



Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas

Treatment of domestic wastewater by anaerobic reactor for the reuse of effluent in agricultural crops

Tratamento de efluentes domésticos por reator anaeróbico para reaproveitamento de efluentes em lavouras agrícolas

Pedro Córdova Mendoza¹

pedrocordovamendoza12@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3612-1149>

Teresa Oriele Barrios Mendoza¹

oriele.barrios@unica.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-6466-7766>

Isis Cristel Córdova Barrios²

isiscordovabarrios@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3569-2671>

Raúl Antonio Navarrete Velarde¹

antony4569@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8479-3866>

¹Universidad Autónoma de Ica-Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Perú

²Universidad Nacional San Luis Gonzaga-Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica, Perú

Artículo recibido 10 de marzo 2021 / Arbitrado y aceptado 30 de marzo 2021 / Publicado 04 de mayo 2021

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio y su influencia significativa en la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. La investigación realizada fue de tipo experimental, nivel descriptivo-explicativo, investigación aplicada. Como resultados se obtuvo que la norma DS N°003-2002-PRODUCE, establece los límites máximos permisibles y valores referenciales para la actividad en la reutilización con un pH entre 6-8, temperatura <35°C, se dispuso de la toma de muestra de la laguna de oxidación de Cachiche, como lo indica las coordenadas UTM, la biomasa anaerobia fue obtenido de Yaurilla-Parcona, se analizó el afluente tabla 5 y tabla 6, en las fechas indicadas a horas 8:00 am., (06.02.2021), y a horas 10:00 am., (02.04.2021), Discusión se evidenciaron que los resultados de caracterización ARD-010-A y ARD-020-B, influenciaron en la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. Para finalizar se tiene que la reutilización del efluente en cultivos agrícolas depende del tratamiento con reactor anaerobio en el tratamiento de aguas residuales se obtuvieron para las 32 horas con pH de 7.7; sólidos suspendidos 38 mg/l y para los coliformes termo tolerantes un valor 890 NMP/100ml; valores que se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental ECA AGUA para su reusó en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales del DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

Palabras clave: Anaerobio; agua residual domestica; reactor; remoción; carga contaminante

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the treatment of domestic wastewater by means of an anaerobic reactor and its significant influence on the reuse of the effluent in agricultural crops. The research was of experimental type, descriptive-explanatory level, applied research. As results it was obtained that the norm DS N°003-2002-PRODUCE, establishes the maximum permissible limits and referential values for the activity in the reuse with a pH between 6-8, temperature <35°C, the sampling of the oxidation lagoon of Cachiche was available, as indicated by the UTM coordinates, the anaerobic biomass was obtained from Yaurilla-Parcona, the affluent was analyzed table 5 and table 6, on the dates indicated at 8:00 am. hours, (06.02.2021), and at 10:00 a.m. (02.04.2021), Discussion showed that the characterization results ARD-010-A and ARD-020-B, influenced the reuse of effluent in agricultural crops. To conclude we have that the reuse of effluent in agricultural crops depends on the treatment with anaerobic reactor in the wastewater treatment were obtained for the 32 hours with pH of 7.7; suspended solids 38 mg/l and for thermotolerant coliforms a value 890 NMP/100ml; values that are below the environmental quality standards ECA WATER for reuse in Category 3: Irrigation of vegetables and animal drinking of the SUPREME DECREE N° 004-2017-MINAM.

Key words: Anaerobic; domestic wastewater; reactor; removal; pollutant load

RESUMO

O objectivo da investigação era avaliar o tratamento de águas residuais domesticas por um reactor anaeróbico e a sua influência significativa na reutilização de efluentes em culturas agrícolas. A investigação foi experimental, descriptiva-explicativa, investigação aplicada. Como resultado foi obtido que a norma DS N°003-2002-PRODUCE, estabelece os limites máximos permitidos e valores referenciais para a actividade na reutilização com um pH entre 6-8, temperatura <35°C, a amostra foi retirada da lagoa de oxidação de Cachiche, como indicado pelas coordenadas UTM, a biomassa anaeróbica foi obtida de Yaurilla-Parcona, o afluente foi analisado na tabela 5 e tabela 6, nas datas indicadas às 8:00 horas da manhã, (06.02.2021), e às 10:00 da manhã (02.04.2021), a discussão mostrou que os resultados da caracterização ARD-010-A e ARD-020-B, influenciaram a reutilização dos efluentes nas culturas agrícolas. Finalmente, a reutilização de efluentes em culturas agrícolas depende do tratamento com um reactor anaeróbico no tratamento de águas residuais foi obtido durante as 32 horas com pH de 7,7; sólidos em suspensão 38 mg/l e para coliformes termotolerantes um valor de 890 NMP/100ml; valores que estão abaixo das normas de qualidade ambiental ECA ÁGUA para reutilização na Categoria 3: Irrigação de vegetais e consumo animal do DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

