas en el tratamiento con la dilución 3.

Tabla 2

Indicadores de calidad en muestras de agua residual procedente de la PTAR Lambayeque tratadas con cuatro diluciones de Probióticos.

VARIABLES	UNIDADES	TIEMPO 00 Horas				24 Horas				96 Horas				DS 003-2010 -MINAM
		D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	LMP
pH		6,45	5,28	5,32	5,5	5,6	5,4	5,4	5,66	5,4			6,8-8,50	
Conductividad eléctrica	<i>uS/cm</i>	2012	1999	894	1656	2011	1890	1890	514	231				
Temperatura	°C	21	20,2	20,2	18,6	18,6	18,5	18,5	18,5	18,5			35	
DBO5	mg/L	4900	3960	2841	2871	2734	231	80	65	58			100	
DQO	mg/L	1400	740	680	521	560	231	150	180	124			200	
M1 SST	mg/L	1106	856	434	828	1351	145	126	132	121			150	
Aceites y grasas	mg/L	16,8	15,4	12,8	14,9	14,2	8,64	8,65	8,94	7,84			20	
Coliformes totales	NMP/100ml	1.8E+08	1601	500052	96000000	920000	16000000	160000	14200	5600				
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1.7E+08	651000	347000	6200000	240000	8000	5400	2214	2511			10000	
pH		6,57	4,82		4,82		5,68	4,92	6,5	7,2			6,8-8,50	
Conductividad eléctrica	<i>uS/cm</i>	2020	1851	1681	1851	1681	1830	1830	1200	1220				
Temperatura	°C	20	19,8	19,8	19,8	19,8	18	18	18	18			35	
DBO5	mg/L	5300	3019	2800	3019	2800	315	92	95	43			100	
DQO	mg/L	2400	640	540	640	540	241	165	182	132			200	
M2 SST	mg/L	1106	502	584	502	584	145	125	137	120			150	
Aceites y grasas	mg/L	12,8	10,4	10,9	10,4	10,9	6,58	5,48	7,12	6,85			20	
Coliformes totales	NMP/100ml	9200000	9200000	9200000	920000	920000	92000	92000	8500	9800				
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	8200000	83000	83000	83000	83000	83000	6200	2100	1230			10000	
pH		6,78	5,42	5,21	5,56	5,51	4,92	5,3	5,24	6,1			6,8-8,50	
Conductividad eléctrica	<i>uS/cm</i>	2120	1757	1654	1567	1420	1750	1750	1520	1432				
Temperatura	°C	21	21,6	21,6	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2			35	
DBO5	mg/L	4000	3200	1427	2079	1234	412	401	300	30			100	
DQO	mg/L	4100	647	532	854	564	178	195	145	123			200	
M3 SST	mg/L	1106	845	827	153	625	245	134	122	78			150	
Aceites y grasas	mg/L	13	12,5	11,2	11,1	9,8	8,75	8,45	8,45	9,64			20	
Coliformes totales	NMP/100ml	16000000	134000	14000	350000	54000	9200	9200	9200	2800				
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	16000000	11222	15402	18004	22000	9200	5400	3200	2200			10000	
pH		6,8	5,1	5,62	5,23	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4			6,8-8,50	
Conductividad eléctrica	<i>uS/cm</i>	3412	1629	1478	1408	1326	1630	1630	1204	1204				
Temperatura	°C	19	18,6	18,6	18,8	18,8	19,4	19,4	19,4	19,4			35	
DBO5	mg/L	4200	3960	3200	2326	1045	124	99	65	49			100	
DQO	mg/L	6800	2400	1245	1562	1200	102	152	120	185			200	
M4 SST	mg/L	1204	642	645	638	549	120	136	143	98			150	
Aceites y grasas	mg/L	7,43	7,46	8,42	9,25	7,56	8,45	6,45	6,12	18,1			20	
Coliformes totales	NMP/100ml	5400000	2400	5872	1600000	1600	2004	5400	2800	1425				
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	5400000	8400	9540	350000	1520	5400	6421	2222	1700			10000	

Fuente. Elaboración propia.

En la muestra procedente de la Laguna de oxidación de la ciudad de Santa Rosa el color en el testigo fue rojo intenso en el primer día y marrón en el cuarto día; en el grupo experimental el color varió desde menos rojo en el primer día hasta marrón claro en el cuarto día.

El testigo en la apariencia se mantuvo homogéneo durante todo el tiempo del experimento y en la experiencia varió desde homogéneo con poco sedimento en el fondo hasta homogéneo sin sedimento en el fondo.

El olor en el grupo testigo se mantuvo fuerte durante los cuatro días del experimento mientras que en el experimental varió desde fuerte olor azufre hasta sin olor en el cuarto día.

