



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

“Tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente en el equilibrio ecológico microbiano de la laguna Boca del Rio, Pisco, 2021”

Presentado por:

LEVANO MORAN JOSE ALFREDO

ROL DEL AUTOR del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es PORCENTAJE DE SIMILITUD del 5 % por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 16 mayo de 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA DE ICA"
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA - UNIDAD DE INVESTIGACION
[Firma]
Dr. Jaime Martínez Hernández
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS

Tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente en el equilibrio ecológico microbiano de la laguna Boca del Rio, Pisco, 2021

Línea de investigación:

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

Presentado Por:

BACH. LEVANO MORAN JOSE ALFREDO

ICA- PERU

2022

TESIS:

Tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente en el equilibrio ecológico microbiano de la laguna Boca del Rio, Pisco, 2021

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

AUTOR:

BACH. LEVANO MORAN JOSE ALFREDO

ASESOR:

Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

DEDICATORIA

A los "Jotitas Lévano", mis hijos José, Jesús y Janicé quienes son mi motor y luz en la vida a quienes espero ser un ejemplo e inspiración a seguir

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por darme los dones necesarios para cumplir con este objetivo y por poner en mi camino a las personas que me acompañaron en este proceso, como el **Ing. Walterio Landeo Olivares** quien me animó a estudiar mi segunda carrera.

A mis **amigos y compañeros** de trabajo **Marco Bravo Peña y Sandy Aroné Mendoza** quienes me apoyaron con su aliento y conocimientos, mis colegas como los Doctores **Pedro Córdova Mendoza, Antonina García Espinoza, Dante Calderón Huamani, Jaime Martínez Hernández, Luis Massa Palacios y al Ing. Aquiles Bendezú Bendezú.**

Finalmente, a **mi familia** que tuvieron la paciencia y buen ánimo de soportar las largas noches de desvelo y ausencias en las reuniones familiares.

INDICE DE CONTENIDO

INFORME FINAL DE TESIS:	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
INDICE DE CONTENIDO	V
INDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
SUMMARY	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION	2
1.2.1. <i>Antecedentes internacionales</i>	2
1.2.2. <i>Antecedentes nacionales</i>	3
1.2.3. <i>Antecedentes locales</i>	3
1.3. BASES TEÓRICAS.....	3
1.3.1. <i>Tratamiento de las Aguas Residuales</i>	3
1.3.2. <i>Aguas residuales doméstica</i>	4
1.3.3. <i>Tratamiento biológico</i>	4
1.3.4. <i>Disposición de las Lagunas de Estabilización</i>	6
1.3.5. <i>Caracterización de las Aguas residuales</i>	7
1.3.6. <i>Equilibrio Ecológico Microbiano</i>	12
1.3.7. <i>Sistemas de lodos activados</i>	12
1.3.8. <i>Parámetros operacionales en lodos activados</i>	13
1.3.9. <i>Factores de influencia</i>	14
1.3.10. <i>Indicadores de estabilidad del sistema de lodos activados</i>	15
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	15
1.4.1. <i>Problema General</i>	16
1.4.2. <i>Problema Especifico</i>	16
1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.5.1. <i>Objetivo principal</i>	16
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	16
1.6. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.6.1. <i>Hipótesis principal</i>	17
1.6.2. <i>Hipótesis Específica</i>	17
1.7. VARIABLES	17
1.7.1. <i>Variable independiente</i>	17
1.7.2. <i>Variable Independiente</i>	17
1.7.3. <i>Operacionalización de Variables</i>	18
1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.8.1. <i>Justificación</i>	19
1.8.2. <i>Importancia</i>	19
1.9. MARCO CONCEPTUAL	20

1.9.1.	<i>Gestión del Agua</i>	20
1.9.2.	<i>Nueva Cultura del Agua</i>	20
1.9.3.	<i>Aguas Residuales</i>	20
1.9.4.	<i>Saneamiento y Salud</i>	20
1.9.5.	<i>Recirculación</i>	21
1.9.6.	<i>Carga orgánica</i>	21
1.9.7.	<i>Tiempo de retención hidráulico (TRH)</i>	21
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA	22
2.1	ÁREA DE ESTUDIO	22
2.2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.2.1	<i>Tipo y nivel de la investigación</i>	24
2.2.2	<i>Población y muestra</i>	24
2.3	PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA GENERAL	25
2.3.1	<i>Técnica de recolección de datos</i>	25
2.3.2	<i>Instrumentos de recolección de datos</i>	26
2.3.3	<i>Técnicas de procesamiento de datos</i>	29
2.3.4	<i>Análisis e interpretación de los datos</i>	30
2.4	MARCO LEGAL	31
2.4.1	<i>La Constitución Política de 1993.</i>	31
2.4.2	<i>Ley General de Aguas (D.S. N°17752), D.S. 261-69-AP</i>	32
2.4.3	<i>Varias normas legales</i>	34
2.4.4	<i>“Norma OS. 090 plantas de tratamiento de aguas residuales</i>	34
2.4.5	<i>Calidad de agua para reúso (Criterio de riesgo para la salud)</i>	35
2.4.6	<i>“Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM</i>	36
III.	RESULTADOS	37
3.1.	EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL EQUILIBRIO ECOLÓGICO MICROBIANO DE LA LAGUNA BOCA DEL RIO.	37
3.2.	LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL EN EL EQUILIBRIO ECOLÓGICO MICROBIANO DE LA LAGUNA BOCA DEL RIO	40
3.2.1.	<i>Prueba de hipótesis estadística de investigación: Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, en base producción de lodos</i>	49
3.3.	EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LOS PARÁMETROS BIOCINÉTICOS DE LA LAGUNA BOCA DEL RIO	52
3.3.1.	<i>“Prueba de hipótesis estadística de investigación: El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente en los parámetros biocinéticos de la laguna Boca del Rio, en base a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)</i>	
	62	
IV.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
4.1.	EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL EQUILIBRIO ECOLÓGICO MICROBIANO DE LA LAGUNA BOCA DEL RIO, PISCO	65
4.2.	LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL EN EL EQUILIBRIO ECOLÓGICO MICROBIANO DE LA LAGUNA BOCA DEL RIO	66

4.3. EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LOS PARÁMETROS BIOCINÉTICOS DE LA LAGUNA BOCA DEL RIO.....	67
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. RECOMENDACIONES.....	72
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS.....	80
ANEXO I.....	81
ANEXO II.....	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 “Laguna de oxidación, área, volumen y tiempo de retención” [18, p.12].....	5
Tabla 2 Operacionalización de variables.....	18
Tabla 3 Límites bacteriológicos (valores en N.M.P./100Mil)	32
Tabla 4 Límites de demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.) 5 días, 20°C y de oxígeno disuelto (O.D.) valores en mg/l.....	33
Tabla 5 Límites de sustancias potencialmente peligrosas valores en mg/m ³	33
Tabla 6 Área de influencia PTAR-Boca del Rio	38
Tabla 7 Caracterización del afluente de las AR-PTAR-Boca del Rio	41
Tabla 8 Caracterización del AR-PATR-Boca del Rio	42
Tabla 9 Muestra AR-RFA-01. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)	43
Tabla 10 Muestra AR-RFA-02. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)	43
Tabla 11 Muestra AR-RFA-03. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)	44
Tabla 12 Muestra AR-RFA-04. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)	46
Tabla 13 “Monitoreo de SSVLM de cada Reactor durante Operación del sistema” [24]	47
Tabla 14 Producción de lodos en el AR-RFA	48
Tabla 15 Monitoreo de índice volumétrico de lodos	49
Tabla 16 Resultado de producción de lodos	50
Tabla 17 “Resumen de valores monitoreados del sistema de tratamiento” [24]	53
Tabla 18 “Valor de la pendiente (k)” [24].....	55
Tabla 19 “Constante de afinidad (Ks) y Constante de velocidad específica (q _{max})” [24]	57
Tabla 20 “Rendimiento (Y) y Constante de decaimiento o muerte del microorganismo (K _d)” [24].....	59
Tabla 21 “Cantidad de O ₂ necesario para remover la DBO (a) y Cantidad de O ₂ en la respiración endógena (b)” [24]	61
Tabla 22 Resultado y comparación con los LMP para los efluentes de PTAR	62
Tabla 23 Metodología de evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Rio.....	65
Tabla 24 Resumen del parámetro: concentración de sólidos suspendidos totales en el tanque de aireación (SSTA)	66
Tabla 25 “Parámetros recomendados de diseño según norma OS.090” [61]	67
Tabla 26 Resumen de los parámetros biocinéticos	68
Tabla 27 Valores calculados experimentalmente de los parámetros biocinéticos	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Croquis de la Laguna Boca del Rio	6
Figura 2	Sistema de lodos activados	13
Figura 3	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Boca del Rio	22
Figura 4	Sistema existente de redes de alcantarillado (Pisco-San Andrés)	23
Figura 5	. Planta de tratamiento “Boca del Rio”, Pisco	24
Figura 6	Ingreso de las aguas residuales de Pisco y San Andrés	25
Figura 7	Recolección de muestras	25
Figura 8	Límites máximos permisibles para los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Rio	26
Figura 9	Las muestras son analizadas en el laboratorio	29
Figura 10	Laboratorio físico-químico	29
Figura 11	Laboratorio microbiológico	30
Figura 12	Análisis físico-químicos	30
Figura 13	Análisis microbiológicos	31
Figura 14	Ecuación de Monod	31
Figura 15	Ingreso a PTAR “Boca De Rio”	37
Figura 16	Área de influencia PTAR Boca del Rio	38
Figura 17	. Lagunas aerobias	39
Figura 18	Lagunas facultativas	39
Figura 19	Lagunas de maduración	40
Figura 20	Descarga de efluente PTAR “Boca de Rio”	40
Figura 21	Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-01	43
Figura 22	Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-02	44
Figura 23	Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-03	45
Figura 24	Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-04	46
Figura 25	Modelo cinético de primer orden	55
Figura 26	Parámetros biocinéticos (Ks y qmax)	57
Figura 27	Parámetros biocinéticos (Y y Kd)	59
Figura 28	Parámetros biocinéticos (“a” y “b”)	61

RESUMEN

Objetivo, fue determinar que el “tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la laguna Boca del Rio, Pisco. **Material y Métodos** el estudio realizado de tipo observacional-prospectivo-transversal, nivel descriptivo, diseño experimental, la investigación aplicada. **Resultados**, el “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, y la Norma Técnica OS.090: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”. Como prueba de hipótesis para la producción de lodos se aplicó la prueba estadística de Kolmogorov, el estadístico calculado de prueba $-12.8531 <$ que el estadístico crítico teórico -2.353 , se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y se acepta la Hipótesis Alternativa (H_a). Se empleó la prueba t de Student en correspondencia a los Límites Máximos Permisibles, el estadístico calculado de prueba $0.3929 <$ que el estadístico crítico teórico 0.70760 , se acepta la Hipótesis Nula (H_0) y se rechaza la Hipótesis Alternativa (H_a). **Discusión**, el parámetro de la producción de lodos tiene una distribución normal, lo que permite calcular la concentración de sólidos suspendidos totales, con los cuatro sistemas AR-RFA siendo correctos. Se puede aseverar que el parámetro efluente DBO_5 no afecta en el vertido como cuerpo de agua y permitió obtener los parámetros biocinéticos con una $K=0.0276$ l/mg.d, $K_S=23.5044$ mg/l, $q_{max}=0.6572$ h⁻¹, $K_D=0.0154$ KgSSV/d.KgSSV_{AR-RFA}, $a =0,4091$ kgO₂/DBOr y $b =0,01272$ KgO₂/d.KgSSV_{AR-RFA}. **Conclusiones**, la mezcla completa de remoción de DBO_5 en un rango de 85-95, el PTAR Boca del Rio cumple con los parámetros del equilibrio ecológico microbiano.

Palabras Claves: *tratamiento de aguas residuales, reactor anaerobio de flujo ascendente, equilibrio ecológico microbiano.*

SUMMARY

The **Objective** was to determine that “the treatment of wastewater by means of an upflow anaerobic reactor” significantly influences the microbial ecological balance of the Boca del Rio lagoon, Pisco. **Material and Methods** the study was carried out of an observational-prospective-transversal type, descriptive level, experimental design, applied research. **Results**, the "Supreme Decree No. 003-2010-MINAM, and Technical Standard OS.090: Wastewater Treatment Plants." As a hypothesis test for sludge production, the Kolmogorov statistical test was applied, the calculated test statistic $-12.8531 <$ than the theoretical critical statistic -2.353 , the Null Hypothesis (H_0) is rejected and the Alternate Hypothesis (H_a) is accepted. Student's t-test was used in correspondence to the Maximum Permissible Limits, the calculated test statistic $0.3929 <$ than the theoretical critical statistic 0.70760 , the Null Hypothesis (H_0) is accepted and the Alternate Hypothesis (H_a) is rejected. **Discussion**, the sludge production parameter has a normal distribution, which allows calculating the concentration of total suspended solids, with the four AR-RFA systems being correct. It can be asserted that the effluent parameter BOD_5 does not affect the discharge as a body of water and allowed obtaining the biokinetic parameters with $K=0.0276$ l/mg.d, $K_S=23.5044$ mg/l, $q_{max}=0.6572$ h⁻¹, $K_D= 0.0154$ KgSSV/d.KgSSV_{AR-RFA}, $a =0.4091$ kgO₂/BOD and $b =0.01272$ KgO₂/d.KgSSV_{AR-RFA}. **Conclusions**, the complete mixture of BOD_5 removal in a range of 85-95, the Boca del Rio WWTP complies with the parameters of the microbial ecological balance.

Keywords: *wastewater treatment, upflow anaerobic reactor, microbial ecological balance*

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

El siglo XXI, exige mayor compromiso y responsabilidad para la sostenibilidad de la calidad del ambiente que establece un requerimiento esencial para la salud humana y el desarrollo sostenible.

Tamayo y Esquivel, [1] A finales del siglo XVIII con la Revolución Industrial marca un punto de inflexión en la historia, modificando e influenciando todos los aspectos de la vida cotidiana de una u otra manera, esto ha permitido el aumento de las demandas sobre los recursos hídricos en el planeta. En la actualidad se sostiene que el ambiente y el crecimiento económico es un producto social, es decir, el resultado de la acción humana sobre el medio natural. Esta realidad plantea, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por Naciones Unidas que abordan los mayores retos de la humanidad desde una perspectiva global y transversal, con una visión a futuro hacia el año 2030. Los nuevos paradigmas están cambiando las nociones sobre qué son estos recursos y cómo deben utilizarse, de hecho, el aumento del uso del agua ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas como la desalinización del agua de mar y el reúso de aguas residuales tratadas [2].

Rolim, “Las lagunas de estabilización son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo. los costos de operación son bajos, se garantiza la remoción de la materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales NMP/100” [3]. *Oakley*, “La descarga de aguas residuales crudas es un peligro a la salud pública especialmente cuando se utilizan los cuerpos receptores contaminados como fuente de agua potable, para aseo personal, lavado de ropa, riego y pesquería” [4].

Cortés et al, El tratamiento de las aguas de lagunas facultativas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos. Estos pueden alternarse de diferentes maneras, lo que ofrecerá como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos. “Todos estos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos, casi todas las plantas de tratamiento de lagunas facultativas se conciben con base en procesos biológicos” [5].

Según, **Romero**, [6] sobre, “los parámetros cinéticos que rigen la ecuación de la DBO han sido estudiados por muchos investigadores y se ha determinado que la temperatura es uno de los parámetros que influye sobre la constante de biodegradación (k) y sobre la demanda última (L)”.

Cortes, “En el tratamiento de aguas residuales la materia orgánica se refiere a todos los contaminantes que provengan de organismos vivos” [5]. **Metcalf y Eddy**, “La demanda bioquímica de oxígeno, es la cantidad de oxígeno utilizado en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica durante cinco días a 20 °C, se expresa en términos de concentración; es para dimensionar las lagunas de estabilización” [7].

Oakley y Salguero, “No existe una norma legislada adecuada en los países de América Central que enfrente los problemas de patógenos, es importante que los profesionales involucrados en la salud pública evalúen las normas de diseño y nivel de tratamiento que causan problemas” [8].

1.2. Antecedentes de investigación

1.2.1. Antecedentes internacionales

Oakley y R. Jiménez, “De los 52,000,000 m³/día de aguas residuales que se recolectan en América Latina, se estima que solamente 3,100,000 m³/día, o 6%, reciben tratamiento adecuado antes de ser dispuestas en cuerpos de agua o campos agrícolas”[9]. **Egocheaga y J. Moscoso**, “Este problema es serio, hay una tendencia en todo América Latina de usar para riego agua residual sin tratar o diluida con otra fuente de agua, en todo América Latina hay un mínimo de 981,445 hectáreas regadas con agua residual”[10].

Chibinda, [11] “En la investigación caracteriza y evalúa las aguas de dos pozos en "La Calera", Santiago de Cuba, (Pozos I y II), con doce muestreos, analizadas por métodos físico-químicos y bacterias coliformes totales y fecales, los resultados reflejaron aguas no aptas”.

Según, **Cortés et al**, [5], “hace referencia sobre el tratamiento de las aguas de lagunas facultativas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos, estos pueden alternarse de diferentes maneras, lo que ofrecerá como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos”. **Cortés et al**, “Todos estos

se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos, sin embargo, casi todas las plantas de tratamiento de lagunas facultativas se conciben con base en procesos biológicos” [5].

Manifiesta, *Meister et al.*, [12], “en el tratamiento de aguas residuales se requieren procesos de múltiples etapas para limpiar suficientemente el afluente de aguas residuales que surgen de actividades domésticas o industriales, esencial para lograr altas tasas de purificación es la etapa de tratamiento biológico”, Además, *Meister et al.*, que: “el objetivo es proporcionar condiciones ambientales favorables para mejorar el proceso de auto purificación natural del agua”[12], “el procedimiento de tratamiento técnico más utilizado se denomina proceso de lodos activados, debido a que diferentes especies de bacterias que residen en el lodo impulsan el ciclo de tratamiento”[12].

1.2.2. Antecedentes nacionales

Parker et al., “El objetivo principal de la planta de tratamiento es disminuir/eliminar los contaminantes que pueden causar daño al medio ambiente y la salud, tales como sólidos en suspensión, materia orgánica, nutrientes, productos químicos y microorganismos” [13].

Ramírez, [14] “Al evaluar la calidad de aguas residuales del tratamiento primario en pozas de oxidación, en parámetros físicos, químicos y biológicos, plantear la reutilización y proponer un nuevo sistema, realizó la medición de las dimensiones de las pozas de oxidación”.

1.2.3. Antecedentes locales

Se ha revisado la bibliografía en relación al tema de investigación y no se ha encontrado investigación al respecto.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Tratamiento de las Aguas Residuales

Según, *Amador*, [15], “indica que es una infraestructura de saneamiento ambiental, consistente en una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas por filtración biológica, compuesta por diversos componentes

relacionados o conectados entre sí para funcionar en conjunto a modo de sistema”. “Las aguas residuales domesticas en el alcantarillado sanitario desde las viviendas (preparación de alimentos, higiene personal, lavado de ropas y sanitarios), no debe recibir aguas residuales industriales o comerciales, ni agua de lluvia de viviendas a la red de alcantarillado” [16].

1.3.2. Aguas residuales doméstica

OEFA, [14, p. 7] “Aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente”.

1.3.3. Tratamiento biológico

PTAR Boca de Rio, “En la actualidad los procesos bioquímicos que están desarrollándose en ellas: procesos anaeróbicos, aeróbicos y de maduración”[18, p.9]. “El término biológico significa que la oxidación de las sustancias orgánicas (reducción de la demanda de oxígeno) se realiza mediante procesos biológicos donde intervienen bacterias, hongos y algas que dirigen o absorban las sustancias en sus procesos vitales”[18, p.9]. *PTAR Boca de Rio*, “Se ha seleccionado un proceso de cuatro etapas biológicas en una limitación del terreno, con el objetivo de obtener un efluente apto para el reúso en la agricultura, a saber:

- Etapa anaeróbica,
- Etapa facultativa,
- Maduración,
- Acabado”[18].