Palavras-chave: Anaeróbico; águas residuais domesticas; reactor; remoção; carga poluente

INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad se encuentra viviendo la crisis más grande de todos los tiempos debido a la contaminación tanto en aire, suelo y agua. El agua residual se puede definir como la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes, tanto de residencias como instituciones públicas, plantas industriales y comerciales. La acumulación y estancamiento de aguas residuales, la descomposición de materia orgánica que contiene puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. A este hecho debe añadirse la frecuente presencia de numerosos microorganismos patogénicos presentes y causantes de enfermedades de salud pública por causas de contaminación cruzada de los recursos hídricos. Estos cuerpos de agua residual pueden contener componentes que actúan como nutrientes y/o compuestos químicos que son altamente contaminantes para un determinado ecosistema (1). Según su origen, las aguas residuales pueden clasificarse en: domesticas o urbanas, industriales, agropecuarias, de origen incontrolado (vertidos ilegales, infiltraciones) y pluviales. Sin embargo, basado en los objetivos de esta propuesta para este estudio, al hablar de aguas residuales municipales es mencionar a las aguas de origen doméstico, con alguna posible aportación de caudales pluviales y/o de procedencia incontrolada (2).

Los parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las aguas residuales domesticas son la demanda química de oxígeno (DQO), que caracteriza la carga orgánica y la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación

química de la materia orgánica, el número de coliformes totales (CT), Coliformes fecales (CF) que indica el grado de contaminación patogénica y el número de bacterias saprofitas (BS), que indica la cantidad de microorganismos transformadores de materia en componentes más simples (3). En Perú, el mayor número de empresas prestadoras de servicios de agua potable y alcantarillado EPS saneamiento que se han interesado en dar tratamiento optimo a sus líquidos residuales generados, emplean el tratamiento por lagunaje como son las pozas de estabilización, sin mantenimiento, ni monitoreo alguno, por lo que son completamente ineficientes, generando problemas de deterioro ambiental y riesgo a la salud pública (1).

Por ello, el tratamiento de las aguas residuales es una obligación inaplazable para todos los países latinoamericanos. Sin embargo, dadas las limitaciones económicas de la región es necesario buscar alternativas tecnológicas que garanticen efectividad, sencillez y bajo costo lo cual permitirá revertir la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas. Para el efecto es importante aprovechar todas aquellas experiencias de los países tales como: Colombia, México, Cuba, Brasil, entre otros.

Tratamiento secundario–proceso biológico.

Se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida y disuelta en el agua residual en sólidos sedimentables floculantes que puedan separarse en tanques de sedimentación (4). En un tratamiento biológico, las bacterias activas y otros microorganismos destruyen y metabolizan las materias

orgánicas solubles y coloidales, reduciendo la DBO y la DQO a valores inferiores a 100 mg/l. La velocidad de degradación depende de que se hallen presentes los microorganismos adecuados (5).

Procesos de oxidación biológica. La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción: Materia orgánica + Microorganismos + Nutrientes + O₂ → Productos Finales + Nuevos microorganismos + Energía

Tratamiento aerobio. La biomasa está constituida por microorganismos aerobios o facultativos, consumidores de oxígeno. El carbono de la materia orgánica disuelta en el agua se convierte parcialmente en CO₂, con producción de energía (6).

Demanda bioquímica de oxígeno. Es la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para descomponer la materia

orgánica en condiciones aerobias. Puede considerarse como un procedimiento en el cual los organismos vivos sirven como medio para la oxidación de la materia orgánica hasta dióxido de carbono y agua. El análisis se realizó a 20°C y durante cinco días, por esto se denomina: DBO₅, (7).