En el experimento con las aguas residuales provenientes de la laguna de oxidación de la ciudad de Santa Rosa (M_2 , tabla 3), la temperatura al inicio del experimento fue de 20 °C y posteriormente varió hasta 18°C a las 24 horas en el tratamiento 2. El pH fue de 6,8 al inicio del experimento y posteriormente varió hasta 5,4 en el tratamiento con la dilución 2, a las 96 horas de transcurrido el experimento. La Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuyó desde 4800 mg/L en la muestra 3 al inicio del experimento hasta 46,2 mg/L en el tratamiento con la dilución 3.

La concentración de aceites y grasas varió desde 0,87 mg/L en la muestra 3 hasta 18,6 mg/L en la muestra de entrada a la laguna de oxidación en el tratamiento con la dilución 4. La población de Coliformes termotolerantes varió desde 56 000 000 NMP/100 mL al inicio del experimento hasta 435 NMP/100mL a las 96 horas de transcurrido el experimento (tabla 3).

Tabla 3

Indicadores de calidad de agua residual procedente de la Laguna de oxidación de la ciudad de Santa Rosa tratadas con cuatro diluciones de Probióticos.

VARIABLES	UNIDADES	TIEMPO		00 Horas				24 Horas				96 Horas				DS 003-2010 MI-NAM	
				D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	LMP	
M1 Entrada	pH		6	5,9	5,9	5,6	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	6,8-8,50	
	Conductividad eléctrica	<i>uS/cm</i>		7800	7800	680	800	650	780	562	426						
	Temperatura	°C	20	18,7	18,7	18,7	18	19	19	19	19	19	19	19	19	35	
	DBO5	mg/L	36000	2525,5	2458	3960	8050	522	98	95	92	100				100	
	DQO	mg/L	458	325	652	436	560	203	127	154	172	200				200	
	SST	mg/L	4600	4526	3200	435	7350	145	142	142	138	150				150	
	Aceites y grasas	mg/L	11,38	11,37	12,3	14,5	12,3	26	18	19	18,6	20				20	
	Coliformes totales	NMP/100ml	92000000	>1600	1600	1582	1432	12000	14000	16000	12202						
	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	54000000	>1600	1600	1600	1600	435	463	481	542	10000					10000
	E. Coli	NMP/100ml	54000000	1601	1601	1601	1601	1601	1601	1601	1601						
Bacterias Heterótrofas	NMP/100ml	1100000	5600	45200	34500	24501	22000	469	482	476							
M2 Laguna	pH		5,8	5,2	5,6	5,62	5,9	5,8	5,4	5,7	5,6	6,5-8,50					
	Conductividad eléctrica	<i>uS/cm</i>	8120	8150	8300	8120	7950	1280	1452	1632	845						
	Temperatura	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	35					
	DBO5	mg/L	2458	2821	2821	4009	4009	4009	98,5	67,4	56,9	54,8					
	DQO	mg/L	1280	1564	1420	1450	187	165,2	189,2	178,3	164,5	200					
	SST	mg/L	1245	4325	4150	4150		600	145	163	126	150					
	Aceites y grasas	mg/L	15,2	14,6	15,4	12,9	15,8	16,2	14,8	14,8	12,7	20					
	Coliformes totales	NMP/100ml	5600000	160000			1600000	12458	12439	6504	4210						
	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	5600000	1600000	1600000	1600000	1600000	9821	6500	3201	2012	10000					
	E. Coli	NMP/100ml	5600000	1600000	1600000	1600000	1600000	6502	6502	6502	6502						
Bacterias Heterótrofas	NMP/100ml	5600000	1600000	1600000	1600000	1600000	6502	6502	6502	6502							
M3 Salida	pH		5,8	5	5,07							6,5-8,50					
	Conductividad eléctrica	<i>uS/cm</i>	8400	8130	7980	8190	7150	2500	1830	2245	1023						
	Temperatura	°C	18	18	18	20,3	20	20	20	20	20	35					
	DBO5	mg/L	4800	3200	2365	4009,5	65,2	72,3	75,2	48,2	56,2	100					
	DQO	mg/L	4826	3652	2500	5044	3261	186,2	145,6	125,6	147,9	200					
	SST	mg/L	4400	4400	4400	4400	145	148	129	158	129	150					
	Aceites y grasas	mg/L	0,87	0,87	0,87	0,87	3400	0,87	0,87	0,87	1,75	20					
	Coliformes totales	NMP/100ml	540000	430000	380000	360000	40000	9854	11540	12400	9856						
	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	540000	460000	430000	345000	210000	1254	524	620	8921	10000					
	E. Coli	NMP/100ml	540000	460000	430000	345000	210000	482	358	369	347						
Bacterias Heterótrofas	NMP/100ml	470000															

Fuente. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Tanto en el agua residual de la PTAR Lambayeque como la de la laguna de oxidación de Santa Rosa, la temperatura no superó el máximo de 35 °C fijado como Límite máximo permisible (LMP) considerado para el agua residual doméstica tratada, definida por el DS-003-2010-MINAM.