PTAR Boca de Rio, “El diseño de las lagunas delimita físicamente las zonas anaeróbicas, aeróbicas y de maduración en lagunas distintas, sin embargo, el régimen respectivo se desarrolla según la carga y temperatura actual en las lagunas”[18]. Por lo tanto, con baja carga inicial, las lagunas anaeróbicas pueden mostrar características facultativas.

Tratamiento anaeróbico

OMS, “Las lagunas anaeróbicas están caracterizadas por una carga biológica alta de 100 g DBO₅/m³/d), que origina la ausencia de oxígeno disuelto y una

fuerte reducción de la carga biológica. Las emisiones del tratamiento anaeróbico consisten en tres agregados:”[19]

- “Líquido con un alta contenido de sustancia orgánica digerida, pero también sustancia ya mineralizada;
- Sólidos orgánicos en forma de lodo, alrededor de 40 l por habitante por año;
- Gases, sobre todo anhídrido carbónico, hidrógeno sulfurado, metano y vapor”[20].

OMS, “En las lagunas anaeróbicas se desarrollan simultáneamente tres procesos:

- Decantación y flotación de materia según su densidad;
- De composición de la materia orgánica disuelta;
- Digestión de los lodos”[20].

Tratamiento aeróbico

Agudelo y Alvear, “Por la absorción de oxígeno a través de la superficie”[21] y *Böhnke y Pöppinghaus*, “la fotosíntesis de las algas”[22], que se desarrollan en la laguna aeróbica, se reduce el déficit de oxígeno en el cuerpo de agua al alejarse de la zona de entrada y el proceso de digestión microbiológica se convierte en un régimen aeróbico.

Tabla 1 “Laguna de oxidación, área, volumen y tiempo de retención” [18, p.12]

Laguna	Ancho (m)	Largo (m)	Tirante (m)	Superficie (m²)	Volumen (m³)	R_T (d)
Aireación	100	100	3.50	10 000	30 456	5,1
Facultativa	240	240	1.50	30 000	43 318	7,2
Maduración	367	125	1.50	45 875	66 824	5,6
Acabado	367	125	1.50	45 875	66 824	5,6

Quispe, “Las bacterias aeróbicas y las algas conviertan los carbohidratos y otras sustancias nutritivas en CO₂, H₂O, NH₃, NO₃⁻ y SO₄⁻”[23], es decir continua *Quispe*, que: “en sustancias inorgánicas y estables, se recomienda

que el tiempo de retención en la sección aeróbica sea por lo menos 5 días con una profundidad de 1,5 hasta 2,0 m”[23]. “Tal como están diseñadas las lagunas aeróbicas tienen una profundidad de 1,6 m y el tiempo de retención es de 7,2 días véase tabla 1”[23]. *Quispe*, “Las emisiones del tratamiento aeróbico contienen materia orgánica sobre todo en forma de bacteria y algas, substancia inorgánica disuelta y gases como anhídrido carbónico y vapor”[23].

De maduración

Quispe, “En el fondo de las lagunas se forma la primera zona que es un estrato de lodo anaerobio conformado por los sólidos sedimentables que se acumulan en el los microorganismo”[23], continua *Quispe*, “en esta son utilizadas para el tratamiento terciario de efluentes de estaciones de oxidación biológica, tales como filtros biológicos, lodos activados y lagunas facultativas” [23]. “La finalidad es producir un efluente de alta calidad a través de la concentración de nitratos y fosfatos y en pequeñas proporciones, una reducción adicional de DBO₅”[23].

1.3.4. Disposición de las Lagunas de Estabilización

Según, *Aguirre y Yanac*, “Indica que el tratamiento de aguas residuales se puede efectuar en una, dos o más lagunas; cada laguna se denomina célula y el conjunto, sistema de lagunas”[24]. “La experiencia ha demostrado que el tratamiento biológico en una serie de lagunas es más eficiente que en una laguna de área equivalente, ver figura 1”[24].

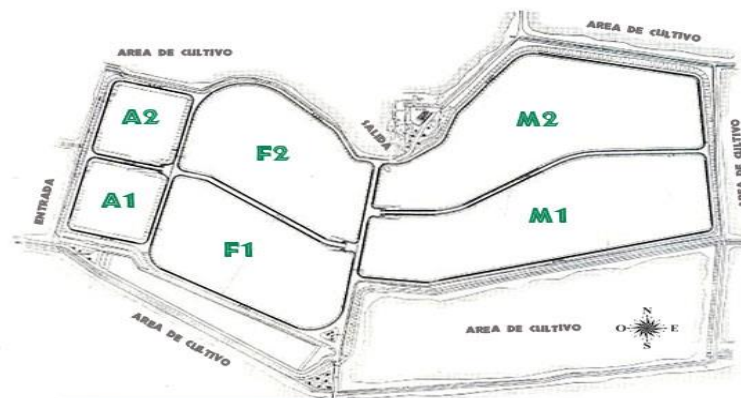


Figura 1. Croquis de la Laguna Boca del Río

1.3.5. Caracterización de las Aguas residuales

Características Físicas

Temperatura

Metcalf & Eddy, “El agua residual presenta una temperatura más elevada que el agua de suministro, debido a la incorporación de aguas de diversas fuentes o de diferentes usos las cuales son más calientes”[25]. “Las temperaturas que se registran durante la mayor parte del año en las aguas residuales son más altas que el agua normal, y solo son menores cuando se presentan climas calurosos, esto se debe a que el calor específico del agua es mucho mayor que la del aire”[25]. *Metcalf & Eddy*, “El momento en que la temperatura de las aguas residuales se ha incrementado de forma anormal se da una proliferación de plantas acuáticas y hongos”[25].

Densidad

Metcalf & Eddy, “La densidad del agua residual es expresada en kg/m^3 . La potencial formación de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento depende de la densidad, por lo que es una característica física importante del agua residual”[25]. *Metcalf & Eddy*, “Habitualmente la densidad del agua residual doméstica que no presenta cantidades grandes de residuos industriales es la misma que la del agua limpia a la misma temperatura”[25].

Olor

Metcalf & Eddy, “El olor es producido por la descomposición de la materia orgánica y por los gases que producto de este proceso son liberados”[25]. “El agua residual que ha sido descargada recientemente tiene un olor propio, a pesar de ser desagradable, resulta más tolerable que el olor del agua residual séptica”[25]. Continúa, *Metcalf & Eddy*, que: “en esta última debido a la acción de microorganismos anaerobios, los cuales producen sulfuro de hidrógeno y dan el olor propio a la misma, esto ocurre por la reducción de los sulfatos a sulfitos”[25].

Color

Campoverde y Loayza, “El agua presenta dos tipos de color: el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez se conoce como color verdadero, y el color que incluye las sustancias que se encuentran en solución, coloidales”[26], También, *Campoverde y Loayza*, “el color debido al material suspendido se conoce como color aparente, éste se determina sobre la muestra original, sin filtración o centrifugación previa”[26].

Turbiedad

Campoverde y Loayza, “Determina la transmisión de la luz en el agua. Este parámetro se lo mide llevando a cabo una comparación entre la intensidad de luz disipada en la muestra de agua y la registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones”[26].

“Sólidos

Conforman la materia sólida presente en el agua residual”[26].

- **“Sólidos totales**, después del proceso de evaporación y secado a 103°C realizado con el agua, queda una materia como residuo, a éste se lo conoce como sólidos totales. Los sólidos totales están formados por material disuelto y no disuelto”[26].
- **“Sólidos disueltos**, también conocidos como residuo filtrable. Son determinados directamente o se los puede realizar por diferencia de pesos entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos”[26].
- **“Sólidos suspendidos**, conocidos también como residuo no filtrable o material no disuelto, los mismos que pueden ser determinados efectuando una filtración por medio de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol pesado previamente”[26].
- **“Sólidos volátiles y sólidos fijos**, esta determinación se la hace con el fin de conocer la cantidad de materia orgánica presente, se la realiza generalmente en aguas residuales y lodos”[26].
- **“Sólidos sedimentables**, son aquellos sólidos que se encuentran en suspensión en el agua residual y posteriormente sedimentarán, sin acción

de ningún agente externo, en condiciones tranquilas y por efecto de la gravedad”[26].

Características Físicas

Materia Orgánica

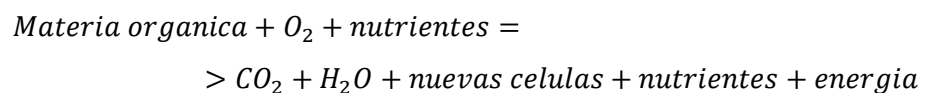
Metcalf & Eddy, “Entre las principales sustancias orgánicas que se pueden encontrar en el agua residual están: las proteínas (40 – 60%), los hidratos de carbono (25 – 50%), y las grasas y aceites (10%)”[25]. *Metcalf & Eddy*, “La urea es otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual”[25]. “Sin embargo, la velocidad del proceso de descomposición de la urea es relativamente lenta por lo que es poco común que esté presente en las aguas residuales que no sean muy recientes”[25].

Hidratos de Carbono

Metcalf & Eddy, “Los hidratos de carbono están distribuidos en la naturaleza abundantemente e incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, y todos estos están presentes en el agua residual”[25]. *Metcalf & Eddy*, “Contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Ciertos carbohidratos como los azúcares son solubles en el agua, mientras que otros son insolubles como los almidones”[25].

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Aguirre y Yanac, “La oxidación microbial o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que se producen en los cuerpos naturales de agua, la cual se produce por acción de microorganismos heterotróficos, a los cuales hay que cuantificar”[24].



Aguirre y Yanac, “Para conocer la concentración de materia orgánica en las aguas residuales el ensayo más importante para su determinación es la DBO a cinco días”[24]. “La DBO es el oxígeno utilizado por los microorganismos durante la transformación de la materia orgánica presente en el agua residual, la determinación de la DBO se la realiza en condiciones aeróbicas en un

período de 5 días a 200°C”[24]. “El valor de la DBO en aguas residuales domésticas a 5 días, representa en promedio un 65 a 70% del total de materia orgánica oxidable”[24].

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Metcalf & Eddy “La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto consumido por una determinada cantidad de agua residual durante la oxidación, la cual se la realiza empleando agentes químicos, los cuales se caracterizan por ser fuertemente oxidante”[25]. *Metcalf & Eddy* “Su determinación es más rápida que la DBO, realizándola una o dos horas si se efectúa en frío o, bien 30 minutos si se la realiza con dicromato en caliente”[25].

Oxígeno Disuelto (OD)

Metcalf & Eddy “El oxígeno disuelto es un parámetro indispensable para el control de aguas residuales. Constituye la fuente de energía para los seres vivos y puede incrementarse por los siguientes factores:”[25].

- “Captación de oxígeno en la interfase aire – agua
- Acción fotosintética por la presencia de algas verdes
- Bajas de temperatura
- Dilución”[25].

Metcalf & Eddy “Producto de la respiración de microorganismos, algas y organismos macroscópicos, la cantidad de oxígeno disminuye, a más de estos factores, la cantidad de oxígeno disuelto se ve afectada por incrementos en la temperatura, reacciones químicas, y por la acción metabólica de los organismos”[25].

Grasas y Aceites

Quispe; [23] “Son sustancias poco solubles que se separan del agua residual y flotan formando natas, películas y capas sobre el agua, muy ofensivas estéticamente. Las grasas, aceites y ceras son los principales lípidos que se encuentran en un agua residual”. “Las bacterias las emplean como alimento,

debido a que pueden ser hidrolizadas en los ácidos grasos y alcoholes correspondientes”[23].

pH

Agudelo y Alvear, “Son muy difíciles de tratar biológicamente aguas residuales que presenten concentraciones adversas de pH ya que alteran la biota de las fuentes receptoras y en muchos de los casos se acaba con la vida de los microorganismos”[21]. *Agudelo y Alvear*, “En un tratamiento biológico, si el agua tiene un pH menor a 6, se produce la proliferación de hongos sobre las bacterias”[21]. *Campoverde y Loayza*, [26] “A pH bajo el cloro se hace presente ya que predomina el ácido hipocloroso (HClO), el cual tiene poder bactericida”; “por el contrario si las aguas residuales presentan pH alto éstas tendrán nitrógeno en forma gaseosa no iónica (NH₃), la cual es tóxica”[26], sin embargo *Metcalf & Eddy* “se puede remover mediante arrastre con aire, especialmente cuando el pH presenta valores entre 10,5 y 11,4”[25]. “Para que un determinado tratamiento sea ideal y para que la existencia de la mayoría de vida biológica sea la adecuada los valores de pH que debe presentar el agua deben ser generalmente de 6,5 a 8,5”[25]

“Características Biológicas

Microorganismos patógenos

Martínez, Habitualmente se los encuentra en las aguas residuales domésticas, se los puede encontrar en todas sus formas como bacterias, virus, protozoarios y helmintos”[27]. “Algunos de ellos son descargados al ambiente por portadores” [27]. *Martínez*, “Es poco común que se encuentren en las aguas residuales ya que algunos de estos microorganismos son causantes de enfermedades severas, pero por seguridad se asume que están presentes en un número considerable y son un peligro para la salud”[27]. “Ventajosamente se cual sea el tratamiento que se le dé al agua residual pocos o casi ningún microorganismo sobrevive”[27].

Bacterias

Largo y Romero, “Son microorganismos unicelulares los cuales constituyen la menor forma de vida capaz de sintetizar el protoplasma a partir de su

ambiente y no presentan coloración alguna”[28]. “Presentan diversas formas: cilíndrica o de bastón (bacilos), oval o esférica (cocos) o espirales (espirilos). Cuando se trata de descomposición y estabilización de la materia orgánica, las bacterias cumplen el rol más importante” [28].

Largo y Romero, “La mayoría de los desórdenes intestinales están relacionados a las enfermedades provocadas por bacterias patógenas transportadas por el agua”[28].

Virus

Juri et al., “Son estructuras biológicas inferiores las cuales poseen toda la información genética necesaria para efectuar su propia reproducción. Son parásitos obligados que requieren de un huésped en donde alojarse para poder iniciar con la reproducción y causar una infección”[29]. *Juri et al.*, “Los desórdenes en el sistema nervioso son los principales síntomas cuando ha ocurrido una infección a causa de virus”[29].

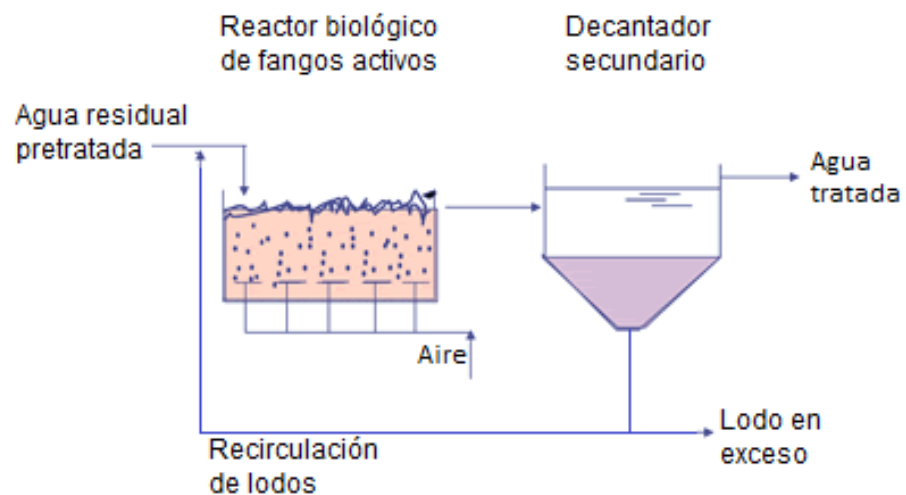
1.3.6. Equilibrio Ecológico Microbiano

Metcalf y Eddy, [7] “Estas características se relacionan con los organismos y microorganismos, en particular, bacterias y virus, entre otros, causantes de enfermedades, para poder clasificar las Aguas Residuales de acuerdo a sus características biológicas”. Además, *Alvarracín et al.*, [30], “la complejidad de los procesos de tratamiento de aguas residuales se ha incrementado con el transcurso del tiempo, los modelos matemáticos que representan han tenido un mayor nivel de desarrollo para controlar y predecir el comportamiento de las plantas depuradoras”.

1.3.7. Sistemas de lodos activados

Böhnke, y Pöppinghaus, “Los sistemas de lodos activados, son uno de los tratamientos más utilizados a nivel mundial para la depuración de efluentes, debido a que presentan resistencia a fluctuaciones en el caudal de entrada, carga orgánica y composición del influente”[22].

Según, *Böhnke, y Pöppinghaus*, “el sistema se compone de dos partes, un tanque de aireación y uno de sedimentación, como se observa en la figura 2”[22]. “El tanque de aireación contiene un licor de mezcla, que está formado por un conjunto de microorganismos aglomerados en flóculos con materia orgánica e inorgánica”[22]. *Ramírez*, “El ambiente aerobio se logra mediante la utilización de aireadores mecánicos, que sirven, además, para mantener el licor completamente mezclado”[31].



Fuente. <https://www.gedar.com/wp-content/uploads/Fangos-activos.png>

Figura 2. Sistema de lodos activados

Metcalfe and Eddy, [7] “Los microorganismos estabilizan la materia orgánica mediante reacciones de oxidación biológica, después de lo cual, el licor de mezcla pasa al tanque de sedimentación donde los flóculos decantan, separándose el agua clarificada, que luego es vertida en un cauce”. *Metcalfe and Eddy*, “Parte del lodo que sedimentó, es recirculado y combinado con la alimentación inicial para mantener en el reactor la concentración de células deseadas. Una fracción es purgada y corresponde al crecimiento de tejido celular”[7].

1.3.8. “Parámetros operacionales en lodos activados

Oakley, El proceso de lodos activados implica un sistema biológico muy complejo, el que puede verse modificado a raíz de cambios en las condiciones ambientales”[32].

Por tanto, *Oakley*, “es necesario considerar variables del sistema y alternativas de control que estén disponibles para operar adecuadamente. Así, se considera que parámetros como el:

- PH,
- Oxígeno disuelto
- Temperatura
- Tiempo de retención hidráulico
- Carga orgánica”[32],
- “Concentración de biomasa en el reactor (SSVLM)
- Relación A/M o F/M
- Relación Materia orgánica y nutrientes
- Tasa de recirculación
- Edad del lodo
- Eficiencia de eliminación”[32].

WEF, [33] “Deben estar dentro de rangos determinados para la adecuada proliferación y desarrollo de los microorganismos”. Continúa, *WEF*, “Adicionalmente, existen condiciones de funcionamiento que inciden en la eficiencia del proceso, tales como las características del agua residual, incluyendo, la toxicidad, la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aireación, la tasa de recirculación, entre otros”[33].

1.3.9. Factores de influencia

PTAR-Boca del Rio, “Las lagunas de oxidación aplican un proceso biológico que consiste en la oxidación de los nutrientes contenidos en las aguas residuales por microbios y algas y está caracterizado por los siguientes factores principales:”[18].

- “Calidad de las aguas residuales,
- Tiempo de retención en las diferentes etapas de tratamiento,
- Radiación solar,
- Temperatura del agua” [18].

PTAR-Boca del Rio, “Se nota que el operador no puede controlar ninguno de los cuatro factores que influyen el tratamiento biológico en las lagunas de

oxidación. El único factor que si se puede controlar es la calidad del desagüe emitido por las industrias y comercios”[18]. *PTAR-Boca del Rio*, “Los demás factores son de carácter meteorológico. Sin embargo, para el control de la eficacia del tratamiento, se tiene que registrar estos datos que permiten la interpretación de la eficacia del proceso de tratamiento y la acumulación de experiencia”[18].