Demanda química de oxígeno: La DQO mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico del agua residuales, sus características y la forma en que se tomaron las muestras (8).

Bacterias. Pueden ser autótrofas o heterótrofas. En procesos de lodos activos normalmente las bacterias constituyen el 95 % del material celular (biomasa). La temperatura del medio es importante para el crecimiento bacteriano y de otros organismos, cada especie de bacterias se desempeña mejor dentro de cierto rango de temperatura, fuera de estas temperaturas su actividad es afectada apreciablemente, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de bacterias según el rango de temperatura (9).

Clasificación	Rango de Temperatura, °C	Optimo, °C
Psicrofilas	-5 a 30	10 a 20
Mesófilas	10 a 45	20 a 40
Termófilas	50 a 60	25 a 80

Aguas Residuales

Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales que se aprovechan para el riego

de áreas verdes; generalmente provienen de residencias, instituciones públicas o privadas, establecimientos comerciales e industriales, o la mezcla de todas ellas. Estas aguas contienen cierta cantidad de nutrientes, sin embargo, al

no ser tratadas presentan un peligro para el medio ambiente y la salud del hombre. Según Montoya (10), las aguas residuales presentan algunos elementos que limitan su uso en riego.

El objetivo de la investigación fue evaluar el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio y su influencia significativa en la reutilización del efluente en cultivos agrícolas, como consecuencia del estudio de investigación, en base monitoreo realizado in situ en las fechas programadas con el permiso de la Municipalidad de Ica (11). La investigación tiene como aporte el desarrollo tecnológico del distrito de Ica, en el mejor y efectivo tratamiento de las aguas residuales domesticas de la zona. Asimismo, la reducción de contaminantes de las aguas residuales para que éstas puedan ser reutilizadas en la mejora del medio ambiente, como en los cultivos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El departamento de Ica es uno de los veinticuatro departamentos que forman la

República del Perú, está ubicado en el centro oeste del país, limitando al norte con Lima, al este con Huancavelica y Ayacucho, al sur con Arequipa y al oeste con el Océano Pacifico. Según INEI (12), con 21 327 83 km² es el sexto departamento menos extenso y se fundó el 30 de enero de 1866, su territorio es casi por completo parte del desierto costero del Perú y conforma el llamado gran tablazo de Ica, con sus cinco provincias y es como sigue: Chincha, Pisco, Ica, Palpa y Nasca.

Puntos de monitoreo

Se establecieron dos puntos de monitoreo en el tratamiento de aguas domesticas mediante reactor anaerobio con fines de reutilización del efluente en cultivos agrícolas, con las siguientes coordenadas UTM. El punto ARD-010 (8 438 872N - 421 590E) y el punto ARD-020 (8 439156N - 421 346E), (Coordenadas UTM: Datum WGS84 Huso 18 Sur), la altitud media a 150 m.s.n.m. en la siguiente imagen.



Figura 1. Localización de los puntos de monitoreo de la Laguna de Oxidación-Cachiche: Puntos para el monitoreo: ARD-010 y ARD-020.

La investigación

Se realizó dos pruebas en la laguna de oxidación-Cachiche, ubicado en el Distrito de Ica, Provincia de Ica, Región de Ica, la investigación realizada fue de tipo experimental, de nivel descriptivo-explicativo, diseño experimental.

En la investigación experimental se consideró las siguientes fases para el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas y caracterización inicial de las aguas residuales, como la caracterización a la salida del agua residual en el reactor. En el análisis del proceso se pueden emplea para el tratamiento del agua residual lo siguiente: Desarrollo experimental (Tratamiento Biológico); Caracterización final del efluente luego del tratamiento; y Evaluación de los resultados.

Enfoque cuantitativo

Se realizó el tratamiento del agua residual procedente de la laguna de oxidación-Cachiche, en un reactor biológico continuo a escala de laboratorio, durante el tratamiento se tomará muestra representativa a la salida del

reactor biológico para medir la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, SS, DQO, DBO₅, CT, CF, pH y el Oxígeno disuelto.