Los valores de pH variaron desde el inicio y durante el experimento en todos los tratamientos, a las 96 horas, se registraron valores inferiores a los límites máximos permisibles en el rango desde 6,5 hasta 8,5; atribuible a la degradación de la materia orgánica y los procesos metabólicos microbianos.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuyó significativamente desde el inicio del experimento y en ambos casos, las concentraciones fueron menores a los 100 mg/L LMP, atribuible a la acción de los consorcios microbianos y de las enzimas proteolíticas para degradar la materia orgánica presente en el agua residual urbana procedente de la PTAR de Lambayeque y de la laguna de Oxidación de Santa Rosa; al respecto

Gil Rodríguez (1998) citado por Vásquez (2013) explica que las aguas residuales urbanas e industriales contienen materia orgánica putrescible y se degradan por acción de diferentes especies de microorganismos aerobios, anaerobios y anaerobios facultativos, que la mineralizan. Nuestros resultados coinciden parcialmente con lo expresado por Salgado et al., (2012, p.1) quienes reportaron que bacterias rizosféricas aisladas de *Typha dominguensis* son altamente eficientes en la remoción de materia orgánica y disminución de DQO y DBO₅. Sobre esta parte, Centeno, Quintana y López (2019, p. 434) indican que en la planta de tratamiento de Covicorti, Trujillo utilizaron consorcio de microorganismos eficaces (*Lactobacillus* sp., *Schizosaccharomyces pombe* y bacterias rojas) como buena alternativa para la disminución de DBO₅.

La disminución de la demanda bioquímica de oxígeno en nuestro experimento se atribuye a la presencia de compuestos químicos de origen industrial; lo que coincide con Luvi (2014, p.46) quien realizó tratamiento de aguas residuales con

diversas proporciones y hasta en 45 días y que de todas las variables medidas las poblaciones de Coliformes termotolerantes y la concentración de aceites y grasas disminuyeron significativamente.

Otro aspecto que es necesario resaltar es la población de Coliformes termotolerantes, que en todos los casos disminuyó significativamente hasta concentraciones menores a los límites máximos permisibles o Valores Máximos Admisibles, según sea el caso de evaluación y su respectivo referente normativo, esta disminución se atribuye a la denominada exclusión competitiva que *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* generan sobre el grupo de Coliformes las que al degradar la materia orgánica y consumirla como parte de su alimento dejan sin sustento a los Coliformes termotolerantes disminuyendo su población, a veces también llamado ley de exclusión competitiva de Gause, o simplemente ley de Gause.

La presencia de materia orgánica en aguas residuales provenientes de ambos lugares de muestreo permitió estimar una intensa actividad microbiana en el ciclo de producción de nutrientes para su posterior utilización por los otros organismos vivos.

La población de coliformes termotolerantes en todas las diluciones y a las 96 horas del experimento fueron menores a 10 000 NMP/100mL fijado por el DS-003-2010-MINAM, reducción que es significativa y que se atribuye a la exclusión competitiva en la que la población de probióticos que constituyen la flora bacteriana buena genera disminución de la población patógena; en este caso el grupo de coliformes termotolerantes. La misma tendencia se observó en los ensayos con agua residual procedente de la laguna de oxidación de Santa Rosa.

La adición de consorcios microbianos de la marca *Nitrobacter Plus*® en dilución permitió disminuir básicamente la DBO₅, un indicador muy importante de la calidad de aguas residuales; atribuible a la acción de transformación del Nitrógeno amoniacal (NH₃) hasta NO₂⁻ por acción de *Nitrosomonas* y desde nitrito hasta nitrato por acción de *Nitrobacter*, sustancias menos tóxicas para los organismos vivos y que mejora la calidad del agua residual. Nuestra opinión coincide parcialmente por lo reportado

con Garzón (2005, p.137) en su trabajo de investigación “Mecanismos no convencionales de transformación y remoción del nitrógeno en sistemas de tratamiento de aguas residuales” concluyó que los mecanismos no convencionales de desnitrificación autótrofa por microorganismos desnitrificantes anóxicos y la quimio-desnitrificación tienen un gran potencial para optimizar los procesos ya existentes o para desarrollar nuevos y mejores técnicas de tratamiento de aguas residuales.