1.3.10. “Indicadores de estabilidad del sistema de lodos activados

Aguirre y Yanac, El control de una planta de tratamiento de aguas residuales, se realiza usualmente, a través de un monitoreo continuo de los parámetros de operación”[24], continua, *Aguirre y Yanac*, “con el fin de producir constantemente un efluente de calidad que cumpla con los estándares de descarga establecidos por la ley”[24]. Sin embargo, *Campoverde y Loayza*, “normalmente no se tienen en cuenta algunos factores importantes, como las características de sedimentación, la actividad de la biomasa y los microorganismos indicadores del funcionamiento del proceso. Dichos parámetros al ser analizados de manera integrada pueden entregar valiosa información para la optimización del proceso”[26].

1.4. Formulación del problema de investigación

Las aguas residuales descargadas por la población de la Ciudad de Pisco y San Andrés que se tratan en las lagunas de oxidación “Boca del Río” contienen materia orgánica e inorgánica que no permite su emisión directa al medio ambiente por los riesgos para la salud pública que presentan y los daños directos que causan. Por la multitud de sustancias contenidas en las aguas residuales, se utilizan parámetros indicativos, tal como el número más probable de bacteria coliformes fecales (o termotolerantes, NMP C.F.) y la demanda biológica de oxígeno de cinco días (DBO₅) para determinar la calidad de estas aguas. La presencia de coliformes fecales es un indicador que el agua ya ha pasado por el cuerpo de un mamífero y por lo tanto puede contener también bacterias patógenas. La DBO₅ es un indicador del impacto bioquímico al cuerpo de agua receptor por extracción de oxígeno disuelto, permitiendo plantear la siguiente problemática.

1.4.1. Problema General

¿De qué manera “el tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021?

1.4.2. Problema Especifico

PE1: ¿De qué manera los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021?

PE2: ¿De qué manera “el tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en los parámetros biocinéticos de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021?

1.5. Objetivos de investigación

1.5.1. Objetivo principal

Determinar que “el tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

1.5.2. Objetivos Específicos

OE1: Analizar que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

OE2: Determinar que “el tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en los parámetros biocinéticos de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

1.6. Hipótesis de investigación

1.6.1. Hipótesis principal

“El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

1.6.2. Hipótesis Específica.

HE1: Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

HE2: “El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en los parámetros biocinéticos de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

1.7. Variables

1.7.1. Variable independiente

Tratamiento de aguas residuales.- Según, *Palacios*, [34], “establece que las aguas residuales domesticas son aguas procedentes de las viviendas, oficinas y edificios comerciales que se conducen en forma combinada en alcantarillas subterráneas a una laguna de estabilización que generalmente están alejadas de la ciudad”.

1.7.2. Variable dependiente

Equilibrio Ecológico Microbiano. – Según, *Isea et al.*, [35], “Se determinará el equilibrio ecológico microbiano, que rigen la demanda bioquímica de oxígeno en aguas de lagunas anaerobias, el estudio fue obtener una expresión matemática que permita hallar los parámetros cinéticos: los valores de constantes de biodegradación y demanda ultima”.

1.7.3. Operacionalización de Variables

Tabla 2. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES
VI: Tratamiento de aguas residuales	<i>Palacios, [34]</i> , “establece que las aguas residuales domesticas son aguas procedentes de las viviendas, oficinas y edificios comerciales que se conducen en forma combinada en alcantarillas subterráneas a una laguna de estabilización que generalmente están alejadas de la ciudad.	D_{I,1}: Parámetros físico-químico-bacteriológico I_{I,1,1}: Turbidez, I_{I,1,2}: Temperatura, I_{I,1,3}: Parámetro físico químico, I_{I,1,4}: Coliformes termo tolerantes y Coliformes totales.	°C mg/l UFC/100ML UFC/100ML y
VD: Equilibrio ecológico microbiano	<i>Isea et al., [35]</i> , “Se determinará el equilibrio ecológico microbiano, que rigen la demanda bioquímica de oxígeno en aguas de lagunas anaerobias, el estudio fue obtener una expresión matemática que permita hallar los parámetros cinéticos: los valores de constantes de biodegradación y demanda ultima”	D_{D,1}: Parámetros biocinéticos I_{D,1,1}: Modelo cinético de Monod I_{D,1,2}: Constante de afinidad del sustrato con los microorganismos (“ Ks ”) y velocidad específica máxima del sustrato (“ qmax ”) I_{D,1,3}: “Producción de lodo biológico por cada Kg de DBO” [35], removido (“ Y ”) y la constante de decaimiento o muerte, siendo los Kg de SSV oxidados por respiración endógena por día de Kg de SSV en el reactor (“ Kd ”) I_{D,1,4}: “O ₂ utilizado en la oxidación del sustrato por cada Kg de DBO removido”[35], (“ a ”) y Kg O ₂ utilizado en la respiración endógena, por día utilizado por los microorganismos por cada Kg de SSV (“ b ”)	(L/mg.d) (mg/l) y (h ⁻¹) (Kg _{SSV} /Kg _{DBOr}) (Kg _{SSV} /d.Kg _{SSV}) (mgO ₂ /mgDBOr) (mgO ₂ /dia.mgDBOreactor) y y

1.8. Justificación e Importancia de Investigación

1.8.1. Justificación

la investigación, fue determinar los parámetros biocinéticas que influyen significativamente en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, “como consecuencia del estudio de investigación, que al aplicar los análisis respectivos en base a la toma de datos de campo, registrándose los datos de los parámetros biocinéticos, en las fecha programada en coordinación con la empresa” [36].

“Los sistemas lagunares es el método de tratamiento de aguas residuales domesticas que actualmente prefieren los pueblos y gobiernos latinoamericanos, su alta eficiencia degradativa, bajo costo, simplicidad en la construcción y facilidad en el mantenimiento y operación del sistema” [37].

“En la actualidad existen cambios muy acelerados con presencia de enfermedades raras, prima la necesidad de respuestas efectivas, con resultados que satisfagan las necesidades y expectativas al cuidado de la salud pública de los seres vivos y del medio ambiente” [38].

1.8.2. Importancia.

Sawyer et al., “La descarga de aguas residuales industriales contamina los cuerpos de aguas superficiales, estuarios, océanos y también los suelos, a nivel mundial, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)”[39], “es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno en la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas residuales, tanto municipales como industriales, su aplicación permite calcular los efectos de las descargas”[39], “de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores, en los últimos años, se ha prestado mayor interés al tratamiento de aguas residuales industriales debido al aumento de la industrialización” [39].

1.9. Marco conceptual

1.9.1. Gestión del Agua

“A la pregunta: ¿Qué estamos haciendo para atender los problemas y desafíos del problema del agua?”[40], “Las respuestas a los problemas del agua, como cualquier problema ambiental, incluyen tanto los instrumentos político-administrativos, económico-financieros, tecnológicos de intervención física, de educación y sensibilización pública, que ayudan a disminuir los grados de contaminación o el uso excesivo del recurso”[40].

1.9.2. Nueva Cultura del Agua

“El termino Nueva Cultura del Agua surge a mediados de los años noventa del siglo XX surge como un movimiento socio ambiental, este concepto poco a poco fue refiriéndose a toda forma diferente de tratar y abordar los temas relacionados con el manejo y gestión”[41]. “Sus actores son los movimientos ecologistas y ambientalistas de los años 70 y 80, en el Valle del Ebro, tomaron el recurso hídrico como bien básico de acción antrópica, y era vista como una expresión de las contradicciones del capitalismo industrial”[41].

“De este modo se concibió el agua como un activo `socialecológico`, y surge la necesidad de gestionar la demanda en lugar de la oferta, aplicando técnicas como análisis y evaluación beneficio-costos o el estudio y evaluación de la degradación ambiental”[41] y “la manera de visualizar la cuenca hidrográfica e hidrológica como una unidad de planificación territorial, intentando reducir y eliminar los trasvases de cuenca y las presas”[41].

1.9.3. Aguas Residuales

“Cabe indicar, que el agua residual, es aquella cuya característica original ha sido modificada por actividades humanas (domésticas, industriales e institucionales) y que, por su calidad, exigen una depuración previa”[42].

1.9.4. Saneamiento y Salud

“En Latino América y el Caribe, una de las dificultades sanitarias más álgidas es la descarga sin control de aguas negras sin depuración alguna, que impacta y contaminan las aguas subterráneas y superficiales. En muchos países las

aguas residuales que son regeneradas no cuentan con adecuado tratamiento”[19].

1.9.5. Recirculación

Metcalf y Eddy, [7], “La recirculación de los microorganismos desde el sedimentador secundario al tanque de aireación, permite mantener una concentración de biomasa constante en el reactor. Valores de recirculación varían en función del caudal de entrada, desde una fracción de 0,25 a 1,25”.

1.9.6. Carga orgánica

Méndez et al, [43]“La Carga Orgánica (CO), se refiere a la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema, representándose como la alimentación de DBO₅ por unidad de volumen de reactor, expresada como (kgDBO₅/m³•d)”. *Ramalho*, explica que, “La carga orgánica varía con la operación de la planta, tanto en flujo, como en concentración de material orgánico. Típicamente, los valores de diseño son entre 0,3–1,6 (KgDBO₅/m³•d)”[44].

1.9.7. Tiempo de retención hidráulico (TRH)

Metcalf y Eddy, [7], “Al tiempo de residencia del agua residual en el sistema, el cual debe ser suficiente para permitir un contacto adecuado entre la materia orgánica disuelta y los microorganismos”. *Ramalho*, [44]. “Los sistemas convencionales presentan TRH entre 3-10 h, mientras que los de aireación extendida de 12-36 h”

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1 Área de estudio

“El departamento de Ica es uno de los veinticuatro departamentos que forman la República del Perú, ubicado en el centro oeste del país, limitando al norte con Lima, al este Huancavelica y Ayacucho, al sur Arequipa y al oeste el Océano Pacífico”[45].

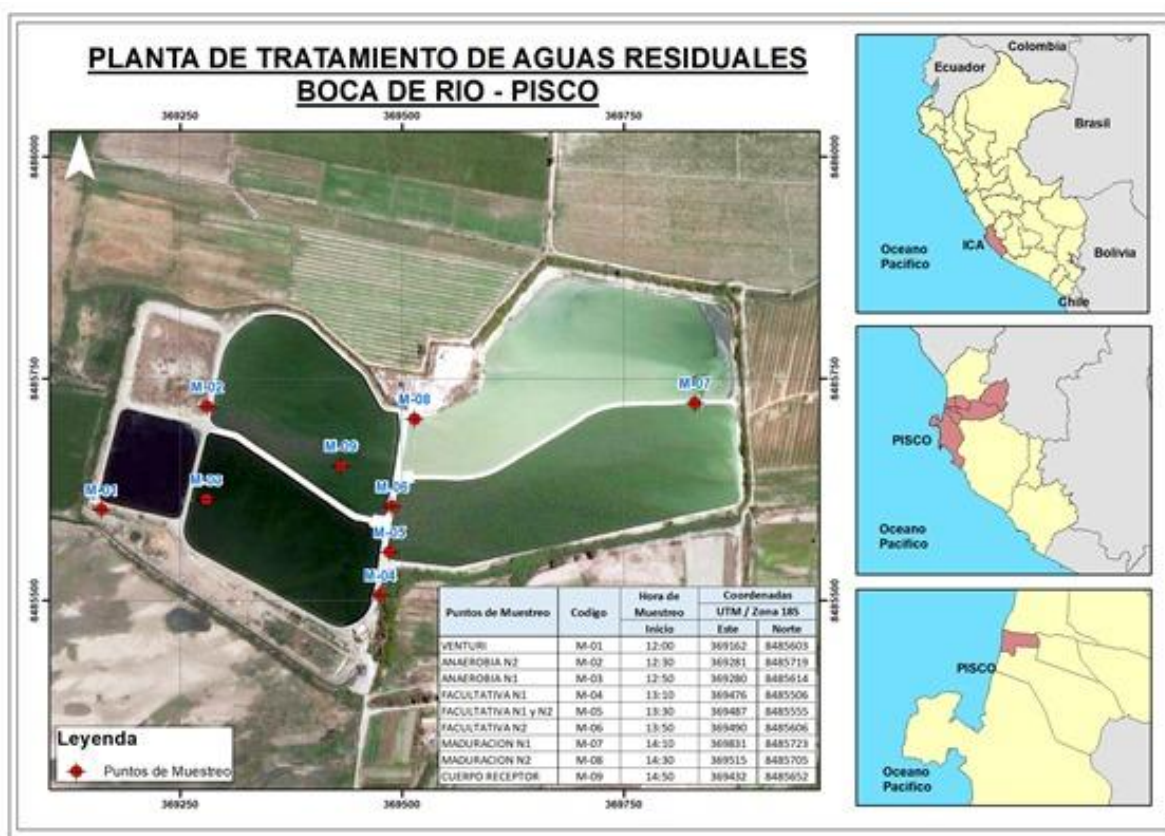


Figura 3. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Boca del Río

“La provincia de Pisco es uno de las cinco que conforman el departamento de Ica” [45]

Altitud: 17 m.s.n.m

Superficie: 3978.19 km²

Provincia: Pisco

Distritos: 9

Población: 150744 habitantes

Coordenadas: 13°42'36"S 76°12'12"O

El distrito limita con:

Norte: provincia de Chincha

Sur: provincia de Ica.

Este: departamento de Huancavelica.

Oeste: Océano Pacífico.

Clima

CSP, “Pisco tiene un clima templado-cálido, desértico y húmedo, típico de la costa central peruana. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, Pisco tiene un clima desértico cálido”[46]. “En los meses de verano (diciembre a abril) los días son mayormente soleados, llegando a picos máximos de 30 grados de temperatura entre febrero y marzo. Durante el invierno (junio a octubre) presenta días con neblina y temperatura fresca”[46]. “Varias veces al año se producen los denominados, vientos paracas, que alcanzan velocidades de más de 70 km/h en varias localidades y hacen caer aún más la temperatura, presentándose mayormente durante los meses de invierno”[46].

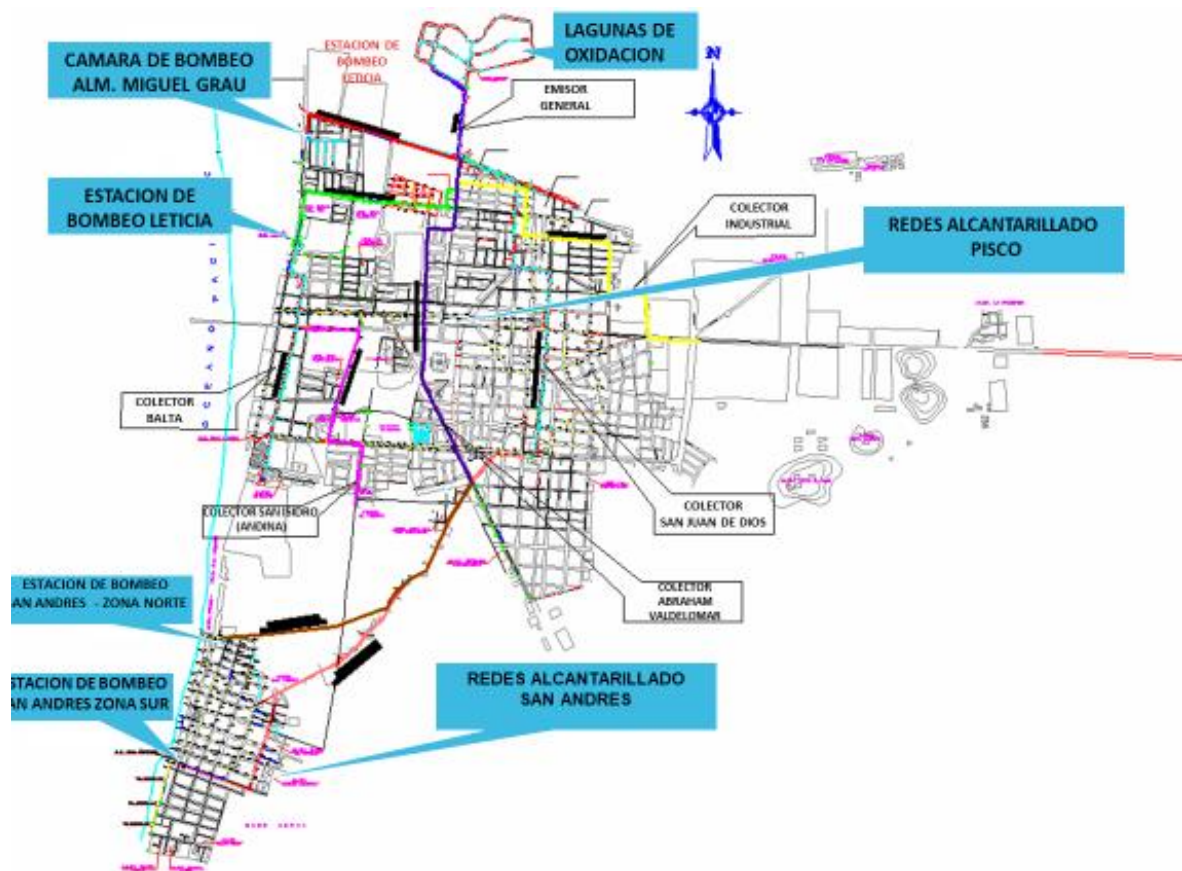


Figura 4. Sistema existente de redes de alcantarillado (Pisco-San Andrés)



Fuente: https://web.facebook.com/EmapiscoSA/videos/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales/575684952569692/?_rdc=1&_rdr

Figura 5. Planta de tratamiento “Boca del Río”, Pisco

2.2 Metodología de la investigación

2.2.1 Tipo y nivel de la investigación

“Tipo De acuerdo al propósito de la investigación es de tipo aplicado, observacional-prospectivo-longitudinal, puesto que se aplicó conocimientos previos adquiridos de un aprendizaje teórico, además resolver problemas reales”[47].

“Nivel Es descriptivo, ya que se describió la variable y el fenómeno en general pero también se explicó la relación que existe entre dos variables”[48].

“Diseño, Por su naturaleza es una investigación experimental ya que ha permitido manipular la variable” [47].

2.2.2 Población y muestra

“Población: La población o unidad de análisis del presente trabajo de investigación constituye el caudal de descarga del colector de las aguas residuales provenientes de los distritos de Pisco y de San Andrés”[28].

Muestra: “Que se consignó de tipo no probabilística debido a que el esquema de investigación y objeto de estudio busca conseguir los muestreos más idóneos y representativos para el cálculo de la cinética”[28].



Figura 6. Ingreso de las aguas residuales de Pisco y San Andrés

2.3 Procedimiento de la metodología general

2.3.1 Técnica de recolección de datos

La determinar que el tratamiento de aguas residuales en el equilibrio ecológico microbiano de la laguna Boca del Rio, expresa *Cabeza*, [49]“se realizó por medio del procesamiento de datos a través de las campañas de muestreo, efectuando pruebas experimentales en el laboratorio para obtener las condiciones promedio de operación con el fin de caracterizar el afluente y obtener la cinética”.

- **“Instalación, operación y control en el laboratorio**
 - ✓ Lugar de investigación y muestreo
 - ✓ Ensamble y operación del prototipo reactor
 - ✓ Recolección de muestras y determinación de parámetros in situ”[49]



Figura 7. Recolección de muestras

PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES
		PARA VERTIDOS A
		CUERPOS DE AGUA
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 - 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35



Figura 8. Límites máximos permisibles para los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río

2.3.2 Instrumentos de recolección de datos








Materiales


- ✓ “Embace de plásticos y de vidrio, color ámbar de 1 litro para toma de muestras.
- ✓ Probeta graduada de 1000 ml, probeta de 100 ml y cono Imhoff para mediciones volumétricas”[50].
- ✓ “Cajas térmicas para el traslado y conservación de las muestras.
- ✓ Plumones indelebles, libreta de campo, para etiquetado de embaces y anotación de observaciones”[50].

Equipos

N°	DESCRPCION	
1	MEDIDOR OXIGENO DISUELTO Marca: Oakton Modelo: DO 450	
2	MEDIDOR PH DE MESA Marca: Oakton Modelo: ION 2700 Serie: 2720841	

3	<p>MEDIDOR CONDUCTIVIDAD DE MESA Marca: Oakton Modelo: CON 2700 Serie: 2731054</p>	
4	<p>ESPECTOFOTÓMETRO Marca: Hach Co. Modelo: DR 3900 Serie: 1814874</p>	
5	<p>TURBIDIMETRO DE MESA Marca: Hach Co. Modelo: TL 2300 Serie: 2018050C0209</p>	
6	<p>BAÑO MARIA Marca: Precisión Serie: 699061771</p>	
8	<p>INCUBADORA Marca: Precisión Serie: 699111482</p>	
9	<p>AUTOCLAVE Marca: Market Forge. Modelo: STMC</p>	
10	<p>MEDIDOR MULTIPARAMETRO Marca: Hach Co. Modelo: HQ40d Serie: 180300003690</p>	
12	<p>BALANZA DE PRECISION Marca: Adam Equipment Modelo: HCB 602H Serie: AE76401392</p>	

13	BALANZA ANALITICA Marca: Adam Equipment Modelo: NIMBUS Serie: AE9X8278	
14	ESTUFA Marca: Yamato Modelo: DKN412C	
15	INCUBADORA DBO Marca	
16	Equipo obtención de agua para laboratorio Marca Thermo	
17	EQUIPO FILTRACION POR MENBRANA Marca: Millipore	
18	AGITADOR MAGNETICO Marca: VWR	
19	PLANCHA DE CALENTAMIENTO Marca: Thermolyne Modelo: HPA 2240M Serie: 106590433275	

20	ESTUFA Marca: SHELDON Modelo: 1500E Serie: 1201997	
----	--	---

2.3.3 Técnicas de procesamiento de datos

- **“Procesamiento de datos y selección de muestras**

- ✓ Procesamiento de resultados de laboratorio y de campo
- ✓ Selección de muestras para el análisis”[50].



Figura. 9. Las muestras son analizadas en el laboratorio



Figura 10. Laboratorio físico-químico




Figura 11. Laboratorio microbiológico


2.3.4 Análisis e interpretación de los datos


■ Análisis de resultados

- ✓ “Cálculo de parámetros para la cinética
- ✓ Obtención de gráficas y determinación de coeficientes cinéticos
- ✓ Cálculo de producción de biomasa y requisito de oxígeno” [51].




LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-045






LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-045




INFORME DE ENSAYO FQ N° 210118-039


Código del Cliente	VENTURI Nº2	ANEROBIA Nº1	ANEROBIA Nº1	FACULTATIV A Nº1	FACULTATIV A Nº1 y Nº2
Descripción del Punto	-	-	-	-	-
Código de Laboratorio	2101002(1)	2101002(2)	2101002(3)	2101002(4)	2101002(5)
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)
Fecha de muestreo	10/1/21	10/1/21	10/1/21	10/1/21	10/1/21
Hora de muestreo	12:00	12:30	12:50	13:10	13:30

ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS				
Temperatura (Campo)	Res. Equipo t/°C	-	-	26.7	25.1	24.5	30.4	30.6
pH (Campo)	Valor de pH (0.0)	-	-	6.14	6.86	6.84	6.75	6.70
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	141	84	41	113	145
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	30.9	262.8	318.2	335.8	572.5	299.3
Sólidos y Grases	mg/L	-	1.6	3.6	5.4	6.9	52.8	3.5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	426	96.30	96.30	38.30	161.30	120.00
Nitratos	NO ₃ ⁻ mg/L	-	0.00	0.760	1.390	1.840	1.840	1.500
Fósforo	mg P/L	-	0.00	4.600	3.400	3.200	6.300	5.000
Nitratos (NO ₃ ⁻) mg/L	-	0.00	<0.003	0.060	0.125	0.175	<0.053	<0.053
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₄ -N/L	-	0.59	32.36	38.70	35.67	33.82	33.32




LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-045





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-045



INFORME DE ENSAYO FQ N° 210118-039

Código de Cliente	FACULTATIVA Nº2	INCUBACIÓN Nº1	INCUBACIÓN Nº2	CUERPO RECEPTOR
Descripción del Punto	-	-	-	-
Código de Laboratorio	2101002(5)	2101002(6)	2101002(6)	2101002(5)
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)
Fecha de muestreo	10/1/21	10/1/21	10/1/21	10/1/21
Hora de muestreo	13:30	14:10	14:30	14:50

ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS				
Temperatura (Campo)	Res. Equipo t/°C	-	-	26.8	30.9	30.8	27.4	
pH (Campo)	Valor de pH (0.0)	-	-	6.71	6.57	6.52	7.32	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	128	77	57	47	
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.1	286.1	256.3	243.9	133.4	
Acidez y Grases	mg/L	-	0.4	3.4	2.6	<1.6	<1.6	
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	426	126.70	96.30	58.30	135.0	
Nitratos	NO ₃ ⁻ mg/L	-	0.00	3.300	1.520	2.250	1.660	
Fósforo	mg P/L	-	0.00	4.600	4.600	4.600	6.800	
Nitratos	NO ₃ ⁻ mg/L	-	0.00	<0.053	<0.053	<0.053	<0.053	
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₄ -N/L	-	0.59	31.66	32.70	31.70	24.66	

Emiso en Lima, el 18 de Enero de 2021




Figura 12. Análisis físico-químicos

INFORME DE ENSAYO MB N° 210120-002

Código de Cliente	VENTURI	ANEROBIA N°2	ANEROBIA N°1	FAULTATIV AN°1	FAULTATIV AN°1 y N°2
Descripción del Punto	-	-	-	-	-
Código de Laboratorio	210102611	210102612	210102613	210102614	210102615
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)
	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)
Fecha de muestreo	10/01/21	10/01/21	10/01/21	13/01/21	10/01/21
Hora de muestreo	12:00	12:30	12:30	13:10	13:30

ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS						
				1	2	3	4	5	6	
Numeros de Coliformes Totales	NMP / 100 ml	1.0	1.0	35 x 10 ³	35 x 10 ⁴	24 x 10 ⁴	33 x 10 ⁴	48 x 10 ⁴		
Detección de Vibrio Cholerae	En 1 L.	1	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia		
Numeros de Escherichia coli	NMP / 100 ml	1.0	1.0	35 x 10 ³	17 x 10 ³	22 x 10 ³	18 x 10 ³	22 x 10 ³		
Detección de Salmonella	En 1 L.	1	-	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia		
Huecos de Helminthos ^(*)	Huevo/L	1	1	2	1	0	2	1		

(*) Los huecos indicados no han sido analizados por INACAL-DA.

INFORME DE ENSAYO MB N° 210120-002

Código del Cliente	FAULTATIVA N°2	MAQUERACIÓN N°1	MAQUERACIÓN N°2	CUERPO RECEPTOR
Descripción del Punto	-	-	-	-
Código de Laboratorio	210102616	210102617	210102618	210102619
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)	AGUA RESIDUAL (MUNICIPAL)
Fecha de muestreo	10/01/21	10/01/21	10/01/21	10/01/21
Hora de muestreo	13:50	14:10	14:30	14:50

ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS					
				1	2	3	4	5	6
Numeros de Coliformes Totales	NMP / 100 ml	1.0	1.0	48 x 10 ⁴	48 x 10 ⁴	33 x 10 ⁴	48 x 10 ⁴		
Detección de Vibrio Cholerae	En 1 L.	1	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia		
Numeros de Escherichia coli	NMP / 100 ml	1.0	1.0	22 x 10 ³	33 x 10 ³	13 x 10 ³	33 x 10 ³		
Detección de Salmonella	En 1 L.	1	-	Presencia	Presencia	Ausencia	Ausencia		
Huecos de Helminthos ^(*)	Huevo/L	1	1	2	2	0	1		

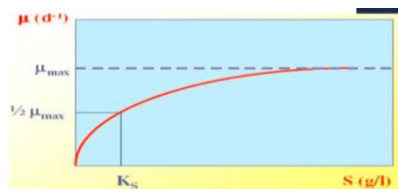
(*) Los huecos indicados no han sido analizados por INACAL-DA.

Emitted in Lima, on 20 of Enero de 2021

CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC
 Rocio Quispe Yáñez
 INACAL-DA
 C.B.P. 0021

Figura 13. Análisis microbiológicos

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S}$$



- μ_{max} : velocidad específica de crecimiento máxima, (t^{-1})
- K_s : constante de semisaturación, (g de S/l)

Fuentes: <https://slideplayer.es/slide/3247624/>

Figura 14. Ecuación de Monod

2.4 Marco legal

2.4.1 “La Constitución Política de 1993

Constitución Política del Perú, En el artículo 66, Capítulo II indica, que los recursos naturales renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación y que el Estado es soberano de su aprovechamiento”[52]. Asimismo “establece, que por Ley Orgánica se fijan las condiciones de su utilización y su otorgamiento a particulares, la concesión se otorga a su titular un derecho legal, sujeto a dicha norma legal”[52].

“Constitución Política del Perú, En el artículo 67, del mismo capítulo establece que el Estado determina la política Nacional del Medio Ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”[52].

“*Constitución Política del Perú*, En el artículo 68, del mismo capítulo, establece que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas”[52].

2.4.2 Ley General de Aguas (D.S. N°17752), D.S. 261-69-AP

Ley General de Aguas N°17752, [53], “Promulgada a través del Decreto Supremo N° 17752 del 29 de Julio de 1969 y los Reglamentos de los títulos de dicha ley: *Decreto Supremo N°261.69-AP*”, [54], “En el capítulo IV: De la clasificación de los cursos de agua y de las zonas costeras del país; Artículo 81°: para los efectos de la aplicación del presente Reglamento, la Calidad de los recursos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país se clasifican respecto a sus usos de la siguiente manera:”

- I. “Aguas de abastecimiento doméstico con simple cloración,
- II. Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento y procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración, cloración, aprobados por el Ministerio de Salud”[54].
- III. “Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales,
- IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baño y similares),
- V. Aguas en zonas de pesca (marisco, bivalvos)”[54].
- VI. “Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial”[54].

Decreto Supremo N°261.69-AP, “En el mismo capítulo IV, Artículo 82°: Para los efectos de Protección de las aguas correspondientes a los diferentes usos, regirán los siguientes valores límites, ver, Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3:”[53].

Tabla 3. Límites bacteriológicos (valores en N.M.P./100Mil)

	I	II	III	IV	V	VI
Coliformes Totales	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000
Coliformes Fecales	0	4,000	1,000	1,000	200	4,000

Fuente: (Decreto Supremo N°261.69-AP, 1969)

Tabla 4. “Límites de demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.) 5 días, 20°C y de oxígeno disuelto (O.D.) valores en mg/l”

Parámetro	I	II	III	IV	V	VI
D.B.O.	5	5	15	10	10	10
O.D.	3	3	3	3	5	4

Fuente: (Decreto Supremo N°261.69-AP, 1969)

Tabla 5. “Límites de sustancias potencialmente peligrosas valores en mg/m³”

Parámetro	I	II	III	V	VI
Selenio	10	10	50	5	10
Mercurio	2	2	10	0.1	0.2
PCB	1	1	1+	2	2
Esteres Esclatados	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Cadmio	10	10	50	0.2	4
Cromo	50	50	1000	50	50
Níquel	2	2	1+	2	
Cobre	1000	1000	500	10	
Plomo	50	50	100	10	30
Zinc	5000	5000	25000	20	
Cianuros (CN)	200	200	1+	5	5
Fenoles	0.5	1	1+	1+	100
Sulfuros	1	2	1+	2	2
Arsénico	100	100	200	10	50
Nitratos	10	10	100	N.A.	N.A.

Fuente: (Decreto Supremo N°261.69-AP, 1969)

“**Resolución Ministerial N°258-2011/MINSA 2011**, En el código de medio ambiente se establece que el sector salud se constituya como autoridad ambiental”[55], razón por la cual DIGESA “viene cumpliendo la labor de vigilancia y control de los sistemas de agua a fin de que se contribuya a una mejor salubridad de la población”[55].

2.4.3 Varias normas legales

- “Ley N° 28611, Ley General del Ambiente”[56].
- “Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental”[57].
- “Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental”[58].
- “Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos”[59].

2.4.4 “Norma OS. 090 plantas de tratamiento de aguas residuales

El presente Reglamento establece las disposiciones generales:”[60].

Normas para los estudios de ingeniería básica

“El propósito de los estudios de ingeniería básica es desarrollar información adicional para que los diseños definitivos puedan concebirse con un mayor grado de seguridad. Entre los trabajos que se pueden realizar en este nivel se encuentran:”[60].

“*Estudios adicionales de caracterización* de las aguas residuales o desechos industriales que pueden requerirse para obtener datos que tengan un mayor grado de confianza” [60]:

- “*Estudios geológicos y geotécnicos* que son requeridos para los diseños de cimentación de las diferentes unidades de la planta de tratamiento” [60];
- “*Estudios de mecánica* de suelo son de particular importancia en el diseño de lagunas de estabilización, específicamente para el diseño de los diques, impermeabilización del fondo y movimiento de tierras en general”[60].

“De mayor importancia, sobre todo para ciudades de gran tamaño y con proceso de tratamiento biológico, son los estudios de tratabilidad, para una o varias de las descargas de aguas residuales domésticas o industriales que se admitan:”[60].

“La finalidad de los estudios de tratabilidad biológica es determinar en forma experimental el comportamiento de la biomasa que llevará a cabo el trabajo

de biodegradación de la materia orgánica, frente a diferentes condiciones climáticas y de alimentación”[60]. En algunas circunstancias se tratará de determinar el comportamiento del proceso de tratamiento, frente a sustancias inhibidoras o tóxicas. Los resultados más importantes de estos estudios son”[60]:

- ✓ “Las constantes cinéticas de biodegradación y mortalidad de bacterias
- ✓ Los requisitos de energía (oxígeno) del proceso
- ✓ La cantidad de biomasa producida, la misma que debe tratarse y disponerse posteriormente
- ✓ Las condiciones ambientales de diseño de los diferentes procesos”[60].

... Estos estudios deben llevarse a cabo obligatoriamente para ciudades con una población actual (referida a la fecha del estudio) mayor a 75000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere de importancia por su posibilidad de crecimiento, el uso inmediato de aguas del cuerpo receptor, la presencia de descargas industriales, etc.;

Los estudios de tratabilidad podrán llevarse a cabo en plantas a escala de laboratorio, con una capacidad de alrededor de 40 l/d.[60].

2.4.5 Calidad de agua para reúso (Criterio de riesgo para la salud)

a) “Riego con acceso al público y a trabajadores

- Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 ML (OMS)
- Huevos de Helminto < 1 huevo Helminto/100 ML (OMS)”[22].
- “DBO₅ < 15 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego).
- SST < 10 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[22].

b) “Riego sin acceso al público, pero expuesto a trabajadores

- Huevos de Helminto < 1 huevo Helminto/100 ML (OMS)
- DBO₅ < 15 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[22].
- “SST < 10 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[22].

c) **“Riego Localizado sin Acceso al Público ni Trabajadores**

- DBO5 < 15 mg/lt (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)
- SST < 10 mg/lt (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[22].

2.4.6 “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM

Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales”[61].

III. RESULTADOS

3.1. El “tratamiento de aguas residuales” en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio.

PTAR-Boca del Rio, “Las aguas servidas de Pisco y San Andrés, son dispuestas en la planta de tratamiento de aguas servidas denominada Boca de Río”[18], *PTAR-Boca del Rio* “la cual está constituida por una batería de 06 lagunas, 02 anaeróbicas, 02 facultativas y 02 de maduración en serie, además de cámara de rejas y cámara de bombeo de desagües (Tornillo de Arquímedes); en un área aproximado de 23 Has”[18].

PTAR-Boca del Rio, “En el canal de ingreso después del Tornillo de Arquímedes se reparte el caudal en dos que ingresan a las lagunas anaerobias. El efluente de las lagunas anaeróbicas pasa a las lagunas facultativas”[18] y “luego pasan a las lagunas de maduración; donde finalmente fluyen al canal de recolección de aguas residuales tratadas. Los efluentes de la planta de tratamiento descargan al río Pisco ubicado a una distancia aproximada de 800 ml. de la PTAR”[18].



Figura 15. Ingreso a PTAR “Boca De Rio”

Área de influencia

Tabla 6. Área de influencia PTAR-Boca del Río

1.- Datos del Prestador de Servicio de Saneamiento		
Denominación o razón social: EMAPISCO S. A.		Registro (N° RUPAP): RUPAP N° 00003
Domicilio legal: Av. Fermín Tangüis N°40		
Distrito: Pisco	Provincia: Pisco	Departamento: Ica
2.- “Identificación y ubicación del sistema o componente del servicio de saneamiento en proceso de adecuación progresiva”		
Denominación:	PTAR Boca del Río	
Coordenadas UTM	Este: 369271.58	
DATUM WGS84	Norte: 8486909.02	
Localidad: Pisco	Zona: 18	Distrito: Pisco
Provincia: Pisco		Departamento: Ica

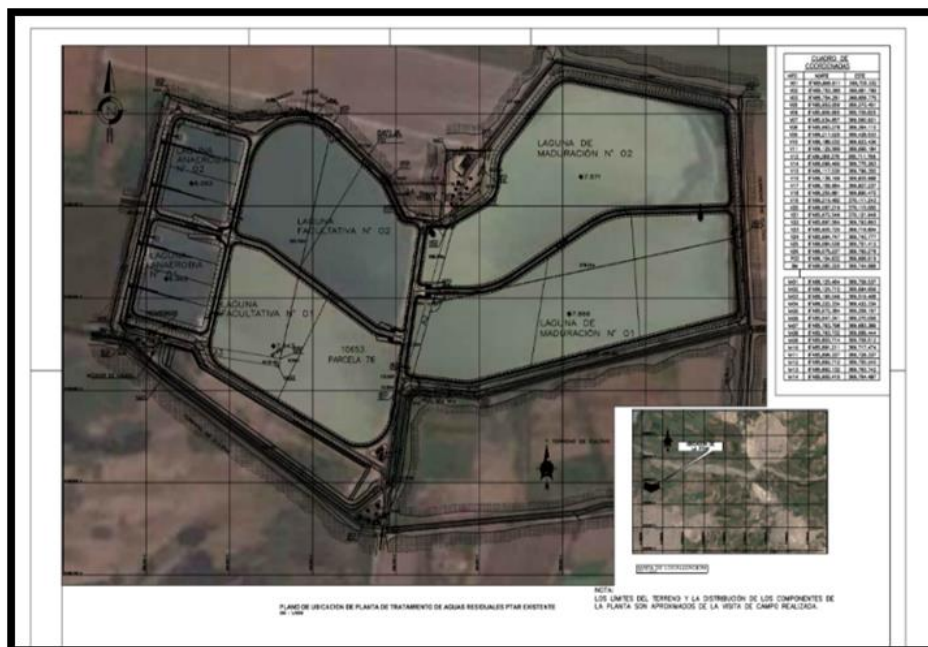


Figura 16. Área de influencia PTAR Boca del Río

Laguna aerobia

Proceso de tratamiento con alta carga orgánica que se da en ambiente anaerobio, los microorganismos viven en condiciones de ausencia de oxígeno libre. Tiempo de retención de 1 hasta 5 días y su profundidad es de 5 metros.



Figura 17. Lagunas aerobias

Lagunas facultativas

Proceso de tratamiento que se da en ambiente aerobio, necesario contar con oxígeno y rayos solares. Se realiza fotosíntesis, proliferación de microalgas, profundidad de 3 hasta 2,5 metros.



Figura 18. Lagunas facultativas

Lagunas de mduración

El proceso de maduración funciona por fotosíntesis y se requiere un periodo de retención para desarrollar algas verdes. El objetivo del proceso es reducir el número de bacterias coliformes. El tiempo de retención es de 2 días por laguna de una profundidad de 1.5 a 1.0 metros.



Figura 19. Lagunas de maduración

Disposición final

El agua residual tratada, es decir, el efluente de las lagunas de estabilización se descarga al Río Pisco, con este proceso se ha logrado la eliminación de las descargas de aguas residuales crudas en el litoral de Pisco y la recuperación de la balneabilidad de sus playas.



Figura 20. Descarga de efluente PTAR “Boca de Río”

3.2. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Río.

El agua residual doméstico e industrial, descargadas en la PTAR-Boca del Río. Las cuales son evacuadas a través de las redes de alcantarillado.

Se considero la descarga de las aguas residuales, en el ingreso a la PTAR-Boca del Rio, un punto en el colector de ingreso donde se tomó dos muestras en fechas distintas, denominado (AR-PTAR-01 AP-PATR-02), la PTAR-Boca del Rio, se encuentra ubicado en el distrito de Pisco, según las coordenadas UTM 13°42'36``S 76°12'12``O y a 15 m.s.n.m., con respecto al sistema de coordenadas UTM Wgs84 DATUM, Zona 18 Sur.

PTAR-Boca del Rio, “De acuerdo con la naturaleza del agua residual a ocuparse obedecerá a la procedencia de los lodos activados, por lo cual es considerable identificar las características físicas, químicas y microbiológicas”[18].

Parámetros físico-químico- bacteriológico

Capacidad de flujo

✓ Qps = 90.12 lts/seg. (Caudal en colector)

Tabla 7. Caracterización del afluente de las AR-PTAR-Boca del Rio

Parámetros	Unidad	LMP	Afluente	
			AR-PTAR-01 08.01.2022 Hora: 08:00 am	AR-PTAR-02 15.02.2022 Hora: 08:00 am
Aceites y Grasas	mg/L	20	25	24
Coliformes Totales	NMP/100ml	10000	1.7x10 ⁶	1.8x10 ⁶
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	N.D,	3.7x10 ⁵	3.6x10 ⁵
DBO5	mg/L	100	315	310
DQO	mg/L	200	335	355
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	8.61	8.60
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	128.5	129.3
Temperatura (Max.)	°C	< 35	31.1	31..3

Tabla 8. Caracterización del AR-PATR-Boca del Rio

Parámetros	Unidad	LMP	Efluente			
			AR-RFA-01	AR-RFA-02	AR-RFA-03	ARRAFA-04
			10.01.2022 Hora: 9:00 am	10.01.2022 Hora: 9:00 am	10.01.2022 Hora: 9:00 am	10.01.2022 Hora: 9:00 am
Aceites y Grasas	mg/L	20	0.75	0.69	0.71	0.62
Coliformes Totales	NMP/100ml	10000	3.4x10 ⁴	4.1x10 ⁴	4.6x10 ⁴	3.9 x 10 ⁴
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	N.D,	3.2x10 ³	3.5x10 ³	3.9x10 ³	3.7 x 10 ³
DBO ₅	mg/L	100	77	73	69	67
DQO	mg/L	200	134.5	135.1	135.4	133.8
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	7.87	7.82	7,85	7,81
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	77.8	78.3	79.4	77.6
Temperatura (Max.)	°C	< 35	25	25	25	25

“Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO)

Los valores de velocidad de utilización de oxígeno (VUO), corresponden a la pendiente en el diagrama oxígeno disuelto (OD)”, en función del tiempo, para las muestras AR-RFA-01, AR-RFA-02, AR-RFA-03 y AR-RFA-04, obtenidas del reactor anaerobio de flujo ascendente.

- Cálculo del volumen corregido:

$$V_{Corregido} = \frac{V_{Titular} (V_{Muesytreado} - V_{Desplazado})}{V_{Muestreado}}$$

- Cálculo del oxígeno disuelto (OD):

$$OD (mg(l)) = \frac{Molaridad_{Tiosulfito\ de\ sodio} * V_{Tiosulfito\ de\ Sodio} * 8000}{V_{Corregido}}$$

Tabla 9. Muestra AR-RFA-01. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)

N°	Tiempo	V _{MUESTRA}	V _{CORREGIDO}	V _{TIOSULFATO}	OD
	min	ml	ml	ml	mg/l
1	5	50	48.08	0.94	3.7537
2	10	50	48.08	0.85	3.3943
3	15	50	48.08	0.67	2.6755
4	20	50	48.08	0.48	1.9168
5	25	50	48.08	0.32	1.2779
6	30	50	48.06	0.28	1.1181

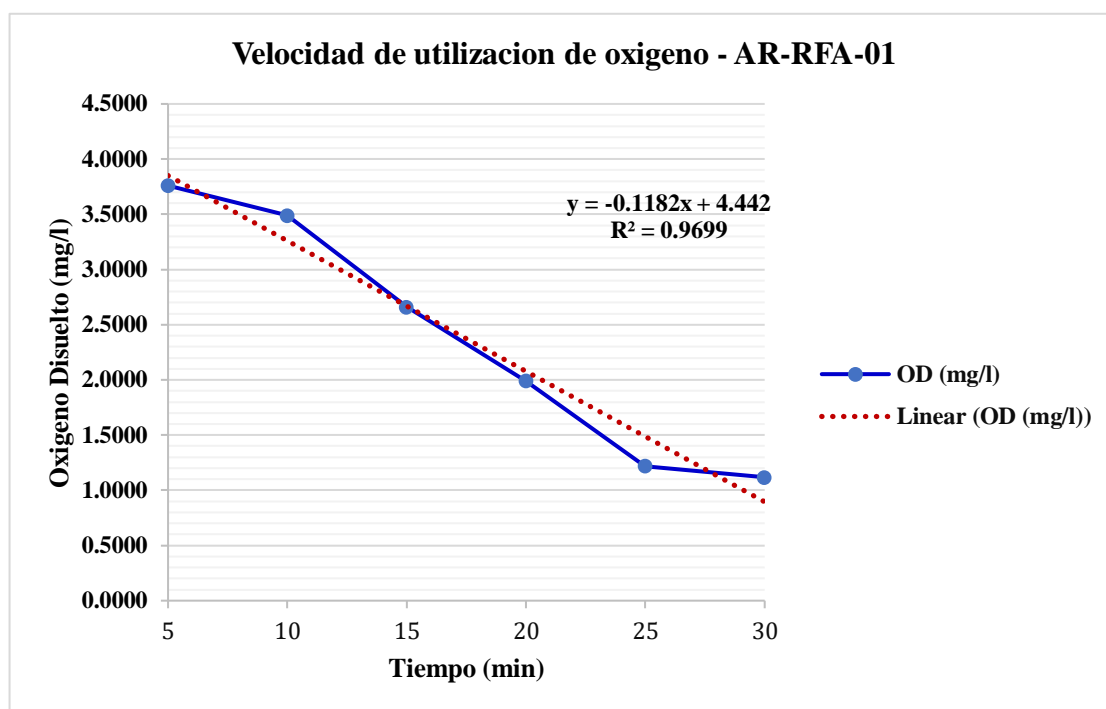


Figura 21. Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-01

Tabla 10. Muestra AR-RFA-02. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)

N°	Tiempo	V _{MUESTRA}	V _{CORREGIDO}	V _{TIOSULFATO}	OD
	min	ml	ml	ml	mg/l
1	5	50	48.08	0.93	3.7138
2	10	50	48.08	0.86	3.4343
3	15	50	48.08	0.69	2.7554
4	20	50	48.08	0.46	1.8369
5	25	50	48.08	0.35	1.3977
6	30	50	48.06	0.28	1.1181

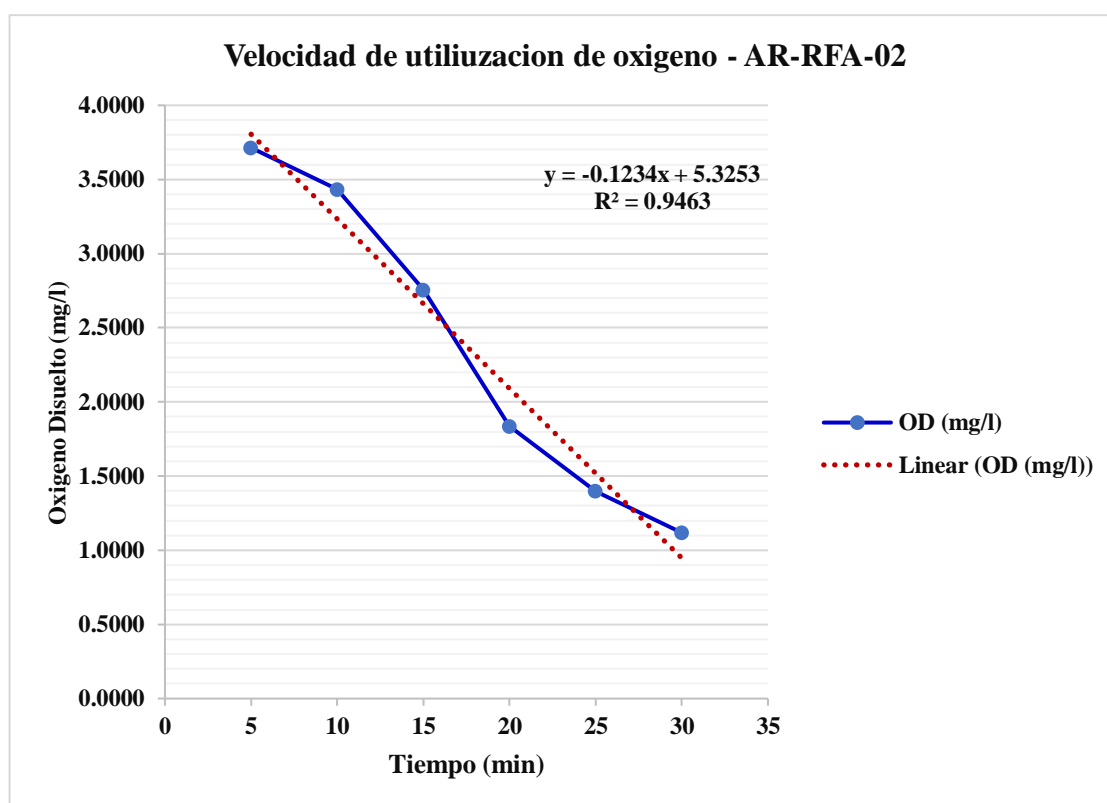


Figura 22. Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-02

Tabla 11. Muestra AR-RFA-03. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)

N°	Tiempo	V _{MUESTRA}	V _{CORREGIDO}	V _{TIOSULFATO}	OD
	min	ml	ml	ml	mg/l
1	5	50	48.08	0.97	3.8735
2	10	50	48.08	0.91	3.6339
3	15	50	48.08	0.70	2.7953
4	20	50	48.08	0.56	2.2363
5	25	50	48.08	0.39	1.5574
6	30	50	48.06	0.31	1.2379

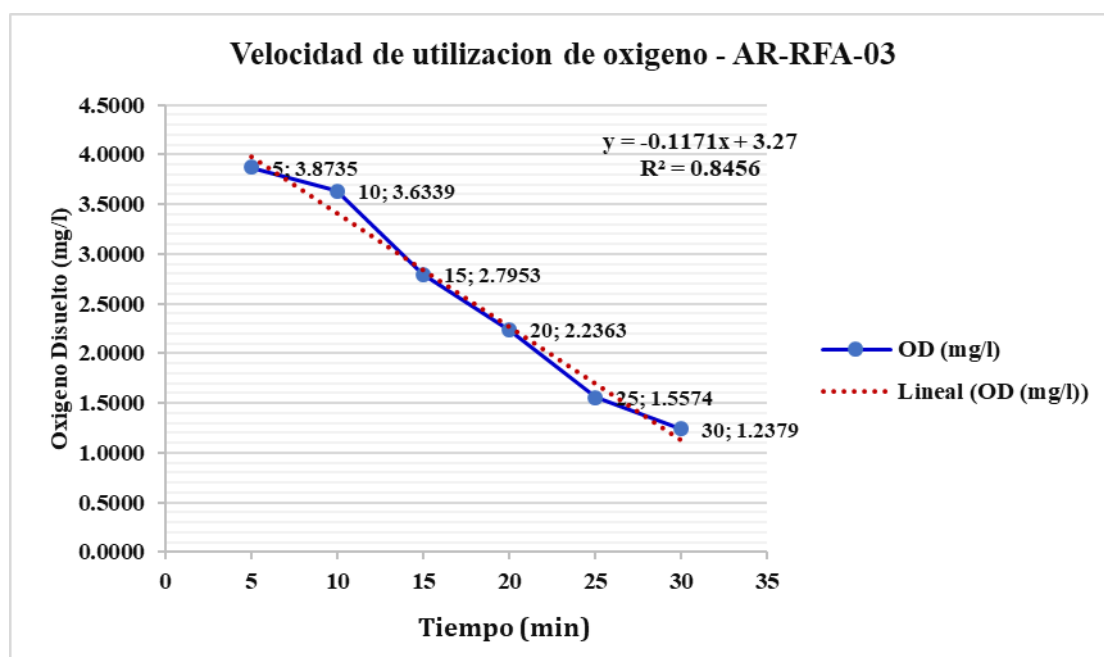


Figura 23. Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-03

Tabla 12. Muestra AR-RFA-04. Fecha de medición: 08/01/2022 (Condiciones 30 minutos)

N°	Tiempo	V _{MUESTRA}	V _{CORREGIDO}	V _{TIOSULFATO}	OD
	min	ml	ml	ml	mg/l
1	5	50	48.08	0.96	4.2400
2	10	50	48.08	0.88	4.1200
3	15	50	48.08	0.72	4.0600
4	20	50	48.08	0.52	4.0000
5	25	50	48.08	0.35	3.9100
6	30	50	48.06	0.26	3.8100

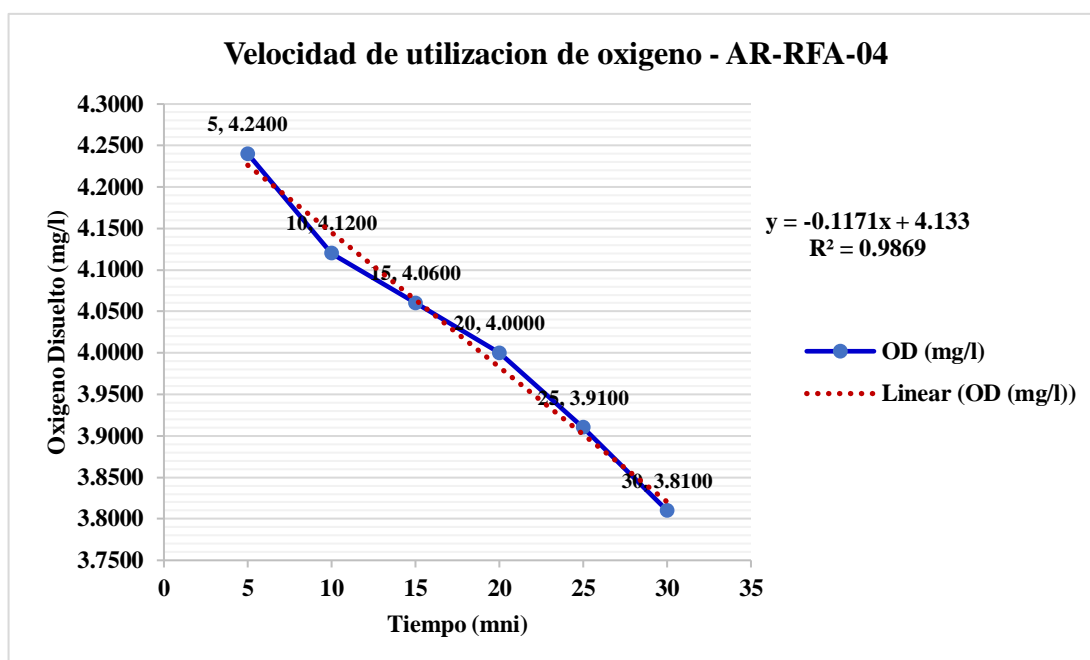


Figura 24. Velocidad de utilización de oxígeno – AR-RFA-04

“Monitoreo de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla (SSVLM)”[44]

Ramalho, indica que para la determinación de los SSVLM, “se realizaron los ensayos de laboratorio, con el fin de mantener una concentración adecuada de microorganismos en el licor de mezcla de la cámara de aireación debiendo encontrarse en el rango de 2000 mg/l SSV a 4000 mg/l SSV”[44].

Tabla 13. “Monitoreo de SSVLM de cada Reactor durante Operación del sistema” [24]

N° Depurador biológico	Fecha	Peso papel filtro, (g)	Peso de papel filtro + Muestra, (g)	SST (g), Para una muestra de 50 ml	Peso de Crisol (g)	Peso de crisol + Muestra, (g)	SSF (g)	SSV = SST- SSF, (g)	SSVLM (mg/l)
AR-RFA-01	08/10/2021	1.082	1.247	0.165	44.515	44.557	0.042	0.123	2460
	09/10/2021	1.075	1.247	0.172		44.541	0.036	0.136	2720
AR-RFA-02	08/10/2021	1.075	1.241	0.166	44.423	44.461	0.038	0.128	2560
	09/10/2021	1.055	1.223	0.168		44.452	0.029	0.139	2780
AR-RFA-03	08/10/2021	1.072	1.236	0.164	44.597	44.626	0.029	0.135	2700
	09/10/2021	1.086	1.253	0.167		44.620	0.023	0.122	2880
AR-RFA-04	08/10/2021	1.074	1.236	0.162	44.465	44.489	0.024	0.138	2760
	09/10/2021	1.072	1.240	0.168		44.488	0.023	0.145	2900

Cálculo de SSVLM

$$SSVLM (g) = (\text{Peso de crisol} + \text{muestra}, g) - (\text{Peso de crisol} + \text{Muestra calcinada}, g)$$

Cálculo de SSVLM, ppm = X, mg/l

$$SSVLM (ppm) = \frac{(SSVLM, g)}{50 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

50 ml = muestra de agua

Producción de lodo en estado de equilibrio ecológico microbiano del sistema de tratamiento AR-RFA

Se determinó la producción de sólidos suspendidos volátiles en el licor de la mezcla (SSVLM), para un $\theta = 0$ horas hasta un $\theta = 24$ horas.

Tabla 14. Producción de lodos en el AR-RFA

RFA	Fecha	SSVLM (mg/l)	Producción de lodos	Sistema
AR-RFA-01	08/01/2022	2460	260	Estable
	09/01/2022	2720		
AR-RFA-02	08/01/2022	2560	220	Estable
	09/01/2022	2780		
AR-RFA-03	08/01/2022	2700	180	Estable
	09/01/2022	2880		
AR-RFA-04	08/01/2022	2760	140	Estable
	09/01/2022	2900		

“Monitoreo para índice volumétrico de lodos”

Ramalho, “El índice volumétrico del lodo o IVL, es un indicador macroscópico que permite evaluar las características de decantación del lodo”[44]. “Corresponde al volumen en litros, que ocupa 1 gramo de sólidos en suspensión del licor de mezcla en peso seco, después de sedimentar por 30 minutos”[44]. “En el control de una planta de tratamiento de aguas, el IVL se usa para determinar si se está produciendo un aumento de volumen del lodo, denominado lodo floculento o Bulking”[44].

$$IVL = \frac{V_{30} \text{ (ml)}}{SST \text{ (g)}}$$

Calculando el “índice volumétrico de lodos” (IVL), para el AR-RFA-01:

$$SST = \frac{0.165 \text{ g}}{50 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ ml}}{l} = 3.30 \frac{\text{g}}{l}$$

Calculando el índice volumétrico de lodos (IVL), para el AR-RFA-02:

$$SST = \frac{0.166 \text{ g}}{50 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ ml}}{l} = 3.32 \frac{\text{g}}{l}$$

Tabla 15. “Monitoreo de índice volumétrico de lodos”

RFA	Fecha	SST (g /l)	Sedimentación en cono IMHOFF ml/l	Índice volumétrico de lodos (IVL) ml/g
AR-RFA-01	08/01/2022	3.30	350	106.06
	09/01/2022	3.44	400	116.28
AR-RFA-02	08/01/2022	3.32	350	105,43
	09/01/2022	3.36	370	110,12
AR.RFA-03	08/10/2021	3.28	320	97,56
	09/10/2021	3.34	360	102,67
AR-RFA-04	08/10/2021	3.24	300	92,59
	09/10/2021	3.36	340	101,19

3.2.1. Prueba de hipótesis estadística de investigación: Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos “del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influye significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, en base producción de lodos

Como prueba de hipótesis se empleó las muestras normales: La cual se realizó empleando la prueba **estadística de Kolmogorov**, para los efluentes de PTAR Boca del Rio.

Hipótesis Especifica (01)

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos “del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente” influyen significativamente en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

Tabla 16. Resultado de producción de lodos

RFA	Producción de lodos (g/d)
AR-RFA-01	0.260
AR-RFA-02	0.220
AR-RFA-03	0.180
AR-RFA-04	0.140

- **H₀:** Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente **influyen significativamente** en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, 2021.
- **H_a:** Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente **influyen significativamente** en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, 2021.

Prueba Kolmogorov-Smirnov

Usado para comparar promedios en grupos de muestras relativamente pequeños ($n < 30$)
Muestras de poblaciones con distribución normal

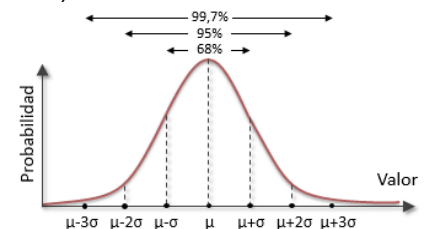
Estadístico de prueba

$$D = \max |F_n(x) - F_0(x)|$$

Donde:

$F_n(x)$ Función de distribución muestral

$F_0(x)$ Función teórica



Hipotesis

H_0 : Los datos analizados **siguen** una distribución muestral

H_0^1 : Si, f_a (estadístico calculado de prueba) es $< o =$ que f_c (estadístico crítico, teórico) se **ACEPTA** H_0

H_a : Los datos analizados **NO siguen** una distribución muestral

H_a^1 : Si, f_a (estadístico calculado de prueba) $>$ que f_c (estadístico crítico, teórico) se **RECHAZA** H_0

Pasos a verificar

1. Plantear las hipótesis NULA Y ALTERNATIVA
2. Determinar el nivel de significancia
3. Estimar el valor del estadístico de prueba
4. Establecer la regla de decisión
5. Tomar la decisión.

Variable: **PRODUCCION DE LODOS**

Paso 1: Plantear las hipótesis

Hipotesis Nula (H_0): La Produccion de lodos **se distribuyen** como una normal

Hipotesis Alternativa (H_a): La Produccion de lodos **NO se distribuyen** como una normal

Paso 2: Determinar el nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

Paso 3: Estimar el estadístico de prueba

Se ingresan los valores solicitados

Datos

Numero aleatorios	Parametros de la distribucion normal	
0.260	Media	0.2000
0.220	Desviacion	0.0516
0.180	Minimo	0.1400
0.140	Maximo	0.2600
	Rango	0.1200
	Numero de datos	4
	Sturges (Nº de intervalos)	3.0000
	Numero de intervalos de raiz de r	2.0000
	Tamaño del intervalo	0.0400

fo = frecuencia observada
for = frecuencia observada relativa
for-acumulada= frecuencia observada relativa acumulada
fer = frecuencia esperada relativa

Intervalo	Lim. Inferior	Lim. Suoerior	fo	for	for-acum.	fer	ABS(for-acum-fer)
1	0.1400	0.1800	1	0.2500	0.2500	-0.1429	0.3929
2	0.1800	0.2200	1	0.2500	0.5000	0.1428	0.3572
3	0.2200	0.2600	1	0.2500	0.7500	0.4286	0.3214
4	0.2600	0.3000	1	0.2500	1.0000	0.7143	0.2857
			4	1.0000			

Paso 4: Establecer la regla de decision

Estadística de prueba	0.3929	
Nivel de significancia (α)	0.05	
n	4	→ 0.70760 ANEXO I: Distribución de Kormogorov
gl (n-1)	3	
Estadística obtenita de la tabla (teórica)	0.6800	muestras $< \frac{1.36}{\sqrt{n}}$ ANEXO I: Distribución de Kormogorov

Paso 5: Tomar la decisión

Si el **estadístico calculado de prueba es (experimental)** es menor o igual que el **estadístico crítico (teórico)** SE ACEPTA EL H_0 , en caso contrario se rechaza.

Conclusion:

f_a (estadístico calculado de prueba) es $0.3929 <$ que f_c (estadístico crítico, teórico) es 0.6800 entonces se **ACEPTA H_0** .
Se **ACEPTA la H_0** , Por lo tanto la producción de lodos **se distribuyen** como una distribución normal

3.3. El tratamiento de aguas residuales en los parámetros biocinéticos de la laguna Boca del Rio

Aguirre y Yanac, “La microbiología es el estudio de los microorganismos y de sus actividades”[24]. “La microbiología ambiental o sanitaria se ocupa de los microorganismos que comúnmente se encuentran en el agua, las aguas residuales, el aire y en algunos casos en el suelo, capaces de afectar la salud pública, descomponer la materia orgánica”[24].

Se obtuvo los datos del sistema de tratamiento AR-RFA, en estado de equilibrio ecológico microbiano del día 08 de enero del 2022.

En la tabla adjunta se explica los datos obtenidos producto de los análisis de laboratorio de las AR-RFA.

Referencia:

Laboratory data

- “ DBO_E = Demanda biológica de oxígeno del afluente, (B_E), (mg/l);
- DQO_E = Demanda química de oxígeno del afluente, (Q_E), (mg/l);
- DBO_S = Demanda biológica de oxígeno del efluente, (B_S), (mg/l)”[24].;
- “ DQO_S = Demanda química de oxígeno del efluente, (B_E), (mg/l);
- SSV = Concentración de sólido suspendidos volátiles, (χ_{AR-RFA}), (mg/l);
- ΔX_v = Producción neta de lodos, (g/d)[24];

AR-RFA prototype measurement:

- “ IVL = Promedio del índice volumétrico de lodos, (ml/g);
- Q = Caudal, (l/h);
- VUO = Velocidad de utilización de oxígeno, (mg/l.min)”[24].

Tabla 17, “Resumen de valores monitoreados del sistema de tratamiento” [24]

Laboratory data							AR-RFA prototype measurement		
N° AR-RFA	DBO _E (mg/l)	DQO _E (mg/l)	DBO _S (mg/l)	DQO _S (mg/l)	$\Delta\chi_{AR-RFA}$ (mg/L)	ΔX_v (g/d)	ΔIVL (ml/g)	Q (l/h)	VUO (mg/l.min)
AR-RFA-01			77	134.5	2720	0.260	111.17	4.15	0.1182
AR-RFA-02	312.5	335	73	135.1	2780	0.240	107,78	4.12	0.1234
AR-RFA-03			69	135.4	2880	0.180	100.16	4.10	0.1171
AR-RFA-04			67	1338	2900	0.140	96.89	4.13	0.1171

1) Modelo cinético de primer orden (k)

Se determino el parámetro biocinético, se utilizó, según, **Ramalho**, “el modelo cinético de primer orden, donde (k) es la *constante específica de velocidad de remoción de sustrato*, sus unidades son (l/mg.h).

Para determinar gráficamente el valor de este parámetro, se utiliza la siguiente expresión”[44]:

$$q_{\text{sustrato}} = \frac{DBO_{\text{Entrada}} - DBO_{\text{Salida}}}{\chi_{AR-RFA} - \theta_{\text{Hidraulico}}} = k DBO_{\text{Salida}}$$

Referencia:

- **Tiempo hidráulico**

$$\theta_{Hidraulico,i} = \frac{V}{Q_i}$$

$$\theta_{Hidraulico,01} = \frac{0.01863 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ l}}{1\text{m}^3}}{4.15 \frac{\text{l}}{\text{h}}}$$

$$\theta_{Hidraulico,01} = 4.49 \text{ h}$$

- **Promedio e la Demanda bioquímica de oxígeno**

$$\Delta DBO = DBO_{Salida} - DBO_{Entrada}$$

- **Concentración de solido suspendidos volátiles respecto al tiempo**

$$X_{(AR-RFA-01)(\theta_{Hidraulico})} = X_{AR-RFA-01} * \theta_{Hidraulico}$$

$$X_{(AR-RFA-01)(\theta_{Hidraulico})} = 2720 * 4.49$$

$$X_{(AR-RFA-01)(\theta_{Hidraulico})} = 12212.8$$

- **Velocidad especifica de consumo de sustrato**

$$q_{Consumo \text{ de sustrato}} = \frac{\Delta DBO}{X_{(AR-RFA)(\theta_{Hidraulico})}}$$

$$q_{Consumo \text{ de sustrato}} = \frac{235.5}{12212.8}$$

$$q_{Consumo \text{ de sustrato}} = 0.019283$$

Tabla 18. “Valor de la pendiente (k)” [24]

Datos de laboratorio y campo					Datos calculados				
RFA	$\theta_{\text{Hidraulica}}$ (h)	DBO _{Entrada} (mg/l)	DBO _{Salida} (mg/l)	$\chi_{(\text{AR,RFA})}$ (mg/l)	ΔDBO (mg/l)	$X_{(\text{AR-RFA}) * \theta\text{-Hidraulico}}$ (mg/h)	q (h ⁻¹ -l)	k (l/mg.h)	k * 24 (l/mg.d)
AR-RFA-01	4.49	312.5	77	2720	235.5	12212.8	0.019283	0.00115	0.0276
AR-RFA-02	4.47		73	2780	239.5	12426.6	0.019273		Parámetro biocinético
AR-RFA-03	4.50		69	2880	243.5	12960.0	0.018789		
AR-RFA-04	4.51		67	2900	245.5	13079.0	0.018771		

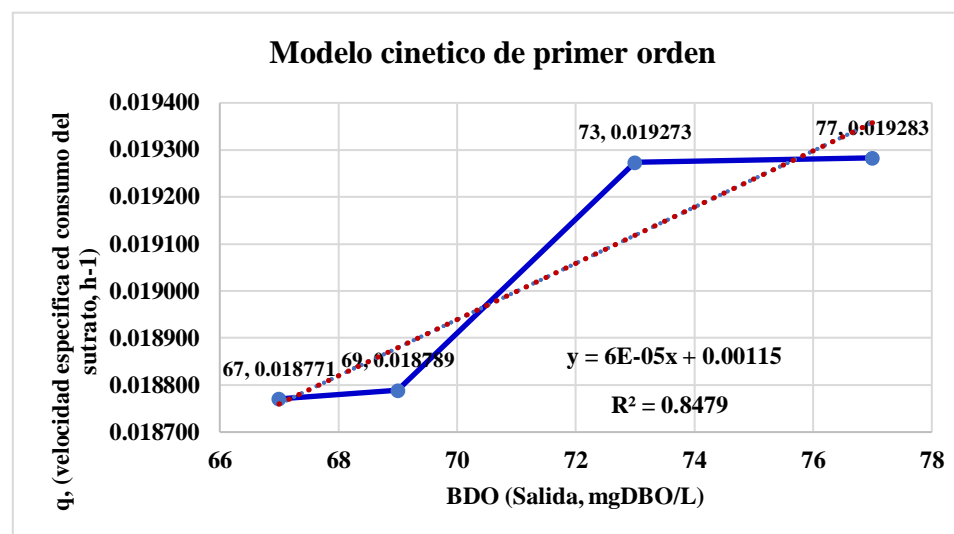


Figura 25. Modelo cinético de primer orden

2) Parametro biocinetico (k_s y q_{max})

Según, *Ramalho*, “la constante de afinidad (k_s) del sustrato con los microorganismos que intervienen en el tratamiento y sus unidades son mg/l, mientras que el parámetro biocinéticos (q_{max}) es la velocidad específica máxima de consumo de sustrato siendo sus unidades h^{-1} ”[44].

Se determino, “gráficamente” el valor de estos parámetros biocinético, se utilizó el siguiente modelo:

$$q = \frac{S_o - S_e}{X_{va} \cdot t_h} = q_{max} \cdot \frac{S_e}{K_s + S_e} \quad \frac{X_{va} \cdot t_h}{S_o - S_e} = \frac{K_s}{q_{max}} \cdot \frac{1}{S_e} + \frac{1}{q_{max}}$$

Calculated data

m = Pendiente de la recta (K_s/q_{max}), unidades (mg.h/l)

b = intercepto de la recta ($1/q_{max}$), unidades (h)

Tabla 19. “Constante de afinidad (Ks) y Constante de velocidad específica (qmax)” [24]

Data				Calculated data				
RFA	$\theta_{\text{Hidraulica}}$ (h)	1/DBO _{Salida} (l/mg)	1/q (h)	m = pendiente de la recta = Ks/qmax (mg.h/l)	b = intercepto de la recta = 1/qmax (h)	qmax (h ⁻¹)	Ks= (m)x(qmax) (mg/l)	qmax*24 (d ⁻¹ -l)
AR-RFA-01	4.49	0.01299	51.859	858.38	36.521	0.02738	23.5044	0.6572
AR-RFA-02	4.47	0.01370	51.886			Parámetro biocinético	Parámetro biocinético	Parámetro biocinético
AR-RFA-03	4.50	0.01449	53.223					
AR-RFA-04	4.51	0.01493	53.274					

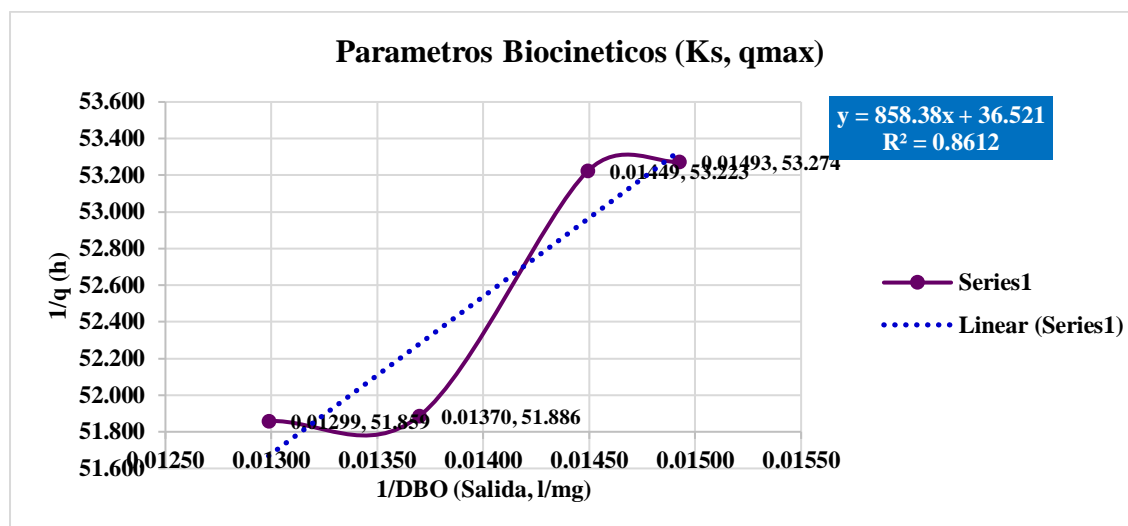


Figura 26. Parámetros biocinéticos (Ks y qmax)

3) Parámetros biocinético (Y y Kd)

Según, *Ramalho*, “el rendimiento (Y), es la producción de lodo biológico por cada kg de DBO removido, siendo sus unidades (Kg SSV/KgDBOr). El parámetro biocinético (Kd), representa la constante de decaimiento o muerte de microorganismo”[44], en el AR-RFA oxidados por respiración endógena, siendo sus unidades (Kg SSV/d.Kg SSV).

Referencia:

Laboratory data

ΔX_V = Producción neta de lodos, (g/d);

$\chi_{(AR-RFA)}$ = Concentración de sólido suspendidos volátiles, (mg/l);

Calculated data

μ = Velocidad específica de crecimiento (d^{-1});

θ_E = Edad de lodos (d^{-1});

V = Volumen de la cámara, (l);

Volumen de la cámara

$$Volumen_i (V) = \theta_{Hidraulico,i} * Q_i$$

$$Volumen_1 (V) = (4,49 \text{ h}) \left(4,15 \frac{l}{h} \right)$$

$$Volumen_1 (V) = 18,634 \text{ l}$$

$$Volumen_2 (V) = 18,616 \text{ l}$$

$$Volumen_3 (V) = 18,450 \text{ l}$$

$$Volumen_4 (V) = 18,626 \text{ l}$$

Velocidad específica de crecimiento

$$\mu = \frac{\frac{\Delta X_V}{V}}{\chi_{AR-RFA}}$$

$$\mu = \frac{0.581}{2720}$$

$$\mu = 0.003983$$

Tabla 20. “Rendimiento (Y) y Constante de decaimiento o muerte del microorganismo (Kd)” [24]

Laboratory data			Calculated data					Del gráfico se Observa y calcula	
RFA	ΔX_v (g/d)	$\chi_{(AR-RFA)}$ (mg/l)	$\Delta X_v * 1000$ (mg/d)	$\Delta X_v / 24$ (mg/h)	$\Delta X_v / V$ (mg SSVLM/h.l)	μ (h ⁻¹ -l)	q (h ⁻¹ -l)	Y (mgSSVLMprod./mgDBO)	Intercepto (b) *24 = Kd
AR-RFA-01	0.260	2720	260	10.833	0,581	0.003983	0.019283	0.0329	0.01538
AR-RFA-02	0.240	2780	240	10.000	0,537	0.003597	0.019273	Parámetro biocinético	Parámetro biocinético
AR-RFA-03	0.180	2880	180	7.500	0.407	0.002604	0.018789		
AR-RFA-04	0.140	2900	140	5.833	0,313	0.002011	0.018771		

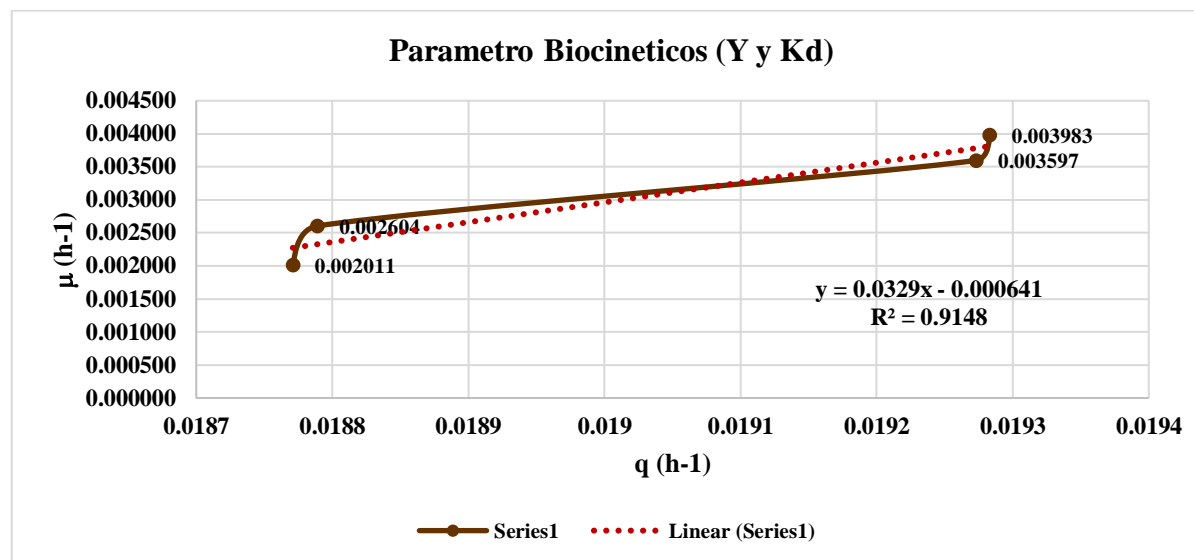


Figura 27. Parámetros biocinéticos (Y y Kd)

4) Parámetros biocinéticos (“a” y “b”)

El parámetro biocinético “a” representa la cantidad de los Kg de oxígeno utilizados en la oxidación del sustrato por cada Kg de DBO removido, siendo sus unidades (Kg O₂/Kg DBO_r). Mientras que el parámetro biocinético “b” representa los Kg de oxígeno utilizados en la respiración endógena, por día utilizados por los microorganismos, representados por cada kg de SSV, siendo sus unidades (Kg O₂/d.Kg SSV_{AR-RFA}).

Data:

RO_2 = Velocidad específica de consumo de oxígeno (kg O₂/h kg SSV)

RO_2 = VUO/X_{va}

VUO = Velocidad de utilización de oxígeno (mgO₂/L min).

From the graph it is observed and calculated

“a” = Pendiente de la recta, (mg O₂/mg DBO)

“b” = Intercepto de la recta, (mg O₂/dia.mg SSV_{AR-RFA})

Tabla 21. “Cantidad de O2 necesario para remover la DBO (a) y Cantidad de O2 en le respiración endógena (b)” [24]

RFA	Data					From the graph it is observed and calculated	
	VUO (mg O ₂ /l.min)	χ _{RA-RFA} (mg/L)	VUO*60 (mgO ₂ /l.h)	q (h ⁻¹)	RO ₂ = VUO/X _{va} (h ⁻¹)	“a” = pendiente de la recta (mgO ₂ /mgDBO)	b*24 = mgO ₂ /dia.mgSSV _{AR-RFA} (h ⁻¹)
AR-RFA-01	0.1182	2720	7.092	0.019283	0.002607353	0.4091	0.01272
AR-RFA-02	0.1234	2780	7.404	0.019273	0.002663309		
AR-RFA-03	0.1171	2880	7.026	0.018789	0.002439583		
AR-RFA-04	0.1171	2900	7.026	0.018771	0.002422759		

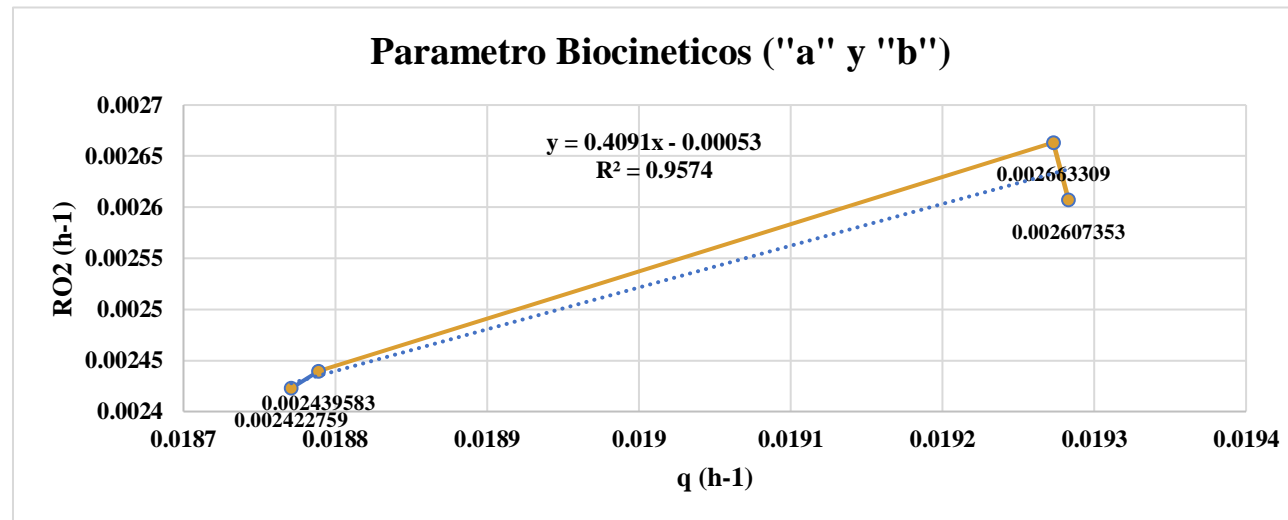


Figura 28. Parámetros biocinéticos (“a” y “b”)

3.3.1. “Prueba de hipótesis estadística de investigación: El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente en los parámetros biocinéticos de la laguna Boca del Rio, en base a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Como prueba de hipótesis se empleó las muestras paramétricas: La cual se realizó empleando la prueba **t de Student** en correspondencia a los LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES para los efluentes de PTAR Boca del Rio, ver tabla 22.

Hipótesis Especifica (02)

El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente influye significativamente en los parámetros biocinéticos de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021.

Tabla 22. Resultado y comparación con los LMP para los efluentes de PTAR

RFA	Resultado de los análisis (mg/L)	Norma: LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
AR-RFA-01	77	
AR-RFA-02	73	100 mg/L
AR-RFA-03	69	
AR-RFA-04	67	

- **H₀:** El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente se obtiene el valor de DBO **influye significativamente** en los parámetros biocinéticos de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021 ($\mu \geq 100$ mg/L).
- **H_a:** El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente se obtiene el valor de DBO **NO influye significativamente** en los parámetros biocinéticos de la Laguna Boca del Rio, Pisco, 2021 ($\mu < 100$ mg/L).

Prueba t-Student

Hipotesis

- H₀: Los datos analizados **siguen** una distribucion muestral
 H_a: Los datos analizados **NO siguen** una distribucion muestral

Pasos a verificar

1. Plantear las hipotesis NULA Y ALTERNATIVA
2. Determinar el nivel de significancia
3. Estimar el valor del estadistico de prueba
4. Establecer la regla de decision
5. Tomar la decision.

Variable: DBO

Paso 1: Plantear las hipotesis

- H₀: $\mu \geq 100$ (LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas)
 H_a: $\mu < 100$ (LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas)

Paso 2: Determinar el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Paso 3: Estimar el estadistico de prueba

Se ingresan los valores solicitados

Numero aleatorios
77
73
69
67

<i>Columna1</i>	
Media	71.5 \bar{X}
Error típico	2.2174
Mediana	71
Desviación estándar	4.4347 S
Varianza de la muestra	19.6667
Curtosis	-1.6995
Coficiente de asimetría	0.4816
Rango	10
Mínimo	67
Máximo	77
Suma	286
Cuenta	4
Nivel de confianza(95.0%)	7.056615718

Media de la distribucion de los datos

Desviacion estandar de la muestra

Paso 4: Establecer la regla de decision

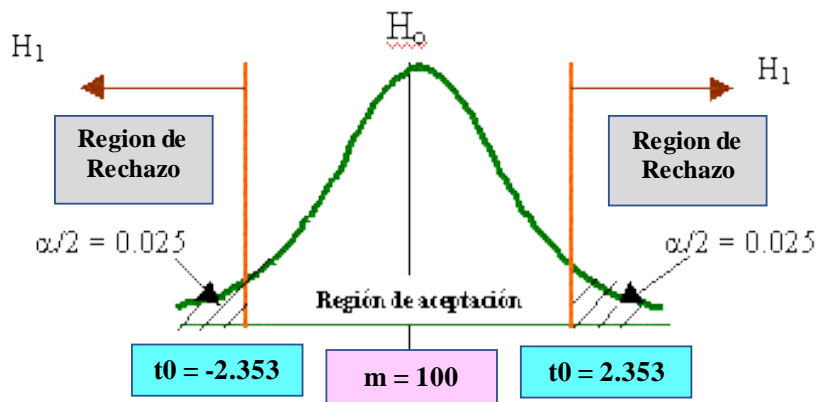
Para tener 5% del area . En la zona de rechazo, prueba de una cola

$\mu =$	100	Media de la poblacion	
$\alpha =$	0.05		
$n =$	4	Tamaño de la muestra	
$gl =$	3		

-2.353 ANEXO I: Distribución t de Student

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad t_0 = \frac{71.5 - 100}{\frac{4.4347}{\sqrt{3}}} \quad t_0 = -12.8531 < -2.353$$

En este caso la desviacion estándar de la poblacion es (S_x) no es conocida, lo q se ha obtenido es una muestra, para tal efecto se se usa la prueba de t



Paso 5: Tomar la decision

Si $t_0 < - 2.353$ entonces **se RECHAZA H_0** . Si $t_0 > - 2.353$ entonces no **se RECHAZA H_0**

Conclusion:

Si $-12.8531 < - 2.353$ entonces **se RECHAZA** la Hipotesis Nula (H_0) **y se ACEPTA** la Hipotesis Alterna (H_a)

Se ACEPTA la H_a , Por lo tanto se puede aseverar que el parámetro efluente DBO5 no afecta en el vertido como cuerpo de agua

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. El tratamiento de aguas residuales en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco

En la práctica existen varios métodos de evaluación. Un de ellos es el análisis de riesgo ecológico que al mismo tiempo presenta el método más común. El formalismo de este método requiere la evaluación de los impactos que todas las posibles emisiones puedan tener sobre los potenciales ecológicos: clima / aire; agua; suelo; especies/biótopos; uso humano.

Tabla 23. Metodología de evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Rio

Consecuencias/Impactos	Dependencia de la ubicación
Descarga de aguas residuales en aguas superficiales Averías en el servicio	Sólo existe una dependencia de la ubicación si se han previsto distintos cuerpos receptores de aguas
Evacuación de lodos de depuración	Por regla general existe una dependencia de la ubicación
<ul style="list-style-type: none">▪ Emisiones de olores▪ Impactos sobre flora y fauna▪ Impactos sobre los suelos▪ Impactos sobre el balance hídrico	Existe una dependencia de la ubicación

PTAR- Boca del Rio, [18]. “La capacidad depuradora de la PTAR-Boca del Rio en el tratamiento de la eficiente de las aguas residuales es fundamental para la sostenibilidad del medio ambiente, la protección de la salud pública” y” alcanza los siguientes grados de eficiencia: Parámetro = DBO₅ y Coliformes fecales. Grado de eficiencia = 95,2 % 99,99%” [18]. Además en la investigación realizada por *Balogun & Ogwueleka* sobre, “Concluyen que, la eficiencia de eliminación de coliformes observada en este estudio (97 % a 99,98 %) indica una alta eficiencia de eliminación que da crédito a varios estudios similares anteriores que informaron eficiencias de eliminación de coliformes de más del 90 %.”[62].

Cabe señalar que la eficiencia depuradora en cuanto a la DBO₅ soluble es 98%, que incluye la DBO₅ filtrable que es originado por las algas verdes en el efluente.

En cuanto a la situación bacteriológica se puede constatar que en las lagunas de oxidación los valores quedan definitivamente por debajo de 4.000 NMP/100 ml.

4.2. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio

Se presenta en la tabla 16 se presenta los resultados en base producción de lodos de los efluentes proveniente de la plata de tratamiento de aguas residuales Boca del Rio, del monitoreo de índice volumétrico de lodos se muestran en las tablas 13 y 14.

Como prueba de hipótesis de la producción de lodos se consideró como muestras normales, para aplicar la prueba **estadística de Kolmogorov**, para los efluentes de PTAR Boca del Rio. Donde, se considera una significancia de (α) es 0.05, con una muestra (n) de 4 y grados de libertad (gl) es 3, obteniéndose una distribución de **Kormogorov teórico de (0.70760)** y una distribución de **Kormogorov experimental de (0.3929)**, ver ANEXO I.

∴ Si el estadístico calculado de prueba es **0.3929** < que el estadístico critico teórico de **0.70760** entonces se ACEPTA la Hipótesis Nula (H₀) y se RECHAZA la Hipótesis Alterna (H_a). Por lo que se **concluye**: que, el parámetro de la producción de lodos tiene una distribución normal, lo que permite calcular la concentración de solidos suspendidos totales, como se muestra en la tabla 24.

Concentración de solidos suspendidos totales (SST)

Nos ayuda a determinar uno de los indicadores de estabilidad del lodo (IVL), encontrándose en cada reactor como se describe a continuación:

Tabla 24. Resumen del parámetro: concentración de solidos suspendidos totales en el tanque de aireación (SSTA)

RFA	Descripción
AR-RFA-01	Para el periodo de estabilidad y análisis de laboratorio se encontró 3.44 Kg/m ³ . Encontrándose en el rango recomendado por la norma OS-090.
AR-RFA-02	Para el periodo de estabilidad y análisis de laboratorio se encontró 3.36 Kg/m ³ . Encontrándose en el rango recomendado por la norma OS-090.

AR-RFA-03 Para el periodo de estabilidad y análisis de laboratorio se encontró 3.34 Kg/m³. Encontrándose en el rango recomendado por la norma OS-090.

AR-RFA-04 Para el periodo de estabilidad y análisis de laboratorio se encontró 3.36 Kg/m³. Encontrándose en el rango recomendado por la norma OS-090.

Nota: los cuatro sistemas AR-RFA-01, AR.RFA-02, AR-RFA-03 y AR.RFA-04 se estableció que la cantidad de microorganismos adheridos a los sólidos suspendidos fijos, presentes en el AR-RFA, son los correctos.

Tabla 25. “Parámetros recomendados de diseño según norma OS.090” [63]

TIPO DE PROCESO	Remoción de DBO	Concentración de SSTA kg/m ³	Carga de la masa kg DBO/ (kg SSVTA.día)	Tasa de recirculación %
Convencional	85 - 90	1,5 - 3,0	0,20 - 0,40	25 - 50
Aeración escalonada	85 - 95	2,0 - 3,5	0,20 - 0,40	25 - 75
Alta carga	75 - 90	4,0 - 10	0,40 - 1,50	30 - 500
Aeración prolongada	75 - 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,50	75 - 300
Mezcla completa	85 - 95	3,0 - 6,0	0,20 - 0,60	25 - 100
Zanja de oxidación	75 - 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,15	75 - 300

4.3. El tratamiento de aguas residuales en los parámetros biocinéticos de la laguna Boca del Rio

LMP: Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”[61]

El tratamiento de aguas residuales mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente para analizar los parámetros biocinéticos de la laguna Boca del Rio ubicado en la ciudad de Pisco, es importante tomar en cuenta la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), para obtener los resultados y comparación con los LMP para efluentes de PTAR, como se muestra en la tabla 22. También se presenta en la tabla 26 el resumen de los parámetros biocinéticos.

Se empleo la prueba **t de Student** en correspondencia a los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR Boca del Rio. Donde la media poblacional (μ) es 100 mg/l, con una significancia de (α) es 0.05, con una muestra (n) de 4 y grados de libertad (gl) es 3, obteniéndose una distribución de **t-Student teórico de (-2.353)** y una distribución de **t-Student el experimental de (-12.8531)**, ver ANEXO II.

∴ Si el estadístico calculado de prueba es **-12.8531** < que el estadístico crítico teórico **de -2.353**, entonces se RECHAZA la Hipótesis Nula (H_0) y se ACEPTA la Hipótesis Alternativa (H_a), se **concluye**: que, se puede aseverar que el parámetro efluente DBO₅ no afecta en el vertido como cuerpo de agua y contribuye con los criterios biocinéticos, conseguido en la actual investigación, como se muestra en la tabla 26:

Tabla 26. Resumen de los parámetros biocinéticos

Parámetros	Descripción	Valor	Unidad
k	Constante específica de velocidad de remoción de sustrato	0.0276	l/mg.d
K_s	Constante de afinidad	23.5044	mg/l
q_{max}	Constante de velocidad específica máxima de consumo de sustrato	0.6572	h ⁻¹
Y	Rendimiento = Producción de lodo biológico/ Kg de DBO removido	0.0329	KgSSV/KgDBO _r
K_d	Constante de decaimiento o muerte de microorganismo en el reactor oxidados por respiración endógena	0.0154	KgSSV/d.KgSSV _{AR-RFA}
a	Cantidad de oxígeno necesario para remover la DBO	0.4091	kgO ₂ /DBO _r
b	Cantidad de oxígeno en la respiración endógena usados por 1 kg de microorganismos en un día	0.01272	KgO ₂ /d.KgSSV _{AR-RFA}

Revisando la literatura existente se ha encontrado que los parámetros biocinéticos, encontrados por diferentes investigadores que han trabajado con sistemas de tratamiento de lodos activados a escala de laboratorio suelen presentar un rango muy amplio:

“k = está en un rango de (0.017 - 0.03) para el tipo de agua residual urbana”[44].

“K_s = está en un rango de (23 - 266) para el tipo de agua sintético – industrial”[64].

“K_d = está en un rango de (0.012 – 0.19) para el tipo de agua sintético – urbano”[7].

Tabla 27. Valores calculados experimentalmente de los parámetros biocinéticos

Parámetros	Descripción
$k = 0.0276 \text{ l/mg.d}$	Según, <i>Ramalho</i> , “Indica que el agua residual con la que se trabajó, es biodegradable, ya que se encuentra dentro del rango de valores para aguas residuales municipales” [44].
$K_S = 23.5044 \text{ mg/L}$	Según, <i>Méndez</i> , “la constante de afinidad indica, que se requiere como mínimo esta cantidad calculada de materia orgánica, para alcanzar la mitad de la velocidad media de crecimiento microbiano”[64]
$K_D = 0.0154 \text{ KgSSV/d.KgSSV}_{AR-RFA}$	Según, <i>Metcalf y Eddy</i> “reactor, significando que el 1% de la cantidad total de sólidos suspendidos volátiles se oxida en el proceso de respiración endógena, dentro del reactor”[7].

V. CONCLUSIONES

1. El tratamiento de aguas residuales en el equilibrio ecológico microbiano de la Laguna Boca del Rio, Pisco, ha permitido que la aplicación de cómo lo manifiesta en su investigación *Pacheco y Vera* sobre “los modelos a escala de laboratorio son utilizados para determinar la velocidad en donde los microorganismos degradan la materia orgánica presente en el afluente, que se realiza a través de la determinación de los coeficientes biocinéticos: Y , k , K_s y K_d ; son específicos para cada agua residual como industrial y doméstica”[65].
2. Los parámetros físico-químico-bacteriológico como la temperatura en la laguna de maduración en enero de 2022, temporada de verano, registró 31.1 °C, es uno de los factores importantes para la biodegradación, el pH es otro factor que influyó en el proceso, registrándose en el afluente un valor de 8.61 considerado como óptimo, luego se alimentó al reactor anaerobio de flujo ascendente y en base al equilibrio ecológico microbiano, muestra del afluente recogida de la laguna Boca del Rio, permitió desarrollar la cinética de remoción de la materia orgánica disuelta, haciendo a estos parámetros fundamentales en el momento del tratamiento de la planta, mediante este análisis, ya que la cinética de remoción define los otros parámetros como dimensionamiento, tiempo de retención, caudal, carga a tratar así como la velocidad de oxígeno disuelto encontrándose para AR-RFA01 con 0.1182 mg/l.min, AR-RFA02 con 0.1234 mg/l.min, AR-RFA03 mg/l.min con 0.1171 y AR-RFA04 con 0.1171 mg/l.min. La DBO₅, obtenidas del AR-RFA01 con 0.1182 mg/l.min, AR-RFA02 con 0.1234 mg/l.min, AR-RFA03 mg/l.min con 0.1171 y AR-RFA04 con 0.1171 mg/l.min al ser comradas con la Norma Técnica OS.090, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, en el punto 5.5.3: recomienda para la mezcla completa de remoción de DBO₅ en un rango de 85-95, por lo que se pude concluir que la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Rio cumple con los parámetros del equilibrio ecológico microbiano.
3. Los parámetros biocineticos, generados mediante el reactor anaerobio de flujo ascendente con la muestra del afluente proveniente de la red de alcantarillado de la ciudad de Pisco, aguas residuales tomadas a la descarga de ingreso a la planta de

tratamiento de aguas residuales Boca del Rio, se ajustaron a la cinética de remoción de primer orden o Monod y a los demás resultados se muestran en la tabla 23.

VI. RECOMENDACIONES

La PTAR-Boca del Rio, como todas las lagunas de oxidación del país, según los objetivos del nuevo milenio en el siglo XXI al año 2030, todas deben trabajar de manera óptima al 100% por tal motivo el monitoreo debe hacerse con mayor frecuencia y la documentación debe estar actualizada para cumplir con las exigencias del medio ambiente, como también por Ley: El Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Saneamiento Ambiental (DIGESA) y la Municipalidad tienen responsabilidades por Ley de vigilar el funcionamiento de la infraestructura sanitaria.

Verificar completamente los indicadores que perjudiquen la condicionalidad de los microorganismos (pH, Oxígeno Disuelto y Temperatura) como una periodicidad de dos horas.

Mediante los factores cinéticos adquiridos es importante lograr autorizar el permiso para “diseñar una planta de lodos activados, para el tratamiento de aguas residuales industriales”[24].

Se recomienda determinar la materia orgánica inerte, ya que al parecer tiene influencia con el factor Y.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. S. Tamayo y E. M. Esquivel, «El desarrollo Industrial y su Impacto en el Medio Ambiente», *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 52, n.º 3, pp. 357-363, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig08314.pdf>.
- [2] O. Aguilar y B. Navarro, «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA COMUNIDAD DE LLAÑUCANCHA DEL DISTRITO DE ABANCAY, PROVINCIA DE ABANCAY 2017.», Universidad Tecnológica de los Andes, 2018.
- [3] M. Rolim, *Lagunas de Estabilización. En: Como utilizar Aguas Residuales Tratadas en Sistemas de Regadío*. Santa Fé de Bogotá: Santa Fé de Bogotá, McGraw-Hill, 2000.
- [4] S. Oakley, «Manual de Diseño, Operación y Mantenimiento , Monitoreo y Sostenibilidad de Lagunas de Estabilización en Honduras», en *Consultor Ingenieria Sanitaria*, Agencia de los EEUU para el desarrollo Internacional (USAID), 2005, p. 255.
- [5] F. Cortés Martínez, A. Luévanos Rojas, R. Luévanos Rojas, A. Urangas Sifuentes, C. Mayela Ávila Garza, y J. González Barrios, «Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones: (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México).», *Rev. Arquít. e Ing.*, vol. 5, n.º 3, pp. 1-15, 2011.
- [6] J. Romero Rojas, *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño*. Colombia: Editorial Escuela colombiana de Ingeniería, 2010.
- [7] Metcalf y Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales. Volimen1: Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Tercera Ed. España, 2016.
- [8] S. Oakley y L. Salguero, «Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas en Centroamerica», en *Manual de Experiencias. Diseño, Operaciones y Sostenibilidad*, UASID, 2011, p. 410.
- [9] S. M. Oakley y R. Jiménez, «Rellenos sanitarios sostenibles para municipalidades pequeñas : el método semi-mecanizado de trinchera de Villanueva , Honduras», pp. 392-396, 2011.
- [10] L. Egocheaga y J. Moscoso, *Una Estrategia para la Gestión de las Aguas Residuales Domésticas*,. CEPIS/OPS, 2004.
- [11] C. Chibinda, M. Arada, y N. Pérez, «Characterization for physicochemical methods

- and evaluation of the quantitative impact of the waters of the Well the Limestone Quarry», *Rev. Cuba. Quím.*, vol. 29, n.º 2, pp. 303-321, 2017, [En línea].
Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v29n2/ind10217.pdf>.
- [12] M. Meister, D. Winkler, M. Rezavand, y W. Rauch, «Integrating hydrodynamics and biokinetics in wastewater treatment modelling by using smoothed particle hydrodynamics», *Comput. Chem. Eng.*, vol. 99, pp. 1-12, 2017, doi: 10.1016/j.compchemeng.2016.12.020.
- [13] R. Parker, N. Morris, F. N. Fair, y S. . Bhatia, *R. Parker, N. Morris, F. N. Fair, S. C. Bhatia*. 2014.
- [14] K. Guillermo Ramirez, «Calidad de Aguas Residuales del Tratamiento Primario en Pozas de Oxidación de Distrito de Viques-Huancayo», Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, 2011.
- [15] G. Amador, *Sistema de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, Manual de Operación y Mantenimiento*. Fundación ENSEMBLE, 2007.
- [16] S. de M. A. y R. Naturales, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos*. Tlalpan, México, D.F.: Impreso y hecho en México, 2014.
- [17] OEFA, «Fiscalización ambiental en aguas residuales.», *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*. Lima-Perú, p. 36, 2014, [En línea]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- [18] PTAR-Boca del Rio, *Lagunas de Oxidación "Boca del Río" Manual de Operación*. Ica-Peru: EMAPISCO, 2000.
- [19] J. F. Larios-Meño, C. Gonzalez-Taranco, y Y. Morales-Olivares, «Las Aguas Residuales y sus Consecuencias en el Peru», *Rev. la Fac. Ing. la USIL*, vol. 2, n.º 2, p. 18 pag, 2015.
- [20] F. Larios-Meño, C. Gonzales Taranco, y Y. Morales Olivares, «Las Lagunas Residuales y sus Consecuencias en el Peru», *Rev. la Fac. Ing. la USIL*, vol. 2, n.º 2, pp. 9-25, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>.
- [21] J. Agudelo y A. Alvear, «Estudio de la sedimentabilidad de los sólidos presentes en el tratamiento primario del agua residual doméstica de la ciudad de Cali», Universidad del Valle, 2015.

- [22] B. Böhnke y K. Pöppinghaus, «Manual de disposición de aguas residuales: Origen, Descargas, Tratamiento y Análisis de aguas residuales. TOMO 1», *Manual de disposición de aguas residuales*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Lima - Perú, p. 1002, 1984, [En línea]. Disponible en:
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2006/pdf/spa/doc10206/doc10206-0.pdf>.
- [23] J. L. Quispe Humire, «Propuesta Metodologica Para la Evaluacion de los Sistemas de Tratamiento de Agyas Residuales Domesticas Mediante Lagunas de Estabilizacion-Azangaro», Universidad Nacional del Altiplano, 2013.
- [24] N. T. Aguirre Tarazona y A. P. Yanac Munarriz, «Determinacion de Parametros Biocineticos del Agua Residual Del Colector Raymondí, en un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio; Huaraz-Ancash, Diciembre 2015 – Mayo 2016», Universidad Nacional «Santiago Antunez de Mayolo», 2018.
- [25] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse.*, McGraw-Hil. New York., 2004.
- [26] L. E. Campoverde Pineda y S. R. Loayza Proaño, «Determinacion de los Coeficientes Cineticos de Oxigeno y Produccion de Biomasa Para el Tratamiento de las Aguas Residuales de la Descaraga del Batn por el Proceso de Lodos Activador», Universidad Central de Ecuador, 2015.
- [27] B. M. D. Martinez, «Eficiencia en la remocion de la demanada bioquimica de oxigeno, demanda quimica de oxigeno y solidos suspendidos totales en la planata de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de celendin», Universidad Nacional de Cajamarca, 2016.
- [28] C. Largo Villamizar y D. Romero Robayo, «Determinacion de los Coeficientes Cineticos Para el Diseño de Lagunas de Estabilizacion en la Industria Alimentaria, Caso Productos Ramo S.A.», Universidad Catolica de Colombia, 2018.
- [29] K. L. Jury, S. J. Khan, T. Vancov, R. M. Stuetz, y N. J. Ashbolt, «Are sewage treatment plants promoting antibiotic resistance?», *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, n.º 3, pp. 243-270, 2011, doi: 10.1080/10643380902772589.
- [30] J. Alvarracín, N. Avila, y T. Cárdenas, «Manejo de los desechos hospitalarios por el personal de salud , Hospital Dermatológico Mariano Estrella, Cuenca, 2015», Universidad de Cuenca, 2016.
- [31] E. Ramirez, «Fundamentos Del Proceso De Lodos Activados», en *Fundamentos*

- teóricos de lodos activados y aereación extendida*, 2015, pp. 46-81.
- [32] S. Oakley, *Manual de Diseño, Operación y Mantenimiento , Monitoreo y Sostenibilidad. Lagunas de Estabilización en Honduras*. California: USAID, 2005.
- [33] C. Castro, «Filtros Percoladores», *Univ. Val.*, pp. 1-13, 2017, [En línea]. Disponible en:
http://agua.marn.gob.sv/Documentos/TallerAguas2015/FiltroPercoladorFinal_Sup-Costes.pdf.
- [34] F. Palacios, «Proyecto Ecológico y Hidráulico de Tratamiento de Aguas Residual», 1991.
- [35] D. Isea, L. Vargas, J. Durán, J. Delgado, y R. Mendoza, «Parámetros biocinéticos que rigen la ecuación de la DBO en aguas residuales de una industria procesadora de cangrejos», *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, vol. 38, n.º 2, pp. 112-121, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/rtfiuz/v38n2/art03.pdf>.
- [36] E. Ayesa Iturrate y M. A. Larrea Urcola, «Optimización del diseño, operación y control de las EDAR utilizando modelos matemáticos y herramientas de simulación», *Tecnol. del Agua*, vol. 25, n.º 266, pp. 74-79, 2005.
- [37] J. Romero López, «Actualización del Estado de las Lagunas de estabilización de la Provincia Mayabeque», *Ing. Hidráulica y Ambient.*, vol. 36, pp. 72-85 pp., 2018.
- [38] J. Quispe Humire, «Propuesta Metodologica Para la Evaluacion de los sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Mediante Lagunas de Estabilidad - Azangaro», Universidad Nacional del Altiplano, 2013.
- [39] C. N. Sawyer, P. L. McCarty, y G. Parkin, *Química para Ingeniería Ambiental*, 4ta. Edici. Colombia: McGraw-Hill Companies, 2001.
- [40] PNUMA, «Foro de Medio Ambiente en Colombia busca promover la agenda medioambiental de los ODS». Objetivos del Desarrollo Sostenible, Colombia, 2016, [En línea]. Disponible en:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2016/03/pnuma-foro-de-medio-ambiente-en-colombia-busca-promover-la-agenda-medioambiental-de-los-ods/>.
- [41] F. VÁSQUEZ PERDOMO, «Tratamiento de aguas residuales, por sistema compacto de aireación extendida para el riego de áreas verdes en el distrito de Comas», Universidad Nacional Federico Villarreal, 2020.
- [42] DISEPROSA, «Planta de Tratamiento de Lodos de la Depuradora de San Adriá Del Besós», Madrid - España, 2015. [En línea]. Disponible en:
<http://diseprosa.com/proyectos/planta-de-tratamiento-de-lodos-de-la-depuradora-de->

san-adria-del-besos/.

- [43] N. R. Méndez, V. R. Mena, B. R. E. Castillo, y R. M. R. Sauri, «Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal Evaluation of a UASB reactor for swine wastewater inoculated with ruminal liquid», vol. 17, n.º 1, p. 16 Pag., 2013, [En línea]. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718004.pdf>.
- [44] R. Ramalho, «Tratamiento de Aguas Residuales», Barcelona., 2003.
- [45] INEI, *Instituto Nacional de estadística e Informática. Sistema ESTADISTICO nacional*. Oficina Departamental de Estadística e Informática de ICA, 2017.
- [46] CSP, «Climate Statistics for Peru». Climate, Global Warming, and Daylight Charts and Data, Pisco, p. 2, 2015, [En línea]. Disponible en:
<https://web.archive.org/web/20150923204845/http://www.climate-charts.com/Locations/p/PR84691.php>.
- [47] R. Hernandez, C. Fernandez, y P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, Sexta Edic. Mexico: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736, 2014.
- [48] M. Tamayo y Tamayo, *El Proceso de la Investigación Científica. Incluye evaluación y Administración de Proyectos de Investigación*, Cuarta Edi. Mexico - Mexico, 2003.
- [49] E. Cabeza, A. Naranjo, y J.- Torres, *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*, Primera ed. Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018.
- [50] M. Inca Alegría, «Percepción de la Calidad y Acceso del Consumo de Agua Segura en Familias de la Red de Tamburco – Abancay 2018», Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- [51] EPA, «Agencia de Protección del Medio Ambiente», 2005.
- [52] C. Política, *Constitución Política del Perú de 1993*. 1993, p. 32 Pag.
- [53] D. L. N°17752, «Ley General de Aguas. Decreto Ley N° 17752», *El Presidente de la República*. Lima, p. 34, 1969, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [54] N. 6.-A. Decreto Supremo, «Decreto Supremo N° 261.69-AP. Reglamento de los Títulos I, II Y III del Decreto Ley No. 17752 “Ley General de las Aguas”». REGLAMENTO DE LOS TITULOS I, II Y III DEL DECRETO LEY No. 17752 «LEY GENERAL DE AGUAS», Lima - Perú, p. 37 pp., 1969, [En línea]. Disponible en: file:///D:/Tesis_Pedro Berrocal/Tesis12_Estrada-Licla/Artículos

- Científicos/DS 261.69-ap.pdf.
- [55] Resolución Ministerial N°258-2011/MINSA, «Política Nacional de Salud Ambiental 2011-2020», *Norma*. Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud, Lima - Perú, p. 34, 2011, [En línea]. Disponible en: <http://www.digesa.sld.pe/publicaciones/descargas/POLITICA-DIGESA-MINSA.pdf>.
- [56] Ley_General-del-Ambiente_N°28611, «Ley General del Ambiente N° 28611». Lima - Perú, p. 35 pag., 2005.
- [57] Ley N°28245, «Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental». Congreso de la República, Lima - Perú, p. 13 Pag., 2005, [En línea]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/ley-SNGA-28245.pdf>.
- [58] L. del S. N. de E. de I. Ambiental, «Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – Ley N° 27446. Artículo 3.» p. 8 pp., 2001.
- [59] L. de R. H. N°29338, «Ley de Recursos Hídricos N°29338». PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA, Lima-Perú, p. 40 pp., 2009, [En línea]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N°-29338.pdf>.
- [60] RNE, *Reglamento Nacional De Edificaciones*. 2011, p. 156 Pag.
- [61] LMP: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, «Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales», *Normas Legales El Peruano*. Presidente Constitucional de la República, Lima - Perú, pp. 1-2, 2010, [En línea]. Disponible en: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf.
- [62] S. Balogun y T. C. Ogwueleka, «Coliforms removal efficiency of Wupa wastewater treatment plant, Abuja, Nigeria», *Energy Nexus*, vol. 4, n.º November, p. 100024, 2021, doi: 10.1016/j.nexus.2021.100024.
- [63] B. OS.090, *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. p. 65 Pag.
- [64] L. Méndez, V. Miyashiro, R. Rojas, M. Cotrado, y N. Carrasco, «Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala De Laboratorio», *Rev. del Inst. Investig. FIGMMG*, vol. 7, pp. 74-83, 2004, [En línea]. Disponible en: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33982176/a10.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1481546914&Signature=uNQsTsPgd9TGRDyHHyHWusYermE%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D74_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MEDIA.pdf.

- [65] R. Pacheco Choez y D. Vera Suarez, «Determinación de los parámetros biocinéticos K , K_s , K_d , Y ; para su aplicación en el diseño de un Biorreactor tipo Batch», Universidad de Guayaquil, 2017.

ANEXOS

Tabla 8

Test de Kolmogorov-Smirnov sobre Bondad de Ajuste

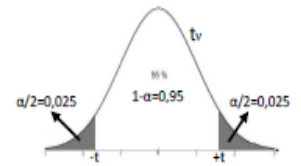
n	Nivel de significación α							
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	0.99750	0.99900	0.99950
2	0.68337	0.77639	0.81189	0.90000	0.92929	0.95000	0.96838	0.97764
3	0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	0.86428	0.90000	0.92065
4	0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	0.77639	0.82217	0.85047
5	0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	0.70543	0.75000	0.78137
6	0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	0.65287	0.69571	0.72479
7	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	0.60975	0.65071	0.67930
8	0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	0.57429	0.61368	0.64098
9	0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	0.54443	0.58210	0.60846
10	0.32260	0.36866	0.40925	0.45562	0.48893	0.51872	0.55500	0.58042
11	0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	0.49539	0.53135	0.55588
12	0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	0.47672	0.51047	0.53422
13	0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	0.45921	0.49189	0.51490
14	0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	0.44352	0.47520	0.49753
15	0.26589	0.30397	0.33750	0.37713	0.40420	0.42934	0.45611	0.48182
16	0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	0.41644	0.44637	0.46750
17	0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	0.40464	0.43380	0.45540
18	0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	0.39380	0.42224	0.44234
19	0.23735	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117	0.38379	0.41156	0.43119
20	0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	0.37451	0.40165	0.42085
21	0.22517	0.25858	0.28724	0.32104	0.34426	0.36588	0.39243	0.41122
22	0.22115	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	0.35782	0.38382	0.40223
23	0.21646	0.24746	0.27491	0.30728	0.32954	0.35027	0.37575	0.39380
24	0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	0.34318	0.36787	0.38588
25	0.20790	0.23768	0.26404	0.29518	0.31657	0.33651	0.36104	0.37743
26	0.20399	0.23320	0.25908	0.28962	0.30963	0.33022	0.35431	0.37139
27	0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	0.32425	0.34794	0.36473
28	0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	0.31862	0.34190	0.35842
29	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	0.31327	0.33617	0.35242
30	0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28986	0.30818	0.33072	0.34672
31	0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28529	0.30333	0.32553	0.34129
32	0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094	0.29870	0.32058	0.33611
33	0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27577	0.29428	0.31584	0.33115
34	0.17909	0.21472	0.22743	0.25429	0.27271	0.29005	0.31131	0.32641
35	0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897	0.28600	0.30597	0.32187
36	0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532	0.28211	0.30281	0.31751
37	0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180	0.27838	0.29882	0.31333
38	0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843	0.27483	0.29498	0.30931
39	0.16753	0.19148	0.21273	0.23785	0.25518	0.27135	0.29125	0.30544

<i>n</i>	Nivel de significación α							
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
40	0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205	0.26803	0.28772	0.30171
41	0.16349	0.18687	0.20760	0.23213	0.24904	0.26482	0.28429	0.29811
42	0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613	0.26173	0.28097	0.29465
43	0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332	0.25875	0.27778	0.29130
44	0.15795	0.18051	0.20056	0.22426	0.24060	0.25587	0.27468	0.28806
45	0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798	0.25308	0.27169	0.28493
46	0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544	0.25038	0.26880	0.28190
47	0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298	0.24776	0.26600	0.27896
48	0.15139	0.17301	0.19221	0.21493	0.23059	0.24523	0.26328	0.27611
49	0.14987	0.17128	0.19028	0.21281	0.22832	0.24281	0.26069	0.27339
50	0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604	0.24039	0.25809	0.27067
<i>n</i> > 50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.73}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.85}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.95}{\sqrt{n}}$

ANEXO II

Distribución t de Student

Contiene los valores de t tales que $\frac{\alpha}{2} = P(t_v \geq t)$, donde v son los Grados de Libertad



	$\alpha/2$												
	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
α	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95