Parámetros utilizados

- pH = Potencial de Hidrógeno
- DQO = Demanda Química de Oxígeno
- DBO₅ = Demanda Biológica de Oxígeno
- SS = Sólidos Suspendidos T = Temperatura
- CT = Coliformes Totales
- CF = Coliformes Fecales
- OD = Oxígeno Disuelto

Observaciones e instrumentos

En el cercado de la provincia de Pisco, se localizaron los puntos: ARD-010 y ARD-020, se realizó el monitoreo in situ en las fechas coordinadas con la Municipalidad de Ica: 06 de febrero y 02 de abril del 2021 respectivamente, en los dos puntos seleccionados como se observa en la Figura 1, pruebas realizadas in situ, se accedió a los análisis respectivos para obtener los parámetros del estudio de investigación como se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Estaciones de Muestreo de la Laguna de Oxidación-Cachiche.

Origen	Puntos	Descripción	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas UTM	
							Este	Norte
Aguas residuales domesticas	ARD 010	Ingreso del Afluente PTARD Cachiche	Caserío Cachiche	Ica	Ica	Ica	421590	8438872
Aguas residuales domesticas	ARD 020	Salida del Efluente PTARD Cachiche	Caserío Cachiche	Ica	Ica	Ica	421346	8439156

Se realizó el monitoreo in situ, siguiendo los criterios establecidos en el protocolo de monitoreo de efluentes líquidos y emisiones atmosféricas, aprobado por Resolución Ministerial N°273-2013-VIVIENDA (13), el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR protocolo de vigilancia de los recursos hídricos (14), el reglamento de estándares nacionales de calidad de agua (15,16), decreta en su artículo 1° Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), aprobar los

Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, Tabla 3.

Se utilizó un GPS (Garmin ETREX) para georreferenciar la zona, para levantar información de las coordenadas UTM, sistema: WGS-84, Zona: 18L para la ubicación geográfica de los puntos, además se utilizó un medidor de pH digital marca OAKTON, Modelo pH 310 para la determinación del potencial de hidrogeno para la determinación de los parámetros químicos de interés, se empleó un equipo MULTIPARAMETRO HACH modelo HQ40d, para la Medición in situ de T, pH, OD y CE.

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTARD: D.S. N° 003-2010-MINAM.

PARÁMETRO	pH	DQO	T°C	DBO	TDS	COLIFORMES TERMOTOLERANTES NMP/100 ml	COLIFORMES FECALES NMP/100 ml	A&G
D.S. N° 003-2010- MINAM LMP Aguas Residuales	6.5-8.5	200	<35	100	150	10,000	...	20

Desarrollo experimental

La parte experimental de esta investigación se realizó en un reactor biológico continuo, a escala de laboratorio en la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad Nacional San Luis Gonzaga-Ica. El afluente a

tratar “Agua Residual” domestica del colector de la Laguna de oxidación-Cachiche, Distrito de Ica, la toma de muestra se realizó al ingreso a la laguna de oxidación, como se observa en la imagen.



Figura 2. Laguna de Oxidación-Cachiche, Distrito de Ica.

El reactor fue hecho de acrílico transparente, como se muestra en la imagen. La capacidad de la cámara de aireación y sedimentación es de 8 litros respectivamente. El lodo fue obtenido de la planta de tratamiento de Yaurilla-Parcona, ubicado en la provincia de la Ica, esto con la finalidad de que se adapten mejor y en el menor tiempo posible para biodegradar la materia orgánica del agua residual doméstica. El lodo obtenido se conservó a 10°C hasta su adaptación, la biomasa se le alimentó agua residual de la laguna de oxidación-Cachiche en el reactor por 17 días a un flujo constante y a temperatura ambiente, luego se colocó el reactor en un sistema de calefacción a una

temperatura de 34°C por 78 días, aun pH es constante, para obtener el lodo anaerobio.

Procedimiento

Para el tratamiento del afluente se considera las siguientes etapas:

- Toma de la muestra “agua residual al ingreso de la laguna de oxidación.
- Toma de la muestra de la biodegradación de la materia orgánica a las 32 horas.
- Toma de la muestra “agua residual a la salida del reactor.



Figura 3. Reactor de flujo continuo a escala de laboratorio.

Toma de la muestra “agua residual”

La muestra de agua residual fue extraída al ingreso y salida de la PTARD Cachiche, Distrito de Ica, ver imagen.



Figura 4. Laguna de Oxidación que se encuentra ubicada en Cachiche-Ica.