Asimismo coincide con lo reportado por Ornelas, Ruiz y Medina (2012, p.145) quienes reportaron que: emplear consorcios de bacterias nitrificantes aerobias de *Nitrosomonas spp*, *Nitrospira spp* y *Nitrobacter spp* a los sistemas de tratamiento de aguas residuales se logra remover nitrógeno de los efluentes y finalmente por lo reportado por Cárdenas y Sánchez (2013, p. 82) en su trabajo de investigación “Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública” concluyeron que los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación son más efectivos para eliminar el nitrógeno en aguas residuales.

Muñoz y Ramos (2014) reportaron que hasta la actualidad se han desarrollado muchos procedimientos tecnológicos orientados a minimizar la contaminación del agua residual tanto en su proceso de tratamiento como antes de ser vertido al cuerpo receptor.

Rivas, Pérez y Nevares (2013), indicador que el agua residual no es un residuo que botar y más bien es un recurso que reutilizar con fines agronómicos o de salubridad.

El análisis de varianza sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales, permite referir que hay diferencias estadísticas significativas entre las muestras y las distintas diluciones y tiempos de experimentación en lo referente a las poblaciones de Coliformes termotolerantes ($p=0,000$).

CONCLUSIONES

El efecto más notorio en las aguas residuales de la PTAR de la ciudad de Lambayeque se verificó en la disminución del DBO_5 hasta 48,2 mg/L y de la población de Coliformes termotolerantes hasta 524 NMP/100 mL.

La concentración de Probióticos de 96 mL/L permitió obtener aguas residuales de mejor calidad.

Las aguas residuales urbanas tratadas provenientes de Santa Rosa y Lambayeque presentaron mejor calidad a las 96 horas y en diluciones de 72 mL/L y 96 mL/L de Probióticos.

En el tratamiento de aguas residuales provenientes de las lagunas de oxidación de Santa Rosa y de la PTAR Lambayeque, se obtuvieron mejor calidad a las 96 horas del experimento, con valores menores a los límites máximos permisibles fijados legalmente.

REFERENCIAS

- Afonso, M. Candian, L y Sánchez, I. (2018) Evaluación cuantitativa de riesgo microbiano para consumidores de culturas irrigadas con aguas residuales de la PTAR de Ilha Solteira (SP). Ingeniería y Desarrollo, 36 (2), 359-377.
Recuperado de:
<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/articulo/view/10322/214421443107>
- Cárdenas, G., Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. Universidad y Salud, 15(1), 72 – 88.
Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v15n1/v15n1a07.pdf>
- Centeno, L. Quintana, A. y López, F. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales Trujillo, Perú. Arnaldo, 26 (1), 433-446.
Recuperado de: <http://journal.upao.edu.pe/Arnaldo/article/view/939>

- Garzón, M. (2005). Mecanismos no convencionales de transformación y remoción del nitrógeno en sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería hidráulica en México*, 20(4), 137-149.
Recuperado de: <http://www.revistatycya.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/download/1022/668>
- Luvi, U. (2014). Evaluación de los índices microbiológicos y fisicoquímicos en aguas residuales de la ciudad de Puno tratadas con microorganismos nativos. (Tesis de Título Profesional). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
Recuperado de: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2821/Luvi_Checani_Uriel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio del Ambiente. (2010). DS 003-2010-MINAM. Aprueban Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas y municipales.
Disponible: http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fsinia.minam.gob.pe%2FadmDocumento.php%3Faccion%3Dbajar%26docadjunto%3D1386&ei=OAswUvesH4rm8QSh_IC4Bg&usg=AFQjCNHP1Cye00nRY-cm3SNU9LI9q6mhGQ
- Muñoz, J. y Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24 (1), 49-66.
Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91131484003>
- Ornelas, O., Ruiz, Y., Medina, L. (2012). Bacterias Nitrificantes y su Utilidad Para el Tratamiento de Aguas Residuales: Desarrollo de un Enriquecimiento del Inóculo. *Informe Médico*, 14 (3), 141-145.
Recuperado de: <http://www.revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/inmed/v14n3/art06.pdf>
- Rivas, L. Pérez, A. y Nevárez, V. (2013). Sistema de tratamiento biológico aplicable al uso de aguas residuales en riego agrícola. Universidad Autónoma de Chihuahua Km 2 ½ Carr. Delicias-Rosales. Tel y fax (639) 4 72-19-67, brivas@uach.mx. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Chih, Chih.
Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/mexico13/067.pdf>
- Salgado, I. Durán, C. Cruz, M. Carballo, M y Martínez, A. (2012) Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Revista internacional de contaminación ambiental*. vol.28 (1)
Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100002
- Vásquez, A. (2013). Uso de probióticos en el tratamiento de aguas residuales industriales de efluentes de planta de producción de aceite de palma, Caynarachi, Lamas, San Martín. Mimeo vs pgs. Lambayeque.