Caracterización del afluente (Agua residual cruda)

Caracterización del agua residual en la alimentación del reactor, se tomó la muestra de la Laguna de Oxidación-Cachiche, Distrito

de Ica, como se muestra en la Tabla 4, durante el mes de febrero. Se adiciona cal para ajustar el pH del agua residual según las necesidades de la misma, para operar en un rango de pH entre 6 y 8.

Tabla 4. Resultados de caracterización del ARD de la Laguna de Oxidación-Cachiche.

Parámetros	Unidad	LMP	Afluente		Efluente	
			ARD-010-A	ARD-010-B	ARD-020A	ARD-020-B
			06.02.2021	02.04.2021	06.02.2021	02.04.2021
			Hora: 8:00 am	Hora: 10:00 am	Hora: 8:00 am	Hora: 10:00 am
Aceites y Grasas	mg/L	20	62	66	35	26
Coliformes Totales	NMP/100ml	10000	18 000 000	9 200 000	47x10 ⁵	11 x 10 ⁶
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	N,D,	3 200 000	3 500 000	39x10 ⁵	7 x 10 ⁶
DBO ₅	mg/L	100	320	297	216	190
DQO	mg/L	200	345	360	236	242
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	7.8	7,85	7,9	7,8
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	335	290	180	186
Temperatura	°C	< 35	21	26	25	26

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después del periodo de adaptación de la biomasa anaerobia, se analizó el afluente ARD-010, en las fechas indicadas, Tabla 4, y luego se analizó el efluente para determinar la biodegradación de la materia orgánica, que se realizó en el reactor anaerobio, considerándose la coordenada UTM, Figura 1, para la laguna de oxidación de Cachiche con los puntos ARD-010-A como afluente, se realizó el recojo de muestra a horas 8:00 am., luego se alimentó al

reactor anaerobio, se tomaron varias muestras TR-H del sistema de tratamiento de aguas residuales hasta un TR-32 horas, iniciándose el (06.02.2021), Tabla 5. Para el ARD-010-B como afluente se alimentó al reactor a hora 10:00 am, luego se alimentó al reactor anaerobio, se tomaron varias muestras TR-H del sistema de tratamiento de aguas residuales hasta un TR-32 horas, iniciándose el (02.04.2021), Tabla 6. Se muestra la Tabla 7 de los coliformes totales a 35 °C y coliformes fecales a 44.5 °C.

Tabla 5. Datos de las pruebas realizadas el 06 de febrero del 2021.

Parámetros	Unidad	TR-8	TR-12	TR-16	TR-20	TR-24	TR-28	TR-32
Aceites y Grasas	mg/L	27.8	18.0	3.8	2.0	1.1	0.7	0.6
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	2800000	640000	260000	26000	8000	1800	890
DBO5	mg/L	225	162	133	68	26	14	8
DQO	mg/L	261	176	138	78	38	32	27
pH	Unidad de pH	7.80	7.60	7.50	7.70	7.70	7.70	7.60
TSS	mg/L	335	224	182	100	48	46	38
Temperatura	°C	32.60	33.00	33.20	32.600	33.20	33.50	33.00

Tabla 6. Datos de las pruebas realizadas el 02 de abril de 2021.

Parámetros	Unidad	TR-8	TR-12	TR-16	TR-20	TR-24	TR-28	TR-32
Aceites y Grasas	mg/L	28	19.0	4.8	2.2	1.3	0.6	0.5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	2600000	650000	250000	22000	8000	1600	920
DBO5	mg/L	252	176	120	65	22	15	10
DQO	mg/L	241	189	160	92	45	38	26
pH	Unidad de pH	7.80	7.70	7.60	7.60	7.70	7.70	7.60
TSS	mg/L	335	222	181	98	46	42	36
Temperatura	°C	32.00	33.00	33.50	32.50	33.40	33.00	33.00

Tabla 7. Resultados de Ensayos Microbiológicos del Agua Residual Domestica de la Laguna de Oxidación-Cachiche, Distrito de Ica.

(06 de febrero del 2021)

Código Laboratorio	Muestra		Ensayos	
	Tipo	Punto de Muestreo	Coliformes Totales 35°C (NMP/100ml)	Coliformes Fecales 44.5°C (NMP/100 ml)
ARD-010	Muestra de agua residuales domesticas	Ingreso del Afluente a la PTAR - Cachiche	92 x 10 ⁵	35 x 10 ⁵
ARD-020	Muestra de agua residuales domesticas	Salida del efluente de la PTAR - Cachiche	47x10 ⁵	3,9x10 ⁵

(02 de abril del 2021)

Código Laboratorio	Muestra		Ensayos	
	Tipo	Punto de Muestreo	Coliformes Totales 35°C (NMP/100ml)	Coliformes Fecales 44.5°C (NMP/100 ml)
ARD-010	Muestra de Agua	Ingreso Laguna	18 x 10 ⁶	32 x 10 ⁵
ARD-020	Muestra de Agua	Salida Laguna	11 x 10 ⁶	7 x 10 ⁵

Resultados de los datos obtenidos el día 06 de febrero del 2021: DBO (5)

El afluente a tratar en el reactor se tomó a las 8:00 a.m., en el colector de ingreso a la Laguna de Oxidación-Cachiche del Distrito de Ica, al cual se le realizó su respectivo análisis, del agua residual cruda resultado de 320 mg DBO₅/l, como se observa en la Tabla 4 y luego llevo al sistema reactor anaerobio, se obtuvo los resultados a diferente TR-H, se muestran en la Tabla 5 y a las de 32 horas se tomó la última muestra del agua residual con el inóculo resultando un TR-32 de 8 mg DBO₅/l. En la Tabla 5, se puede distinguir que la concentración de DBO₅ disminuye rápidamente siguiendo una pendiente negativa en las primeras horas, obteniendo una eficiencia del 81.94%.

Resultados de los datos obtenidos el día 06 de febrero del 2021: DQO

El afluente a tratar en el reactor se tomó a las 8:00 a.m., en el colector de la Laguna de Oxidación-Cachiche del Distrito de Ica, el cual se le realizó su respectivo análisis, del agua residual cruda resultado de 345 mg DQO/l, como se observa en la Tabla 4 y luego llevo al sistema reactor de flujo ascendente,

obteniéndose los resultados a diferente TR-H, se muestran en la Tabla 5 y a las de 32 horas se tomó la última muestra del agua residual con el inóculo resultando un TR-32 de 27 mg DQO/l. En la Tabla 5, se puede distinguir que la concentración de DQO disminuye más en las primeras horas, obteniendo una eficiencia del 80.17%.

Resultados de los datos obtenidos el día 02 de abril del 2021: DBO (5)

El afluente a tratar en el reactor se tomó a las 10:00 a.m., en el colector de ingreso a la Laguna de Oxidación-Cachiche del Distrito de Ica, al cual se le realizó su respectivo análisis, del agua residual cruda resultado de 297 mg DBO₅/l, como se observa en la Tabla 4 y luego llevo al sistema reactor anaerobio, se obtuvo los resultados a diferente TR-H, se muestran en la Tabla 6 y a las de 32 horas se tomó la última muestra del agua residual con el inóculo resultando un TR-32 de 10 mg DBO₅/l. En la Tabla 6, se puede distinguir que la concentración de DBO₅ disminuye más en las primeras horas, obteniendo una eficiencia del 79.11%.

Resultados de los datos obtenidos el día 02 de abril del 2021: DQO

El afluente a tratar en el reactor se tomó a las 10:00 a.m., en el colector de la Laguna de Oxidación-Cachiche del Distrito de Ica, el cual se le realizó su respectivo análisis, del agua residual cruda resultado de 360 mg DQO/l, como se observa en la Tabla 4 y luego llevo al sistema reactor de flujo ascendente, obteniéndose los resultados a diferente TR-H, se muestran en la Tabla 6 y a las de 32 horas se tomó la última muestra del agua residual con el inóculo resultando un TR-32 de 26 mg DQO/l. En la Tabla 6, se puede distinguir que la concentración de DQO disminuye más en las primeras horas, obteniendo una eficiencia del 77.30%.

CONCLUSIONES

El reactor biológico se le adiciono el 23% del volumen total, equivalente a 1130.4 ml, el resto fue agua residual haciendo un total de 5000 ml., se dejó por 14 días y el reactor estuvo a una temperatura ambiente. Luego el sistema listo para la biodegradación de la materia orgánica de la DB05 a 32 Horas con una eficiencia del 81.94%, para la DBO5 (06.02.2021) y a las 32 Horas con una eficiencia del 79.11%, para la DBO5 (02.04.2021).

El tratamiento con reactor anaerobio y la reutilización de aguas residuales domesticas para cultivos agrícolas se obtuvieron para TR-32 horas con pH de 7.7; solidos suspendidos 38 mg/l y para los coliformes termo tolerantes un valor 890 NMP/100ml; valores que se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental ECA AGUA para su reusó en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida

de animales del DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

En referencia a los parámetros microbiológicos que indican la contaminación por patógenos existe una gran diferencia en la eficiencia del modelo anaeróbico respecto al de la PTARD cuyos resultados son de 890 NMP/100ml y 700000 NMP/100ml respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azimi AA, Zamanzadeh M. Determination of Design Criteria for UASB Reactors as a Wastewater Pretreatment System in Tropical Small Communities. *Int J Environ Sci Tech.* 2004;1(1):121-129. http://applications.emro.who.int/imemrf/Int_J_Environ_Sci_Technol/Int_J_Environ_Sci_Technol_2004_1_1_51_57.pdf
2. Banu JR, Kaliappan S, Yeom IT. Treatment of Domestic Wastewater Using Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Int J Environ Sci Technol.* 2007;4:363-370 p. doi:<https://doi.org/10.1007/BF03326295>
3. Bellido S, Estrella M. Puesta en marcha de un reactor biologico discontinuo con una biomasa anaerobia y un sustrato de lixiviado. Published online 2003.
4. García C. Agua dulce y agua salada.
5. Vasquez A, Valdez E. Ingenieria de los sistemas de tratamiento y disposicion de aguas residuales tratamiento de agua. Fundacion ICA mexico; 2003.
6. Setty AKE, Kayser GL, Bowling M, et al. Water quality, compliance, and health outcomes among utilities implementing Water Safety Plans in France and Spain. *Int J Hyg Environ Health.* Published online 2017;43 pp. doi:10.1016/j.ijheh.2017.02.004
7. Ferrer J, Seco A. Tratamientos biologicos de aguas residuales. Primera Ed. Alfa Omega Grupo Editor; 2008.

- 8.** Ramirez L, Duran M. Demanda química de oxígeno de muestras acuosas. Serie: Química Ambiental de los Residuos Peligrosos. Volumen 1. Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (PIQAYQA) Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México; 2008.
- 9.** Shomar B, Al-Darwish K, Vincent A. Optimization of wastewater treatment processes using molecular bacteriology. *J Water Process Eng.* 2020;33(August 2019):101030. doi:10.1016/j.jwpe.2019.101030
- 10.** Montoya E. Evaluación de alternativas para la instalación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con fines de riego agrícola en el sub sector San Agustín – Callao (Perú). Published online 2007.
- 11.** Ayesa Iturrate E, Larrea Urcola MA. Optimización del diseño, operación y control de las EDAR utilizando modelos matemáticos y herramientas de simulación. *Tecnol del Agua.* 2005;25(266):74-79.
- 12.** INEI. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. 2017. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1496/libro.pdf
- 13.** Resolución Ministerial N°026-2000-ITINCI-DM. Resolución Ministerial N°026-2000-ITINCI-DM. Published online 2002; p38 . https://www.legislacionambientalspda.org.pe/images/stories/normas/Pioner_2/IV.4.Industrial/4.Resoluciones_ministeriales/Resolucion_ministerial_026-2000-ITINCI-DM.doc
- 14.** DIGESA_007_VI. Procedimientos Para la Vigilancia de los Recursos Hídricos (COS - Seguimiento de la(s) Muestra(s) -. Published online 2002;6 pag. https://www.legislacionambientalspda.org.pe/images/stories/normas/Pioner_2/IV.4.Industrial/4.Resoluciones_ministeriales/Resolucion_ministerial_026-2000-ITINCI-DM.doc
- 15.** Decreto Supremo N°004-2017-MINAN. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano.* <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>. Published 2017.
- 16.** Decreto Supremo N°003-MINAM (Ministerio del Ambiente). Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *Normas Leg El Peru.* Published online 2010:1-2. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf