

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Evaluación y eficiencia de la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” – Nuevo Chimbote (Áncash – Perú)

PRESENTADO POR:

Bach. Moreno Cruz, Chabely

ASESOR:

Dr. Torres Cabrera, Luis Fernando

ORCID: 0000-0003-4662-5412

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE BIÓLOGO
ACUICULTOR

Nuevo Chimbote – Perú
2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Evaluación y eficiencia de la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” – Nuevo Chimbote (Áncash – Perú)

Autora:

Bach. Moreno Cruz, Chabely

REVISADO Y APROBADO POR EL ASESOR


Dr. Torres Cabrera, Luis
ORCID: 0000-0003-4662-5412
DNI: 26690133

Nuevo Chimbote – Perú
2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Evaluación y eficiencia de la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” – Nuevo Chimbote (Áncash – Perú)

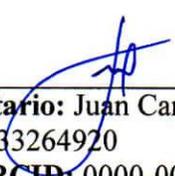
Autora:

Bach. Moreno Cruz, Chabely

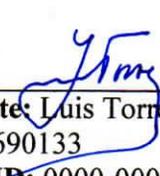
REVISADO Y APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR



Presidenta: Miriam Velásquez Guarniz
DNI: 32948162
IR ORCID: 0000-0002-1789-9740



Secretario: Juan Carhuapoma Garay
DNI: 33264920
IR ORCID: 0000-0002-2708-8140



Integrante: Luis Torres Cabrera
DNI: 26690133
IR ORCID: 0000-0003-4662-5412

Nuevo Chimbote – Perú
2023

ACTO DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa en el Laboratorio de Impacto Ambiental siendo las 19⁰⁰ horas del día 08 de Setiembre del 2022, dando cumplimiento a la Resolución N° 309-2022-UNS, se reunió el Jurado Evaluador presidido por Miriam Velásquez Guarniz teniendo como miembros a Juan Carlos Poma Cazo (secretario) (a) y Luis Torres Cabrera (integrante) para la sustentación de tesis a fin de optar el título de Biólogo Acuicultor realizado por el, (la), (los) tesista (as)

CHABELY MORENO CRUZ

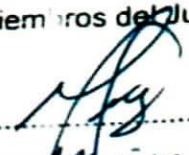
quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada

"Evaluación y eficiencia de la calidad del agua de las lagunas de estabilización "Los Guisatos" - Nuevo "Chimbote".

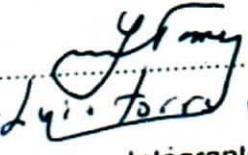
Terminada la sustentación, el (la), (los) tesista (as)s respondió (ieron) a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Muy Buena asignándole un calificativo de 18 / 28 puntos, según artículo 40° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, vigente (Res.471 2002-CU-R-UNS)

Siendo las 19:10 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad

Nombre:  Miriam Velásquez G.
Presidente

Nombre:  Juan Carlos Poma C.
Secretario

Nombre:  Luis Torres Cabrera
Integrante

Distribución: Integrantes (), tesistas () y archivo (02).



DEDICATORIA

A Dios por concederme salud, paciencia y fortaleza necesaria para no desmayar en el intento, vencer las vicisitudes y poder alcanzar esta meta.

A mi familia por su apoyo constante y comprensión en el desarrollo de mi carrera profesional y por ser la razón más poderosa para continuar con mi superación personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Al Biólogo **LUIS TORRES CABRERA** por su invaluable asesoría y motivación constante para continuar con el desarrollo del presente trabajo.

A la empresa **SEDA - CHIMBOTE**, por darme la oportunidad de realizar los muestreos de las lagunas de estabilización mensualmente.

Al profesor **DANIEL VACA**, por siempre estar dispuesto a colaborar conmigo sobre todo en situaciones complicadas.

A mis entrañables amigos **CHRISTOPHER AYASTA ANTICONA** y **JIMMY TERREROS GÓMEZ**, por acompañarme y ayudarme mensualmente en las inspecciones in situ a las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

INDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Antecedentes	12
1.2. Problema	15
1.3. Hipótesis	15
1.4. Objetivo general	16
1.5. Objetivos específicos	16
II. MARCO TEÒRICO	17
2.1. Aguas residuales (AR)	17
2.2. Tipos de agua residual	21
2.3. Composición de las AR	22
2.4. Composición del AR después de su tratamiento	23
2.5. Tratamiento de las AR	23
2.6. Tratamiento de AR por medio de lagunas estabilización	25
2.7. Clasificación de las lagunas de estabilización	27
2.8. Disposición de las lagunas de estabilización	29
2.9. Características del flujo hidráulico de las lagunas de estabilización	30
III. MATERIALES Y MÈTODOS	34
3.1. Características del lugar de estudio	34
3.2. Descripción del área de estudio	35
3.3. Puntos y frecuencia de muestreo	37
3.4. Toma, preservación y traslado de muestras	37
3.5. Análisis de las muestras	38
IV. RESULTADOS	42
4.1. Caracterización del afluente y efluente	42
4.2. Parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente AR	42
4.3. Eficiencia del sistema	48
V. DISCUSIÒN	52
VI. CONCLUSIONES	57
VII. RECOMENDACIONES	58
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56
IX. ANEXOS	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Patógenos comunes transportados por el AR	21
Tabla 2: Tipos de AR	21
Tabla 3: Principales procesos de tratamiento biológico en AR	24
Tabla 4: Niveles y procesos AR	25
Tabla 5: Características típicas de las lagunas de estabilización	30
Tabla 6: Estaciones del afluente (a) y efluente (e) de las nueve lagunas	37
Tabla 7: Parámetros biológicos, físicos y químicos de la norma oficial peruana	40
Tabla 8: Límite máximo permisible de efluentes para su vertimiento a un cuerpo de agua.	40
Tabla 9: Temperatura del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	42
Tabla 10: Olor y color del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	43
Tabla 11: Solidos Totales del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	43
Tabla 12: Ph del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	44
Tabla 13: Medición del fosfato del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	44
Tabla 14: Medición del nitrato del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	45
Tabla 15: Oxígeno disuelto del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	46
Tabla 16: Demanda química de oxígeno (DQO) del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	46
Tabla 17: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021	47
Tabla 18: Relación entre DQO/DBO del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	48
Tabla 19: Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DBO en las lagunas de estabilización Las Gaviotas.	48
Tabla 20: Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de SDT en las lagunas de estabilización Las Gaviotas.	49
Tabla 21: Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DQO en las lagunas de estabilización Las Gaviotas.	50
Tabla 22: Relación entre los parámetros de pH y DBO en las lagunas.	50
Tabla 23: Relación entre los parámetros de pH y DQO en las lagunas.	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición de las AR.	22
Figura 2: Laguna de estabilización Las Gaviotas.	34
Figura 3: Lagunas de estabilización Las Gaviotas, A). Lagunas primarias, B). Lagunas secundarias y C). Lagunas terciarias. Letras minúsculas (a) significa afluente y (e) efluente.	35
Figura 4: Esquema de las lagunas de estabilización Las Gaviotas, Nuevo Chimbote.	36
Figura 5: Temperatura del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	42
Figura 6: Solidos disueltos del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	43
Figura 7: Ph del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	44
Figura 8: Medición de fosfato del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	45
Figura 9: Medición del nitrato del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	45
Figura 10: Oxígeno disuelto del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	46
Figura 11: Demanda química de oxígeno (DQO) del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	47
Figura 12: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	47
Figura 13: Relación entre DQO/DBO del AR de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio 2021.	48
Figura 14: Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DBO de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas.	49
Figura 15: Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de SDT de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas.	49
Figura 16: Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DQO de las nueve lagunas de estabilización Las Gaviotas.	50
Figura 17: Relación entre los parámetros de pH y DBO en las lagunas de estabilización Las Gaviotas.	51
Figura 18: Relación entre los parámetros de pH y DQO en las lagunas de estabilización Las Gaviotas.	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Temperatura y ph de las muestras de agua	67
Anexo 2. Laguna de estabilización Las Gaviotas de Nuevo Chimbote	67
Anexo 3. Solidos disueltos totales de las muestras de agua	67
Anexo 4. Análisis de fosfatos en las muestras de agua	68
Anexo 5. Análisis de nitritos en las muestras de agua	68
Anexo 6. A) Lavado de la columna de reducción Cd-Cu con sulfato de cobre y ácido nítrico, B) Resultado del análisis de nitrato	68
Anexo 7. Procedimiento para el análisis de oxígeno disuelto de las muestras de agua	69
Anexo 8. A) Muestras en el digestor a 105° x 120 min y B) Análisis de DQO en el fotómetro	69
Anexo 9. Procedimiento para realizar la DBO ₅ , 1) Medir Oxígeno inicial, 2) Incubar 20° C y 3) Medir Oxígeno final	69
Anexo 10. Finalización del muestreo en campo	70

RESUMEN

Las lagunas de estabilización representan una alternativa eficiente en el tratamiento de las aguas residuales; sin embargo, la principal desventaja es que no cuentan con un mantenimiento adecuado que ayude a mejorar el funcionamiento. Los objetivos propuestos en esta investigación son: evaluar los parámetros biológicos, físicos y químicos de las aguas residuales de las lagunas de estabilización, según disposición de los LMP (D.S. N° 003-2015-MINAM). La investigación se realizó en el distrito de Nuevo Chimbote, ($9^{\circ}07'17''S$ y $78^{\circ}31'51''O$), departamento de Áncash. La metodología que se empleó para la toma de muestras es la indicada por APHA, 1992, los parámetros en el afluente y efluente fueron de disposición del D.S.N° 003-2015-MINAM y la evaluación de la eficiencia fue mediante fórmula indicada por LETTINGA, 1995. Los resultados obtenidos indican que la calidad del agua de las lagunas de estabilización excede el límite máximo permisible de la normativa peruana excepto para datos de temperatura, nitrato y pH, por lo que se sugiere un mejor diseño incorporándose la construcción de un humedal artificial a la salida de todo el tratamiento de aguas residuales.

Palabras claves: Estabilización, eficiente y aguas residuales.

ABSTRACT

Stabilization ponds represent an efficient alternative in wastewater treatment; However, the main disadvantage of these is that they do not have adequate maintenance to help improve performance. The proposed objectives were to evaluate the biological, physical and chemical parameters of the wastewater of the stabilization lagoons, according to the disposition of the LMP (DS N ° 003-2015-MINAM). The investigation was carried out in the district of Nuevo Chimbote ($9^{\circ} 07'17''$ S and $78^{\circ} 31'51''$ W), department of Ancash. The methodology that used for the sampling is the one indicated by APHA, 1992, for the evaluation of the parameters in the effluent were of the disposition of the DSN ° 003-2015-MINAN and the evaluation of the efficiency was by means of a formula informed by Lettinga, 1995. The results obtained indicate that the water quality of the stabilization lagoons exceeds the maximum permissible limit of Peruvian regulations except for temperature, nitrate and pH data, therefore, a better design suggested incorporating with the construction of an artificial wetland at the outlet of all wastewater treatment.

Key words: Stabilization, efficient and wastewater

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La demanda de agua dulce está en constante aumento y los escasos recursos hídricos se ven cada vez más exigidos por la captación excesiva, esto a causa de la contaminación generada por la actividad humana a nivel mundial (UNESCO, 2015).

En el mundo más del 80 % de aguas residuales se vierte al medio ambiente sin tratamiento, provocando 800 000 muertes por consumir agua potable contaminada y cada vez son más las zonas desoxigenadas en mares y océanos, el cual afecta en una superficie de 245 000 km² (UNESCO, 2017).

En Latinoamérica 300 millones de habitantes producen 225 000 t de residuos sólidos cada día y menos del 5 % de aguas de alcantarillado reciben tratamiento; en 1995 se estimó que 69 % ya contaban con instalaciones para desechos de aguas residuales (Reynolds et al., 2002).

En el taller Latinoamericano y el Caribe se reconoció la crisis ambiental que afronta el planeta y se han iniciado esfuerzos por su recuperación, sin embargo, aún no alcanza un nivel suficiente (PNUMA, 2000). En México sólo el 40,2 % de las aguas residuales son tratadas (Lahera, 2010). En Perú a fines del 2007, el 63,6 % de la población urbana tuvo servicio de alcantarillado, y se recolectaron 747,3 millones de m³ de aguas residuales, siendo 29,1 % los que ingresaban a un sistema para ser tratados (SUNASS, 2008). En el 2014, se generó aprox. 2 217.946 m³ día⁻¹ de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS) en Lima y sólo 32 % de estas recibe tratamiento, al suponer que, cada habitante genere 142 L de aguas residuales al día se produce 42,5 m³ s⁻¹ de aguas residuales domésticas (OEFA, 2014).

El tratamiento de las aguas residuales domésticas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos, éstos pueden alternarse de diferentes maneras, lo que ofrecerá como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos basándose en fenómenos físicos, químicos y biológicos, sin embargo, casi todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas se conciben con base en procesos biológicos (Rolim, 2000).

Las regiones de Lima y Callao generan $18,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de aguas residuales domésticas, mientras que, La Libertad, Piura y Lambayeque juntas generan $6,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y las ciudades de Cajamarca, Arequipa, Junín, Cuzco y Puno generan $8,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; las regiones con menor producción de aguas residuales son Tumbes, Amazonas, Ucayali, Pasco, Madre de Dios y Moquegua que juntas solo producen $1,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (MINAM & ANA, 2016).

Existen 143 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), sin embargo, 50 PTAR se consideran exitosos debido a su buen manejo (SUNASS, 2008), por lo tanto, la cobertura nacional de PTAR domésticas en la costa es 95 %, en la sierra 25 % y en la selva 32 % del agua residual (MINAM & ANA, 2016).

En Lima, se genera $1\,202.286 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ de aguas residuales y sólo 20,5 % recibe tratamiento, por lo tanto, se concentra la mayor parte de PTAR, por el Norte: Ancón, Ventanilla, Santa Rosa, Callao y San Martín de Porras; por el Este: Agustino, Ate Vitarte, Lurigancho – Chosica, Cieneguilla y Pachacamac; y por el Sur: Surco, Chorrillos, San Juan de Miraflores, Villa María, Villa el Salvador, Lurín, Punta Hermosa, San Bartolo y Pucusana (OEFA, 2014; SEDAPAL, 2014).

Existe también investigación acerca de las lagunas estabilización primera aproximación, la cual tiene como objetivos buscar la adecuada calidad del efluente y asegurar un buen funcionamiento del sistema, evaluando la ubicación y descripción del sistema de tratamiento, muestreo y medición de caudal, preservación y traslado de muestras, análisis in-situ y de laboratorio, características físico-químicas y bacteriológicas, y la determinación de la eficiencia del sistema de tratamiento (Guevara, 1996).

En Puno la evaluación de la eficiencia operacional mediante las características físico-químicas y biológicas de los afluentes y efluentes de las lagunas de estabilización, dieron como resultados de los parámetros evaluados: Sólidos Totales 25,68 %, Sólidos Sedimentables 42,15 %, DBO_5 54,92 %, DQO 21,85 %, Coliformes Totales 69,15 % y Coliformes Fecales 63,08 %, y según el balance hídrico se encontró que las pérdidas del caudal en el sistema es de 3,35 L s, lo que representa el 27,44 % de pérdidas en el efluente, cantidad que sobrepasa los parámetros, el valor debe ser menor que el 10 % del caudal que ingresa, esto puede estar ocurriendo por infiltración (Alanoca, 2008).

En Trujillo, el 90 % del agua residual recibe tratamiento mediante PTAR que incluyen lagunas de estabilización, de las cuales Covicorti trata 61 %, Cortijo 18 %, Valdivia 7 % y Pit 4 % (MPT, 2002). En Chiclayo, se utiliza el mismo sistema de tratamiento, encontramos Laguna Pampa de Perros que trata $17,000 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ correspondiendo $196,7 \text{ L s}^{-1}$ y Laguna San José trata $76,850 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, lo que corresponde 890 L s^{-1} (EPSEL S.A.C., 2010).

En Piura el sistema de tratamiento del agua residual mediante lagunas de estabilización ubicado en la Universidad de Piura cuenta con la primera etapa, constituida básicamente por dos lagunas conectadas en serie, cuya operación se inició en 1986, al haber transcurrido 35 años de operación, se hace evidente la necesidad de evaluar el sistema con la finalidad de optimizar su operación (Silva, 2004).

La ciudad de Chimbote no cuenta con PTAR ni con lagunas de estabilización, por lo tanto, las descargas de aguas contaminadas se van directamente a la Bahía El Ferrol (ubicado a la altura del Jr. Miramar) mediante infiltración, y posiblemente afectando la salud de las personas que viven cerca del lugar.

En 2009, Nuevo Chimbote tenía 159 321 habitantes y en la actualidad existen más de 200 000 habitantes, que necesita mayor cantidad de agua para satisfacer sus necesidades domésticas, industriales y comerciales y, por lo tanto, el aumento de descargas de aguas residuales (Municipalidad Distrital de Nuevo Chimbote, 2017). Debido a este aumento, podemos encontrar dos terrenos de aguas residuales domésticas, la primera está ubicado a la altura del A.A.H.H. San Luis, que cuenta con dos lagunas de estabilización de aprox. $70 \times 100 \text{ m}^2$ y la segunda está ubicado en el A.A.H.H. El Dorado, llamado “Las Gaviotas” que consta de nueve lagunas operativas, que no tienen manejo adecuado o permanente que permita conocer de manera óptima la dinámica física, química y biológica de las lagunas.

La implementación de las lagunas de estabilización en algunos municipios es atractiva en términos económicos, pero han producido algunos rechazos por parte de las comunidades aledañas por la generación de malos olores, también se ha detectado mal funcionamiento de las mismas, ocasionado posiblemente por aspectos constructivos y/o de operación y mantenimiento, puesto que se han tenido en la concepción de ser sistemas que pueden trabajar sin ninguna supervisión (Correa, 2008).

Las lagunas de estabilización son excavaciones de forma rectangular pocos profundos en la tierra (CONAGUA, 2007), la capa superior de la laguna recibe oxígeno, mientras que la capa más baja se priva de oxígeno y se vuelve anaerobia, los sólidos sedimentables se acumulan y son digeridos en el fondo de la laguna y los organismos anaerobios y aerobios trabajan juntos para lograr reducciones de DBO hasta de 75 % (Tilley et al., 2018). Sirven para manejo sencillo del agua residual, recirculación de nutrientes, producción primaria de alimento en la cadena alimenticia y remoción eficiente (bacterias patógenas, protozoarios, huevos de helmintos) (Jarquín, 2003).

El ineficiente manejo de la laguna que se ve reflejado en el color y olor del agua, posiblemente por falta de personal calificado y presupuesto permanente, no permite que se realice estudios de la calidad del agua de las lagunas de estabilización, y por otro lado se debería a la ausencia de una cultura de protección ambiental. Por esto, es necesario la unión de diferentes entidades de la región para establecer proyectos que articulen su sostenibilidad y manejo ambiental debido a que los efluentes se arrojan cerca de las zonas aledañas y van a parar en la bahía en Ferrol provocando contaminación de agua y aire.

En este sentido, hasta el momento no se cuenta con ninguna información científica acerca de la evaluación de la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, por lo tanto, el estudio está orientado a evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos, y comparar dichos parámetros con los límites máximos permisibles con respecto al D.S. N° 003-2015-MINAM.

1.2. Problema

¿Cuál es la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” – Nuevo Chimbote (Ancash – Perú)?

1.3. Hipótesis

La calidad del agua de las lagunas de estabilización no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por el D.S. N° 003-2015-MINAM debido a la gran cantidad de materia orgánica que contienen, y por lo tanto no son consideradas eficientes.

1.4.Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” en el distrito de Nuevo Chimbote.

1.5.Objetivos específicos

Determinar los parámetros biológicos (OD y DBO₅) de las aguas residuales de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Determinar los parámetros físicos (T° y SDT) de las aguas residuales de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Determinar los parámetros químicos (DQO, PO₄, NO₂, NO₃ y Ph) de las aguas residuales de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Comparar los parámetros biológicos, físicos y químicos con los límites máximos permisibles con respecto al D.S. N° 003-2015-MINAM.

II. MARCO TEÓRICO

NATURALEZA DEL AGUA RESIDUAL Y SU TRATAMIENTO

2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que han sido utilizadas con un fin debilitador, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencialidad de uso (Silva, 2004).

Aguas residuales domésticas (aguas servidas): Son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria), su contenido de sólidos es inferior al 1 %, si bien su caudal y composición es variable, pueden tipificarse ciertos rangos para los parámetros más característicos (Correa, 2008).

Aguas residuales industriales (residuos industriales líquidos): Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ellas es bastante variable, dependiente de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.), éstas aguas pueden variar desde aquellas con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, mineras) (Correa, 2008).

Aguas de lluvias: La escorrentía generada por aguas de lluvias es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e industriales, y su caudal mayor (Correa, 2008).

A. Características físicas

La temperatura de las aguas residuales es mayor que las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica (Espinoza-Rodriguez et al., 2012).

La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida (Villanueva & Avila, 2019).

El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales, si es reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro (Vilaseca, 2015).

El olor es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles (Diaz de la Espina & Palacios, 2012)

Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y sólidos filtrables (Torres-Avalos & Lozano-González, 2017).

Sólidos suspendidos: son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos.

Sólidos sedimentables: se depositan por gravedad en el fondo de los receptores, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

Sólidos filtrables: esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10 y 1 micra, esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua, por lo general, se requiere una coagulación seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

B. Características químicas

La materia orgánica está compuesta en 90 % por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes, son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más

simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas (Fuentes et al.,2015). El agua residual contiene también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas como agentes tenso activos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura (Metcalf-Eddy, 2003).

La materia inorgánica se incluyen todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables (Chalen-Medina; Peñafiel-Pazmiño & Saltos-Sánchez, 2017).

PH: es un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. La alcalinidad y acidez controlan la capacidad de tamponamiento del agua, es decir, su capacidad para neutralizar variaciones de pH provocadas por la adición de ácidos o bases (Correa et al., 2012).

Fosfato (PO_4): el fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas en forma de fosfatos. Éstos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos órganofosfatados (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010).

Nitrito (NO_2): se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados y se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales (Cabrera et al., 2003).

Nitrato (NO_3): es un contaminante común que se encuentra en el agua subterránea y que puede provocar efectos nocivos si se consume en altos niveles. El nitrato es inodoro e incoloro (Cabrera et al., 2003).

Demanda química de oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual (Gil, 2005).

Oxígeno Disuelto (OD): es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual evita la formación de olores desagradables y la cantidad depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc (Mayarí et al.,2005).

Otros gases como el ácido sulfhídrico, se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, su presencia, que se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución y estado de un agua residual; el anhídrido carbónico, se produce en la fermentación de los compuestos orgánicos de las aguas residuales negras y el metano, se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica por la reducción bacteriana del CO₂ (Llagas & Guadalupe, 2006).

C. Características Biológicas

Las bacterias juegan papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, pueden clasificarse, en base a su metabolismo, en heterótrofas y autótrofas (Romero & Vargas, 2017).

Las bacterias autótrofas son aquellas que se nutren de compuestos inorgánicos, tomando la energía necesaria para sus biosíntesis a partir de la luz (bacterias fotosintéticas: familia *Thiorhodaceae*, *Chlorobiaceae*) o a partir de ciertas reacciones químicas (bacterias quimiosintéticas: *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Hydrogenomonas*, *Thiotrix*). En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterótrofas constituyen el grupo más importante, por su necesidad de compuestos orgánicos para el carbono celular (Romero & Vargas, 2017).

Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse, a su vez, en anaerobias, aerobias, o facultativas, según su necesidad de oxígeno (Romero & Vargas, 2017).

Bacterias anaerobias: son las que consumen oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos y la presencia de oxígeno disuelto no les permite subsistir. Los procesos que provocan son anaerobios, caracterizados por la presencia de malos olores (Romero & Vargas, 2017).

Bacterias aerobias: son aquellas que necesitan oxígeno procedente del agua para su alimento y respiración. El oxígeno disuelto que les sirve de sustento es el oxígeno libre (molecular) del agua, y las descomposiciones y degradaciones que provocan sobre la materia orgánica son procesos aerobios, caracterizados por la ausencia de malos olores (Romero & Vargas, 2017).

Bacterias facultativas: algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias a aguas con oxígeno disuelto (Romero & Vargas, 2017).

Bacterias coliformes: bacterias que sirven como indicadores de contaminantes y patógenos. Son usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente. Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter* (Romero & Vargas, 2017).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es el método más tradicional que mide la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos al proliferar en el agua residual y alimentarse de su materia orgánica (Mayarí et al., 2005).

Tabla 1: Patógenos comunes transportados por el agua residual.

	Microorganismos	Enfermedades
Bacterias	<i>Francisella tularensis</i> <i>Leptospira</i> <i>Salmonella paratyphi</i> (A, B, C) <i>Salmonella typhi</i> <i>Shigella</i> (<i>S. Flexneri</i> , <i>S. Sonnei</i> , <i>S. Dysenteriae</i> , <i>S. Boydil</i>) <i>Vibrio comma</i> (<i>Vibrio cholerae</i>).	Tularemia Leptospirosis Paratifoidea (fiebre entérica) Fiebre tifoidea, fiebre entérica, shingelosis Cólera.
Virus	<i>Poliomyelitis</i> (3 tipos) Virus desconocidos.	Poliomyelitis aguda, paráslis infantil, hepatitis.
Protozoarios	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> .	Amebiasis, Giardiasis.
Helmintos (gusanos, parásitos)	<i>Dracunculus medinensis</i> <i>Echinococcus</i> <i>Shistosoma</i> (<i>S. Mansoni</i> , <i>S. japonicum</i> , <i>S. Haematobium</i>).	Dracontiasis, Equinococosis, Squistosomiasis.

Fuente: Metcalf & Eddy (2003).

2.2. Tipos de agua residual

Existen diferentes formas de denominar a las aguas residuales, las cuales se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2: Tipos de agua residual.

Tipo de agua	Definición	Características
Agua residual domestica	Producida en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones.
Agua residual municipal	Son las transportadas por el alcantarillado de una ciudad o población.	Contiene materia orgánica, patógenos, nutrientes, etc.

Agua residual industrial	Los resultantes de las descargas de industrias.	Su contenido depende del tipo de industria.
Agua negra	Contiene orina y heces.	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas, etc.
Agua amarilla	Es la orina trasportada con o sin agua.	Nutrientes, patógenos, y alta concentración de sales.
Agua café	Agua con heces y orina.	Nutrientes, patógenos, hormonas y residuos.
Agua gris	Provenientes de lavamanos, duchas y lavadoras.	Poco nutrientes, y alto contenido de detergentes.

Fuente: Romero, RJ (2001)

2.3.Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales están constituidas en elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99,9 % y un 0,1 % de sólidos suspendidos, de los cuales el 70 % son orgánicos y el 30 % son inorgánicos como arenas, sales y metales; siendo éste 0,1 % el que debe ser sometido a tratamiento en las PTARs, su composición está en función del uso, ésta depende tanto de las características sociales y económicas de la población así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras (Metcalf-Eddy,2003).

La composición y la concentración de estos constituyentes dependerán hasta cierto punto de las costumbres socioeconómicas de la población contribuyente. La composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente (Metcalf-Eddy,2003).

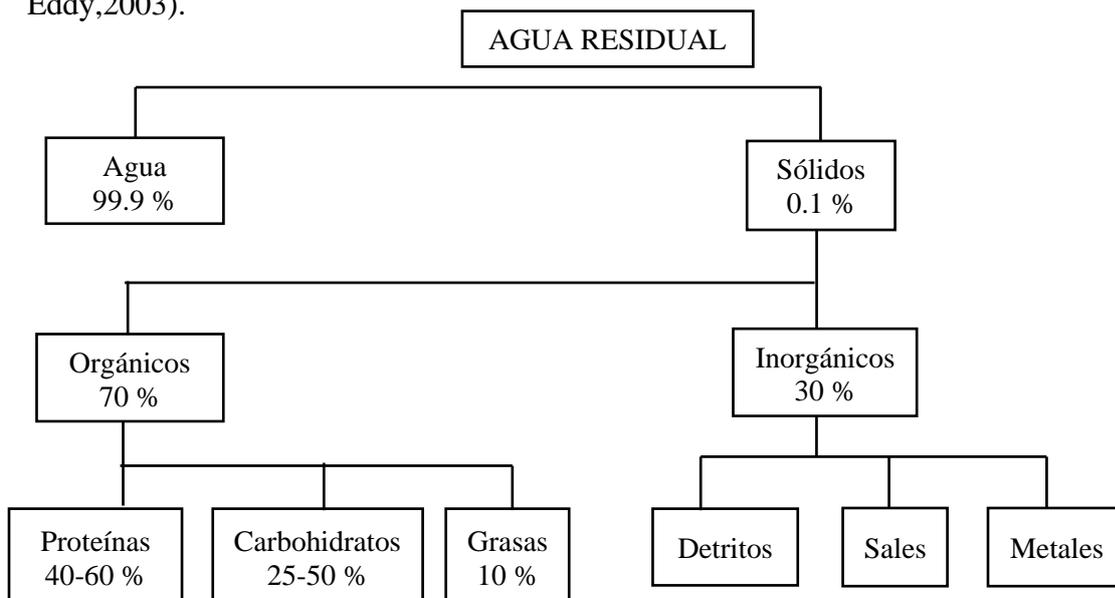


Figura 1: Composición de las Aguas Residuales Domésticas

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

2.4. Composición del agua residual después de su tratamiento

La actividad biológica intensa y suficiente a cargo de las bacterias, algas, protozoarios, hongos, principalmente, produce agua mineralizada cuyas características son las requeridas en el desarrollo de la flora y fauna, lo cual significa capacidad de intercambio catiónico, intercambio gaseoso, cantidad de oxígeno disuelto superior a 6 mg L, mínima presencia de materia orgánica biodegradable, mucha cantidad de minerales como lo son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfonatos, nitratos, fosfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio, también puede encontrarse minerales como lo son los silicatos, fluoruros, compuestos de hierro, magnesio, aluminio, boro, entre otros (Romero & Vargas, 2017).

2.5. Tratamiento de las aguas residuales

2.5.1. Procesos Biológicos Combinados (Anaerobio + Aerobio)

El tratamiento biológico, al ser una herramienta de la naturaleza, está mejor adaptada para resolver los problemas de tratamiento de AR biodegradables, como las de origen municipal (Noyola, 2003).

Para la elección de tecnologías en América Latina y el Caribe se pueden identificar dos grandes subconjuntos, los cuales a su vez se combinan entre sí, en función de la densidad de la población; área urbana y área rural y en función del clima; zonas cálidas, frías o templadas, entre otros (PNUMA, 2000).

La influencia del clima y la temperatura del agua son particularmente importantes para los sistemas naturales, así como para los sistemas compactos anaerobios, de esta forma, temperaturas inferiores a 10 °C o ambientes donde la temperatura es cercana a 0 °C puede limitar la aplicación de estos procesos, lo que resulta menos problemático para los procesos compactos aerobios o fisicoquímicos (Noyola, 2003).

A diferencia de los sistemas de tratamiento aerobio, las cargas de los reactores anaerobios no están limitadas por el suministro de ningún reactivo, entre más lodo esté siendo retenido en el reactor bajo condiciones operacionales, más altas son las cargas potenciales del sistema, siempre y cuando un tiempo de contacto suficiente entre el lodo y el agua residual pueda ser mantenido (Metcalf & Eddy, 2003).

Los procesos biológicos ya sea aerobio o anaerobio, por si solos son insuficientes para la eliminación de microorganismos patógenos y nutrientes, excepto las lagunas de estabilización para el caso de los patógenos, posicionando la combinación de procesos como una herramienta a la hora de eliminar este tipo de constituyentes en las aguas residuales (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Tabla 3: Principales procesos de tratamiento biológico en aguas residuales.

Tipo	Nombre común	Uso	Fundamento del proceso	Eficiencia
Procesos aerobios				
Crecimiento en suspensión	Lodos activados	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	Es un reactor donde se mantiene una masa floculenta en suspensión, de superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, constituida por microorganismos, materia orgánica y materiales inorgánicos.	80-85% DBO y SST
	Lagunas de estabilización (aerobia, facultativa y de maduración)	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	En ella se reduce la materia orgánica, los microorganismos patógenos que representan un grave problema para la salud y además su efluente puede ser de reutilización, con finalidades como la agricultura.	80-90% DBO y SST; además de N y P
Película bacterial adherida	Filtros percoladores	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	La materia orgánica que se halla presente en el AR es degradada por la población de microorganismos Adherida al medio, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios, a medida que los microorganismos crecen el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que se pueda penetrar todo el espesor de la película.	80-85% DBO y SST
	Biodiscos	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	la película biológica se encuentra en rotación dentro del agua residual sedimentada y dentro de la atmosfera para proveer oxígeno a los microorganismos. El AR fluye en sentido paralelo o perpendicular al eje horizontal de rotación, al pasar de una etapa a otra o de un tanque a otro.	80-85% DBO y SST
Hibrido (combinación) crecimiento en suspensión y adherido	Humedales construidos (superficiales y subsuperficiales)	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación	La materia orgánica y los nutrientes que transportan las AR, son degradados por la población microbiana y asimilados por las plantas emergentes, sumergidas y flotantes con enraizamiento fijo, mientras que las libremente flotantes toman los nutrientes directamente del agua.	80-85% DBO y SST; además de N y P
Procesos anaerobios				
Crecimiento en suspensión	Tanque séptico	Reducción de la DBO carbonacea, nitrificación, estabilización	Se logran fases de hidrólisis y acidogenesis del material orgánico, con la correspondiente relación de sólidos biodegradables durante más tiempo, que el material orgánico presente en forma disuelta o coloidal; generalmente se complementa con otro tratamiento buscando mejorar eficiencias de reducción.	40-50% DBO y SST

	Reactor UASB		La tecnología UASB está basada en la acumulación de microorganismos en un reactor, cuyas características de sedimentación impidan su arrastre fuera del mismo; otras propiedades esenciales que reúne este tipo de reactor es disponer de un mecanismo de separación gas-liquido-sólido, por medio de campanas colectoras situadas en su parte alta, mediante la cual se consigue la sedimentación de los floculos de pequeño tamaño que ascienden adheridos a las burbujas de gas y el dispone de un sistema de distribución uniforme del afluente en la base del reactor	80-90% DBO y SST
	Laguna anaerobia		La estabilización en condiciones anaerobias es lenta ya que las bacterias se reproducen en una baja tasa, es por esto que generan menos lodo que los procesos aerobios.	80-90% DBO y SST
Película bacteriana adherida	Filtro anaerobio		En los filtros anaerobios de flujo ascendente la mayor parte de la biomasa bacteriana se acumula como floculos, mientras que en los de flujo descendente, la biomasa está casi totalmente retenida en las paredes del reactor y el material de soporte	60-80% DBO y SST

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.5.2. Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales

Se puede considerar que las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en estos procesos son las mismas que se realizan en la naturaleza (ríos, lagos, suelo, etc.) sólo que en forma controlada dentro de tanques o reactores y a velocidades mayores. Los procesos y operaciones unitarias se pueden combinar y complementar para dar lugar a diversos niveles de tratamiento de las aguas (Chavez, 2017).

Tabla 4: Niveles y procesos de aguas residuales.

Nivel	Descripción	Tipo de unidad
Preliminar	Remueve material causante de problemas operacionales como trapos, ramas, arenisca, material.	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa, medidor y repartidos de caudal.
Primario	Remueve de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga orgánica.	Sedimentador, unidades con inyección de aire, tanque séptico, imhoff y tanques de flotación.
Secundario	Procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%.	Lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, humedales, lagunas de estabilización, reactor UASB.
Terciario	Remueve sólidos suspendidos a través de microfiltración.	Microfiltración, la coagulación y precipitación, la absorción por carbón activado, cloración, destilación, oxidación química, extracción

		por solvente, remoción por espuma, nitrificación – denitrificación.
--	--	---

Fuente: Chavez, I 2017.

Una PTAR está integrada por varias etapas e independiente del tipo de tecnología utilizada, es necesaria la instalación de tratamiento o niveles preliminares que impidan el desgaste de equipos y reduzcan los riesgos por obstrucción y posibles daños.

2.6. Tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento para aguas servidas en las cuales, mediante la acción conjunta de algas, bacterias y otros organismos, se logra la estabilización biológica de materia orgánica biodegradable presente en el desecho (Metcalf & Eddy, 1996).

El tratamiento de las aguas residuales a través de lagunas consiste en forma sintetizada en:

- ✓ Reducir el contenido de sólidos suspendidos por sedimentación.
- ✓ Satisfacer la demanda bioquímica de oxígeno.
- ✓ Estabilizar los compuestos orgánicos biodegradables.
- ✓ Reducir el número de organismos patógenos.

Las lagunas de estabilización se han empleado para tratar aguas residuales desde hace 3,000 años. El primer tanque de estabilización artificial fue construido en Sail Antonio- Texas, en 1901. En 1975 se encontraban operando 7,000 lagunas en los Estados Unidos y 868 en Canadá durante 1981 (CONAGUA, 2007) y en Sinaloa operan mediante un reactor enzimático construidos antes del 2000 (Zurita-Martínez; Castellanos-Hernández & Rodríguez-Sahagún, 2011).

Las lagunas de estabilización son lugares de almacenamiento de aguas residuales, relativamente grandes y de poca profundidad, provistas de estructuras en tierra abiertas al sol y al aire y cuyo fin es el de lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados (Quispe, 2013).

La laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias en las que se llevan

procesos depuradores naturales altamente eficientes, son construidos con poca profundidad (2 a 4 m) y con períodos de retención relativamente grandes (por, lo general de varios días) (Silva, 2004).

La laguna de estabilización es aparentemente un método simple de tratamiento de las aguas residuales pero los mecanismos de purificación involucrados son complejos. Estos involucran procesos de sedimentación, digestión, oxidación, síntesis, fotosíntesis, respiración endógena, intercambio de gases, aireación, evaporación, corrientes térmicas y filtración (Rolim, 2000).

En las lagunas de estabilización se presentan dos procesos biológicos, en la parte superficial el denominado “aerobio” y en el fondo el “anaerobio”. El lodo, producto de la sedimentación, está constituido por material celular derivado de la fotosíntesis o por restos descompuestos de plantas, protozoarios y bacterias (Ruiz, 2001).

Las lagunas constituyen un ecosistema acuático cuyos distintos integrantes son:

- ✓ Productores: Algas
- ✓ Consumidores: Protozoarios rotíferos, larvas de insectos.
- ✓ Depredadores: Bacterias y hongos.

Antiguamente se les llamaba lagunas de oxidación, para indicar la oxidación de la materia orgánica con el oxígeno producido por las algas a través de la fotosíntesis; pero actualmente se define como estabilización, porque existen otros procesos además de la oxidación que también son muy importantes en la descomposición de la materia orgánica, remoción de patógenos, sólidos, etc. El resultado del proceso es un efluente de características definidas, de acuerdo al reusó agrícola, piscícola o para la descarga a cuerpos receptores (Guevara, 1996).

2.7. Clasificación de las lagunas de estabilización

De acuerdo con el contenido de oxígeno, pueden ser: aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, si el oxígeno es suministrado artificialmente con aireación mecánica o aire comprimido se denominan aireadas. Con base en el lugar que ocupan respecto a otros procesos, las lagunas pueden clasificarse como: primarias o de aguas residuales crudas,

secundarias, si reciben efluentes de otros procesos de tratamiento y de maduración, si su propósito fundamental es reducir el número de organismos patógenos (Alanoca, 2008).

2.7.1. Laguna anaerobia

Son aquellas que operan con cargas orgánicas de modo tal que no exista oxígeno molecular libre a través de todo su volumen, son estanques de profundidad de 3 a 5 m con un período de retención hidráulica de 1 a 5 días, y pueden alcanzar una profundidad de hasta seis metros, con el objetivo de mantener el calor y las condiciones anaerobias (Correa et al., 2012).

2.7.2. Laguna aerobia

Son lagunas que permiten la penetración de la luz en toda su profundidad (0,3 a 0,5 m) y son mezcladas mecánicamente de modo que todas las algas estén expuestas a la iluminación solar, evitando, asimismo, la formación de una camada de lodo en el fondo. Son proyectadas para maximizar la producción de algas (Metcalf & Eddy, 2003).

2.7.3. Laguna facultativa

Modelo dinámico de las lagunas facultativas donde se da las transferencias de fases como la mezcla producto del viento, la acción de la irradiación solar, sedimentación, desprendimiento de gases, proceso de fotosíntesis de las algas etc. (Cárdenas & Sánchez, 2013).

Son aquellas donde ocurre una estabilización aerobia en una zona donde la penetración de la luz es efectiva y una fermentación anaerobia en la camada de lodo en el fondo (Pérez et al., 2009). La producción de oxígeno proviene, en mayor proporción, de la actividad fotosintética de las algas y en mayor grado, de la reaireación superficial (Satalaya, 2015).

2.7.4. Lagunas de maduración

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 los microorganismos, en esta son utilizadas para el tratamiento terciario de efluentes de estaciones de oxidación biológica, tales como filtros biológicos, lodos activados y lagunas facultativas (Sánchez & Matsumoto, 2012). 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 (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010).

2.8. Disposición de las lagunas de estabilización

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, el tratamiento biológico en serie de lagunas es más eficiente que en laguna de área equivalente (Jarquín, 2003).

2.8.1. Operación en serie

En tres o más lagunas, el líquido fluye de una unidad a la otra. La primera célula recibe el residual bruto y se llama laguna o célula primaria, la segunda recibe el efluente tratado por la primera y se llama secundaria y así sucesivamente, normalmente, tratándose de residuales sanitarios, una tercera laguna se considera de maduración o pulimento, este sistema tiende a minimizar las cantidades de algas y otros contaminantes en la última célula, obteniéndose un efluente de mejor calidad (Ruiz, 2001).

2.8.2. Operación en paralelo

En este tipo de sistema, dos o más células, reciben, simultáneamente, cargas orgánicas proporcionales a sus capacidades y pueden recibir residuales brutos o efluentes parcialmente tratados de unidades que las anteceden (Rolim, 2000). Este arreglo proporciona mejor distribución de sólidos sedimentables y la flexibilidad de retirar, provisionalmente, una célula para limpieza y distribuir, durante esa fase, la carga a las demás unidades (Sánchez & Matsumoto, 2012).

El contar con por lo menos dos lagunas, permite sobre cargar una mientras se lleva a cabo la limpieza de la otra, cuando el terreno es muy quebrado y no se requiere hacer lagunas alargadas, el uso de lagunas en paralelo a diferentes niveles, permite lograr economía considerable en el movimiento de tierras (Spellman, 2009).

2.9. Características del flujo hidráulico de las lagunas de estabilización

2.9.1. Flujo de mezcla completa

La mezcla completa se lleva a cabo si el contenido del estanque esta uniforme y continuamente distribuido, además este tipo de mezcla sucede cuando las lagunas esta expuestas a buen viento y sin estratificación termal, esto ocurre cuando la relación largo – ancho es menor de 1 (se considera el largo de la laguna la longitud del sentido del flujo), la concentración de contaminantes es homogénea en todo el estanque, generalmente en este tipo de lagunas representan cortos circuitos (Jarquín, 2003).

2.9.2. Flujo en pistón

Las partículas del fluido pasan a través del estanque y son descargadas en el mismo orden con el que entran, las partículas conservan su identidad y permanecen en estanques alargados y en los que no existe dispersión longitudinal (Jarquín, 2003).

2.9.3. Flujo arbitrario o disperso

Este flujo se da cuando se presenta cualquier grado de mezcla parcial comprendida entre el flujo en pistón y el de mezcla completa o se presentan simultáneamente (Gaitán & Áreas, 2001). El problema es por la presencia indeseable de zonas muertas (no ocurre flujo alguno), donde la dispersión se encuentra entre 0,2 y 1, la relación geométrica largo – ancho en estas lagunas es de 1 a 3 (Jarquín, 2003).

Tabla 5: Características típicas de las lagunas de estabilización.

Parámetro	Tipos de lagunas				
	Aerobia Tasa baja	Aerobia Tasa alta	Anaerobia	Facultativa	Maduración
Área (ha)	<4	0,2-0,8	0,2-0,8	0,8-4	0,8-4
Tiempo de retención	10-40	4-6	20-50	5-30	5-20
Profundidad (m)	0,9-1,2	0,3-0,45	2,4-5	1,2-2,4	0,9-1,5
Ph	6,5-10,5	6,5-10,5	6.5-7,2	6.5-8,5	6,5-10,5
Temperatura (°C)	0-30	5-30	6-50	0-50	0-30
Conversión DBO (%)	80-95	80-95	50-85	80-95	60-80
Solidos suspendidos	80-140	150-300	80-160	40-60	10-30

Fuente: Ruiz, 2001.

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza un proceso conocido con el nombre de autodepuración, o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, biológico y microbiológico (Metcalf & Eddy, 1996). La demanda bioquímica de oxígeno y el número más probable

de coliformes fecales (NMP CF/100cm³) de las aguas descargadas en una laguna de estabilización, y del efluente de las mismas, son los parámetros que más se han utilizado para evaluar las condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su comportamiento (Satalaya, 2015).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es uno de los análisis más importantes, mide la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en período de 5 días y a 20 °C (Metcalf & Eddy, 2003; Ramalho, 2003; Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010). La normativa peruana establece que los Límites Máximos Permisibles (LMP) de DBO₅ es de 100 mg L⁻¹, agua sin contaminación de 0 a 20 mg L⁻¹, mientras que, agua poco contaminada de 20 a 100 mg L⁻¹ (MINAM, 2010). Sin embargo, en México y Brasil su normativa con respecto al LMP de DBO₅ es de 60 mg L⁻¹ (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010; Sánchez & Matsumoto, 2012). En la PTAR de Santa Fe do Sul la concentración de DBO₅ afluente varió de 48 y 547 mg L⁻¹ y la demanda química de oxígeno (DQO) varió de 161 y 1,107 mg L⁻¹ (Matsumoto & Sánchez, 2016).

En todas las aguas residuales se realizan exámenes de coliformes (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010). La excreción diaria por habitante en Mérida (México) varía entre 125 x 10⁹ y 400 x 10⁹, y supera el LMP de 10 000 NMP/100 mL (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010), en la cuenca del río Rímac las cargas fecales alcanzan 1.0E+6 NMP/100 mL de coliformes termo tolerantes (DIGESA, 2011).

La tasa de mortalidad de coliformes fecales es aplicable también para salmonellas, establecidas para una velocidad de reacción de 200 d L, con un promedio aceptable de 0,84 d L en lagunas facultativas (Saenz, 1985).

En una evaluación intensiva donde las lagunas no se ajustan a sub-modelos hidráulicos de flujo de tipo pistón o de mezcla completa, la evaluación debe efectuarse con la ayuda de modelos más complicados, el modelo de dispersión axial es el más empleado, porque en sus límites cubre los dos anteriores y tiene aplicabilidad para la descripción real de la reducción de bacterias (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010). La inclusión de las características de dispersión en las ecuaciones de diseño predice mejores resultados porque ésta da razón de los fenómenos hidráulicos que ocurren en

las lagunas; forma del estanque, velocidad de flujo, corto circuito y dispositivos de entrada y salida, sin embargo, el uso del modelo de flujo disperso no da razón de la existencia de zonas muertas o estancadas las cuales reducen el volumen efectivo (Saenz, 1985).

En cuanto a sus factores químicos, el pH óptimo para la degradación de la materia orgánica es de 6,2 – 8,5 (Pérez et al., 2009), aunque hay registros de pH de 6,2 indica desequilibrio en el proceso anaeróbico (Correa et al., 2012) y por encima de 8 indica toxicidad (Duran, 2009), sin embargo, para aguas potabilizadas con tratamiento convencional se considera de 5,5 – 9,0 (MINAM, 2015).

El fósforo en exceso produce eutrofización y crecimiento de fitoplancton en lagunas de estabilización, la remoción del fósforo realiza procesos de sedimentación e integración de biomasa a las microalgas (1 g de fósforo = 100 g de biomasa), por lo tanto, la remoción de fósforo obtenida en la laguna de estabilización de Mérida va desde 64,8 a 96,7 % (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010).

El nitrógeno (nitrato, nitrito y amonio) reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, por lo tanto, pone en riesgo la salud pública y es uno de los responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (Cárdenas & Sánchez, 2013). La normativa peruana establece que LMP para nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) es 3 - 50 mg L^{-1} , respectivamente (MINAM, 2015), sin embargo, Brasil considera 1 mg L^{-1} NO_2 - 10 mg L^{-1} NO_3 y Colombia 0,1 mg L^{-1} NO_2 - 10 mg L^{-1} NO_3 (Cárdenas & Sánchez, 2013). Los procesos de eliminación del nitrógeno se relacionan con nitrificación y desnitrificación, registrándose 92,5 % de remoción (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010).

La turbidez es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz (Sierra, 2011), en la PTAR - San Juan de Miraflores se registraron variaciones de turbidez entre 14,6 y 16,8 NTU (Cóndor & Gutiérrez, 2017).

Los sólidos totales es la cantidad de sólidos que contiene el agua en suspensión durante 10 min de reposo, esta cantidad debe ser 150 mg L^{-1} en efluentes de aguas (MINAN, 2010). El valor registrado en el afluente de PTAR de Solteira (Brasil) es de 80 a 280 mg L^{-1} y en el efluente entre 40 y 340 mg L^{-1} , lo que indica remoción negativa (Sánchez & Matsumoto, 2012).

La acumulación de lodo en lagunas cambia su topología interna y afecta los patrones de flujo de manera negativa, puede crear zonas muertas y caminos de flujo preferencia; en Sao Paulo, el volumen de lodo acumulado para la laguna primaria se estimó en 20,044 m³ y 22,865 m³ para la laguna secundaria (Sánchez & Matsumoto, 2012).

La eficiencia de las lagunas permite remover la carga contaminante (Spellman, 2009). Sin embargo, los resultados de las lagunas de estabilización de Uchiza y São João de Iracema (Brasil) evidenciaron 78 y 74 % de eficiencia (ligeramente bajo a 80 %) en cuanto a la remoción de DBO₅ y SST debido a los microorganismos, al poco tiempo de retención hidráulico y aumento del caudal (Sánchez & Matsumoto, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La ciudad de Nuevo Chimbote se ubica en la zona Costa Norte – Centro y Oeste del territorio nacional ($09^{\circ} 11'15''$ S y $78^{\circ} 35'27''$ O), en el valle de Lacramarca y a orillas del mar a una altura entre 15 y 22 m.s.n.m.

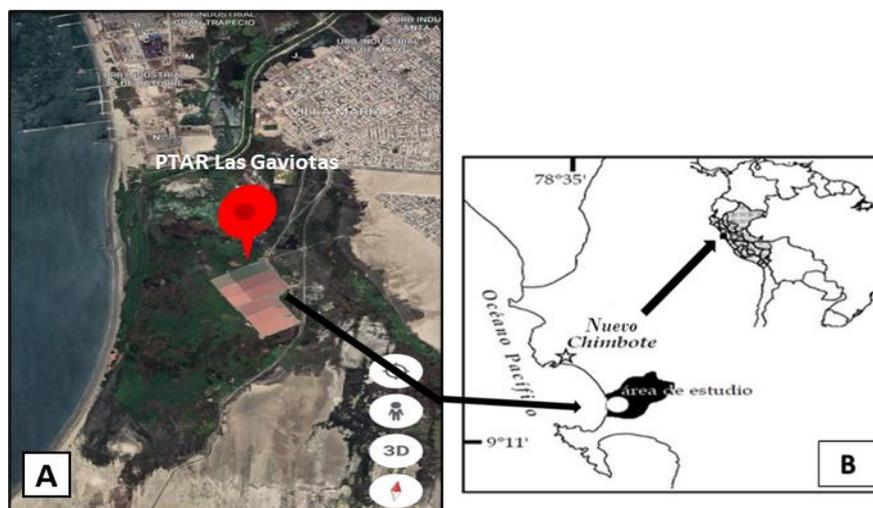


Figura 2: A) Laguna de estabilización Las Gaviotas, B) ubicado en Nuevo Chimbote, Ancash – Perú.

Fuente: Provincia del Santa

El área donde se ubica se caracteriza por ser una franja costera desértica, árida, con un ancho de 45 Km., que se desarrolla entre una cadena rocosa de cerros de la Cordillera Negra y el Litoral del Océano Pacífico.

3.1. Características de lugar de estudio

3.1.1. Aspectos geológicos

El Distrito de Nuevo Chimbote se caracteriza por tener suelos sedimentos de origen aluvial con extensos depósitos de arenas eólicas de textura gruesa, con permeabilidad alta, por las condiciones geológicas estos suelos se clasifican en: rocosas, llanuras aluviales, depósitos costeros, suelos con arenas eólicas y zonas pantanosas.

La geomorfología, se caracteriza por su ubicación en una planicie aluvial formada por los ríos Lacramarca y El Santa, donde se identifican unidades geomorfológicas de tipo macizo rocoso, zonas de escorrentía fluvial y de dunas.

3.1.2. Clima

Presenta un clima variado que va de cálido a frío, la temperatura promedio más fría es de 17, 9° C y en verano de 23, 8° C. La precipitación es casi nula salvo algo de lluvia en los meses de verano.

Es importante señalar que las lluvias como consecuencia del Fenómeno de EL NIÑO, que ocurre cada 10 a 15 años tienen efectos negativos, por la presencia de fuertes precipitaciones pluviales, incrementan el caudal de los ríos y quebradas, generando inundaciones y graves daños en el área urbana, así como a la actividad agropecuaria.

La humedad relativa promedio anual es de 76 % y el promedio mensual varía entre 73 y 78 %.

3.2. Descripción del área de estudio

Las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” están ubicadas a 2,68 km, en dirección a la playa El Dorado - Nuevo Chimbote (9°08’24.44” S y 78°32’50.95” O). Consta de nueve lagunas operativas, están distribuidas en serie (la primera recibe el residual bruto, la segunda recibe el efluente tratado de la primera y así sucesivamente), con 27 x 11 m² c/u (lagunas primarias), 16 x 11 m² c/u (lagunas secundarias) y 26 x 11 m² c/u (lagunas terciarias) con una profundidad máxima de 2,50 m. Las lagunas están conectadas mediante canales, permitiendo la entrada (afluente) y salida (efluente) de las aguas residuales que provienen de reservorios ubicados dentro del establecimiento.

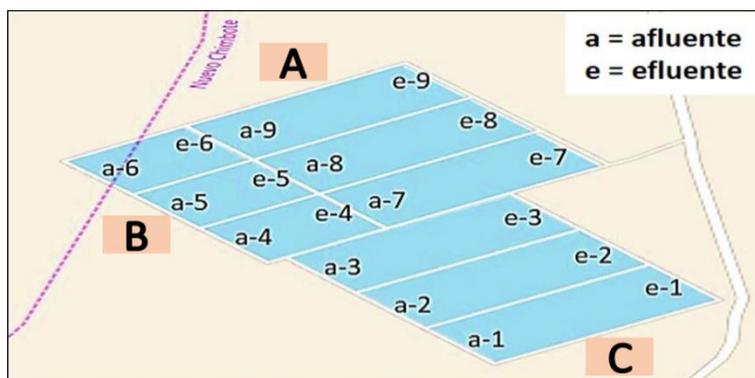


Figura 3: Las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” consta de tres sistemas: Las lagunas primarias (A) tienen comunicación con las lagunas secundarias (B) y estas con las lagunas terciarias (C). Las letras minúsculas (a) significa afluente y (e) efluente.

Fuente: Elaboración propia

El sistema de tratamiento cuenta con los siguientes componentes:

Estructura de llegada: Las aguas residuales llegan a esta estructura por medio de un emisor de aprox. unos 300 m con pilares de concreto armado de 1 a 2,50 m de altura.

Desarenador: El cual cuenta con dos canales que permiten la remoción de arenas antes de la descarga a las lagunas facultativas.

Medidores de caudal: Existe un canal en forma rectangular de 0,35 m de ancho y 0,80 m de alto, donde se puede medir el caudal antes del ingreso a la caja repartidora de caudal, que distribuye por igual el caudal para las lagunas.

Lagunas de estabilización: Son de tipo facultativo primario, con dimensiones de 27 m de largo y 11 m de ancho, con una altura útil de 1,5 m, su efluente es descargado en las chacras cercas del lugar. Las lagunas presentan un dique de separación de sección trapezoidal y en la corona, un área transitable para la inspección de dichas unidades, permitiendo el tránsito por los laterales de las lagunas.

Tubería de interconexión: Las tuberías de interconexión están instaladas dentro de una estructura rectangular en forma de canaletas, en donde pasan tuberías de PVC de 200 mm de diámetro.

Estructura de salida: Cada laguna cuenta con una estructura de salida de forma rectangular donde se encuentra un vertedero rectangular está instalado antes de la tubería de salida.

Cámara de recolección: El vertedero rectangular descarga las aguas mediante tuberías de salida que son de material PVC de 200 mm de diámetro.

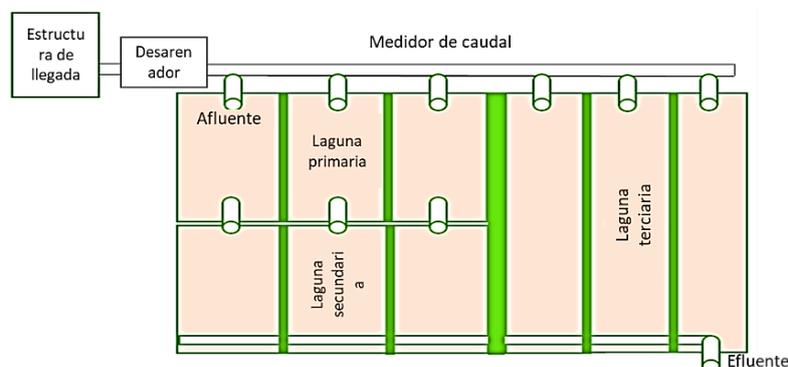


Figura 4: Las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” tiene una estructura de llegada (donde llega el agua residual) que está conectada con un desarenador (remueve partículas gruesas) y un medidor de caudal por donde el agua residual recorre hacia las tuberías por donde entran a cada laguna (afluente) y finalmente salen después de tratamiento (efluente).

Fuente: *Elaboración propia.*

3.3. Puntos y frecuencia de muestreo

Los puntos de muestreo de agua fueron recolectados del afluente y efluente de las nueve lagunas de estabilización “Las gaviotas”, Nuevo Chimbote – Ancash, Perú, la frecuencia de muestro en campo (*in situ*) fueron tres meses (febrero, marzo y junio) comenzando a las 7:00 am y terminando a las 11:00 am.

Tabla 6. Estaciones del afluente (a) y efluente (e) de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, Nuevo Chimbote.

Lagunas	N° de lagunas	Estaciones	
		Afluente	Efluente
A	1	A ₁ -a ₁	A ₁ -e ₁
	2	A ₂ -a ₂	A ₂ -e ₂
	3	A ₃ -a ₃	A ₃ -e ₃
B	4	B ₄ -a ₄	B ₄ -e ₄
	5	B ₅ -a ₅	B ₅ -e ₅
	6	B ₆ -a ₆	B ₆ -e ₆
	7	C ₇ -a ₇	C ₇ -e ₇
C	8	C ₈ -a ₈	C ₈ -e ₈
	9	C ₉ -a ₉	C ₉ -e ₉

Fuente: *Elaboración propia. A₁ (laguna primaria), B₄ (laguna secundaria) y C₇ (laguna terciaria). Afluente: a₁ y Efluente: e₁.*

3.4. Toma, preservación y traslado de muestras

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Impacto Ambiental de la Facultad de Ciencias de E.A.P. Biología en Acuicultura de la Universidad Nacional del Santa, ubicado en el distrito Nuevo Chimbote, Provincia del Santa, Región Ancash, Perú.

Las muestras analizadas en el laboratorio (*ex situ*) fueron llevados en botellas plásticas de ½ L con sus respectivas etiquetas (anteriormente bien desinfectadas), depositadas en un cooler grande con bolsas de hielo (para preservar la muestra) en un intervalo de tiempo menor a 24 h de acuerdo con las normas que establecen para el análisis físico, químico y bacteriológico, en las que se consideran como parámetros representativos para la determinación de la calidad de los efluentes.

3.5. Análisis de las muestras

Los parámetros evaluados en las muestras de afluentes y efluentes de las lagunas de estabilización se realizaron conforme a lo establecido por APHA (1992).

3.5.1. Parámetros Biológicos

La calidad del agua fue medida mediante Oxígeno Disuelto (OD) (mg L^{-1}) con el método de Winkler (1888), el cual consiste en tomar la muestra del agua directamente en una botella DBO sin burbujas, agregar 1 m L^{-1} de Sulfato de Manganeso (MnSO_4), 1 m L^{-1} Yoduro alcalino, agitamos y dejamos reposar (repetir 2 veces), luego 1 m L^{-1} ácido sulfúrico (H_2SO_4) y dejamos reposar hasta dar una coloración amarilla. Se coloca 50 m L^{-1} de alícuota en el matraz de Erlenmeyer y agregamos $0,5 \text{ m L}^{-1}$ de almidón hasta dar una coloración azul, después agregamos tiosulfato (color transparente) y se registra el dato final mediante la siguiente fórmula:

$$\text{O}_2 = \frac{\text{Gasto de tiosulfato} \times 8 \times 1000 \times \text{Normalidad}}{\text{m L de muestra diluida} \left(\frac{V-1}{V}\right)}$$

Dónde: V= volumen de la botella de DBO.

En la Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO_5) se realizó mediante APHA (1992) primero se preparó el agua de dilución colocando 1 m L de las soluciones de tampón fosfato, MgSO_4 , CaCl_2 , y FeCl_3 , se llevó a una temperatura de $20^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$, luego fue saturado con OD por agitación en una botella (20 L), por burbujeo de aire filtrado libre de materia orgánica ($> 0,2 \text{ mg L}^{-1}$ y $< 0,1 \text{ mg L}^{-1}$). La técnica de dilución que utilicé fue 5:100 para aguas residuales depuradas y brutas. Se determinó el OD inicial de cada muestra, se incubó, se determinó el OD final después de 5 días y se registra el dato final mediante la siguiente fórmula:

$$\text{DBO}_5 = \frac{(\text{O}_i - \text{O}_f) \times (1 - (0,01 \times P))}{(0,01 \times P)}$$

Dónde: O_i = Oxígeno inicial, O_f = Oxígeno final y P=Dilución en porcentaje

3.5.2. Parámetros Físicos

La temperatura (T°) fue medida con un termómetro digital ($\pm 0,1^\circ \text{C}$), el color y olor fueron analizados mediante los sentidos (vista y olfato respectivamente) y los

Sólidos Totales (SST) se recogieron muestras en botellas de plástico. Luego se diluyo 10 m L de muestra de agua en 90 m L de agua destilada y se midió la conductividad en el equipo HACH de la marca SensION5.

3.5.3. Parámetros Químicos

El pH que fue medido mediante un pH-metro pHTester2 ($\pm 0,1$ unidades).

Demanda Química Oxígeno (DQO) fue realizado a través del digestor DQO – HACH de la marca DRB-200. Para ello, se necesitó $1,5 \text{ m L}^{-1}$ solución de digestión, que consiste en, $1,0216 \text{ m L}^{-1}$ Dicromato de Potasio ($\text{K}_2\text{CR}_2\text{O}_7$) (secar $103^\circ \times 2\text{h}$), $1,67 \text{ m L}^{-1}$ de H_2SO_4 y $3,3 \text{ m L}^{-1}$ de Sulfato de Mercurio (HgSO_4), la cual colocaremos en tubos de cultivo de $16 \times 100 \text{ mm}$, junto con $2,5 \text{ m L}^{-1}$ de muestra de agua y $3,5 \text{ m L}^{-1}$ H_2SO_4 . Programamos el equipo por 2 h a 150° y finalmente hacemos la lectura en el equipo colorimétrico HACH de la marca DR-900.

La medición del fosfato (PO_4) consistió en el método del ácido ascórbico APHA (1992). Para eso se preparó el reactivo combinado: 50 m L^{-1} H_2SO_4 $5N$, 5 m L^{-1} Solución de Tartrato Antimonílico potásico, 15 m L^{-1} de solución molibdato amónico y 30 m L^{-1} de ácido ascórbico. Se colocó 50 m L^{-1} de muestra, $0,05 \text{ m L}^{-1}$ de indicador de fenolftaleína y 8 m L^{-1} de reactivo combinado en un matraz Erlenmeyer, se agito y midió la absorbancia en el espectrofotómetro UV-Visible de la marca SensION5 (880 nm). Para la curva de calibración se utilizaron cinco concentraciones ($1,3,5,10$ y 15 m L^{-1} de solución madre de fosfato), 50 m L^{-1} de agua destilada y 8 m L^{-1} de reactivo combinado.

Para la medición del nitrato (NO_3) se utilizó el método de reducción de cadmio APHA (1992). Antes de preparar la columna, se lava el cadmio con 10 m L^{-1} Sulfato de Cobre (CuSO_4), 1 m L^{-1} ácido nítrico (HNO_3) y luego se enjuaga con agua destilada. Luego se prepara la columna de reducción, agregando tapón lana vidrio en la parte superior e inferior de la columna, láminas de cobre y gránulos de Cadmio (Cd) hasta $18,5 \text{ cm}$ de largo. Se activa la columna con 200 m L^{-1} de solución $\text{NH}_4\text{CL-EDTA}$ ($7-10 \text{ m L min}^{-1}$) e inmediatamente después se coloca la muestra diluida (25 m L^{-1} muestra y 75 m L^{-1} solución $\text{NH}_4\text{CL-EDTA}$). Se preparó el reactivo color (10 m L^{-1} de ácido fosfórico, 80 m L^{-1} de agua destilada, 1 g de sulfanilamida y 0.1 g diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina) y se coloca 2 m L^{-1} de reactivo color a 50 m L^{-1} de muestra

recogida de la columna de reducción. Se agita, se deja reposar y se mide la absorbancia (543 nm).

La relación de la DBO/DQO se realiza para determinar el grado de contaminación del agua y de los efluentes, consiste en hallar el grado de biodegradabilidad mediante una división entre la DBO y la DQO. La biodegradabilidad es una característica de los compuestos orgánicos que tiene relación con el nivel de susceptibilidad de que éstos sean degradados por microorganismos y por lo tanto condiciona en gran medida la viabilidad de tratar biológicamente un efluente que contenga un determinado compuesto (Cisterna & Peña, 2014).

Los resultados tanto biológicos, físicos y químicos fueron comparados con la norma oficial peruana (Tabla 7), mientras que, la evaluación de la eficiencia del sistema fue medido mediante la fórmula de Lettinga (1995).

$$E \% = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$

Dónde: E = Eficiencia del proceso (%), S_0 = Concentración del sustrato en el afluente (mg L^{-1}) y S = Concentración del sustrato en el efluente (mg L^{-1}).

Tabla 7. Parámetros biológicos, físicos y químicos de la norma oficial peruana.

Parámetros	UND	A1 Tratadas con desinfección	A2 Tratamiento convencional	A3 Tratamiento avanzado
Sólidos Totales Disueltos	mg L^{-1}	1 000	1 000	1 500
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	**
Turbidez	UNT	5	100	**
Demanda Bioquímica Oxígeno	mg L^{-1}	3	5	10
Demanda Química Oxígeno	mg L^{-1}	10	20	30
Fosfato total	mg L^{-1}	0,1	0,15	0,15
Nitratos	mg L^{-1}	50	50	50
Nitritos	mg L^{-1}	3	3	**
Oxígeno Disuelto	mg L^{-1}	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Ph	pH	6,5-8,5	5,5-9,0	5,5-9,0

Fuente: MINAM (2015). A3: Variación de 3°C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. **: No presenta valor

Tabla 8. Límite máximo permisible de efluentes para su vertimiento a un cuerpo de agua.

Parámetros	UND	Valor
Sólidos Totales Disueltos	mg L^{-1}	150
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	<35
Demanda Bioquímica Oxígeno	mg L^{-1}	100
Demanda Química Oxígeno	mg L^{-1}	200
Ph	pH	6,5-8,5

Fuente: D.S. N° 003-2010-MINAM

Los datos fueron procesados y analizados mediante el diseño estadístico completamente al azar ($p < 0,05$), se utilizó el análisis de varianza ANOVA para establecer diferencias entre promedios. Luego se aplicó la prueba de Tukey para la comparación y correlación de los tratamientos con un nivel de significancia de 0,05. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas utilizando el programa computacional SPSS 20 para Windows.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización del afluente y efluente

Se realizaron 3 muestreos en los nueve puntos de colecta, se caracterizaron el afluente y el efluente tratado de las lagunas de estabilización a partir de los 9 parámetros de control citados: OD (mg L), T(°C), pH(und), DBO₅ (mg L), DQO (mg L), SDT (mg L), NO₂ (mg L), NO₃ (mg L) y Fosforo (mg L) (Tabla 7). La temperatura ambiente promedio fue de 26, 3° C.

Los siguientes son los resultados obtenidos para los parámetros analizados durante las tres salidas en las lagunas de estabilización.

4.2. Parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente del agua residual.

4.2.1. Temperatura

Tabla 9. Temperatura del afluente y efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

T°	Meses								
	Febrero			Marzo			junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	26,7	24	25,3	28,3	25,4	26,8	17,7	17,1	17,4
A ₂	27,6	23,1	25,3	28,1	24,8	26,4	18,2	17	17,6
A ₃	26,5	22,5	24,5	27,9	23,7	25,8	18	17,2	17,6
B ₄	25	24,1	24,5	28,7	26,5	27,6	17,9	17,2	17,5
B ₅	20,7	24,5	22,6	28,5	27,2	27,8	18,1	17,3	17,7
B ₆	20,8	23,8	22,3	28,3	27,5	27,9	18,2	17,4	17,8
C ₇	23,6	23,5	23,5	25,7	25,8	25,7	17,9	17,6	17,7
C ₈	23,4	23,5	23,4	25,7	26	25,8	17,7	17,5	17,6
C ₉	22,5	22,4	22,4	25,2	25,7	25,4	18	18,7	18,3
Promedio	24,1	23,5	23,8	27,4	25,8	26,6	18,0	17,4	17,7
Desv. Est.	2,4	0,7	1,1	1,3	1,1	0,9	0,2	0,5	0,2

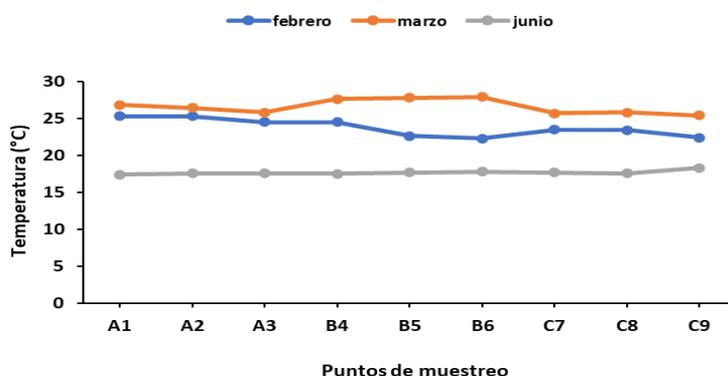


Figura 5. Temperatura del efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.2. Olor y color del agua residual

Tabla 10. Olor y color del afluente y efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Afluente y Efluente	Parámetros			
	Olor	Intensidad	Color	Intensidad
A ₁	Descompuesto	Fuerte	Gris	Oscuro
A ₂	Descompuesto	Fuerte	Gris	Oscuro
A ₃	Descompuesto	Fuerte	Gris	Oscuro
B ₄	Descompuesto	Medio	Rosado	Claro
B ₅	Descompuesto	Medio	Rosado	Claro
B ₆	Descompuesto	Medio	Rosado	Claro
C ₇	Descompuesto	Leve	Negra	Oscuro
C ₈	Descompuesto	Leve	Negra	Oscuro
C ₉	Descompuesto	Leve	Negra	Oscuro

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Sólidos Disueltos Totales

Tabla 11. Sólidos Disueltos Totales del afluente y efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

SDT g L	Meses								
	febrero			marzo			junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	1297	555	926	531	492	511	333	256	294
A ₂	773	438	605	569	389	479	1602	430	1016
A ₃	970	548	759	824	776	800	1289	428	858
B ₄	1348	315	831	1116	566	841	293	612	452
B ₅	877	830	853	542	881	711	630	273	451
B ₆	1838	573	1205	821	750	785	503	276	389
C ₇	1847	414	1130	725	675	700	209	389	299
C ₈	626	712	669	818	718	768	1117	550	833
C ₉	529	483	506	524	857	690	1941	975	1458
Promedio	1123	541	832	719	678	698	880	465	672
Desv. Est.	462	147	218	187	156	119	593	214	374

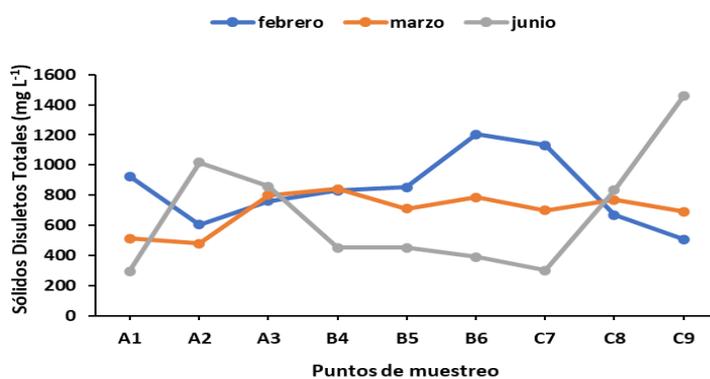


Figura 6. Sólidos Disueltos del efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.4. pH

Tabla 12. pH del afluente y efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

Ph	Meses								
	febrero			marzo			Junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	7,42	7,77	7,59	6,62	6,66	6,64	5,89	5,89	5,89
A ₂	7,29	7,56	7,42	6,72	6,53	6,62	5,9	5,8	5,85
A ₃	7,54	7,72	7,63	6,82	6,73	6,77	5,91	5,81	5,86
B ₄	7,65	8,04	7,84	6,79	7,01	6,9	5,89	5,89	5,89
B ₅	8	7,95	7,97	6,81	7,09	6,95	5,89	5,79	5,84
B ₆	7,91	8,2	8,05	6,69	7,04	6,86	6,12	5,7	5,91
C ₇	7,6	8,05	7,82	6,74	7,05	6,89	6,34	6,84	6,59
C ₈	7,82	8,03	7,92	6,57	7,08	6,82	5,89	5,98	5,93
C ₉	7,73	7,89	7,81	6,7	7,18	6,94	5,9	5,92	5,91
Promedio	7.662	7.912	7.783	6.718	6.930	6.821	5.970	5.958	5.963
Desv. Est.	0,216	0,187	0,189	0,080	0,215	0,115	0,148	0,322	0,223

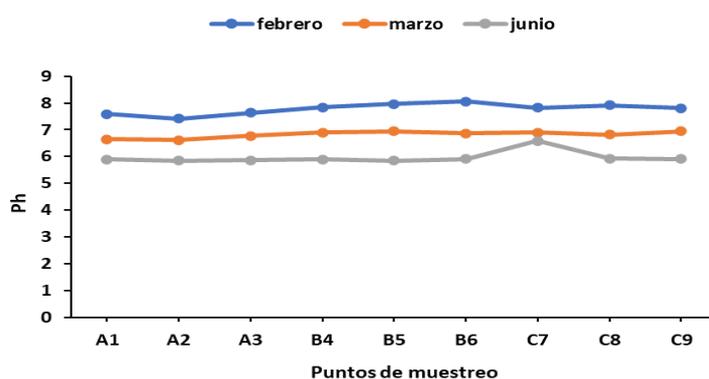


Figura 7. Ph del efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.5. Fosfatos

Tabla 13. Medición del fosfato en el agua residual del afluente y efluente de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

PO ₄	Meses								
	febrero			marzo			Junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	0,202	0,561	0,38	0,206	0,51	0,35	0,496	0,515	0,5
A ₂	0,203	0,749	0,47	0,253	0,987	0,62	0,455	0,522	0,48
A ₃	0,185	0,642	0,41	0,297	0,257	0,27	0,442	0,532	0,48
B ₄	0,344	0,807	0,57	0,815	0,892	0,85	0,462	0,627	0,54
B ₅	0,351	0,972	0,66	0,917	0,92	0,91	0,486	0,632	0,55
B ₆	0,377	0,831	0,6	0,795	0,825	0,81	0,519	0,548	0,53
C ₇	0,473	0,595	0,53	0,819	0,25	0,53	0,506	0,63	0,56
C ₈	0,513	0,575	0,54	0,954	0,518	0,73	0,577	0,675	0,62
C ₉	0,591	0,858	0,72	0,832	0,537	0,68	0,504	0,699	0,6
Promedio	0,36	0,732	0,542	0,654	0,633	0,639	0,494	0,598	0,540
Desv. Est.	0,138	0,137	0,105	0,289	0,266	0,208	0,038	0,066	0,046

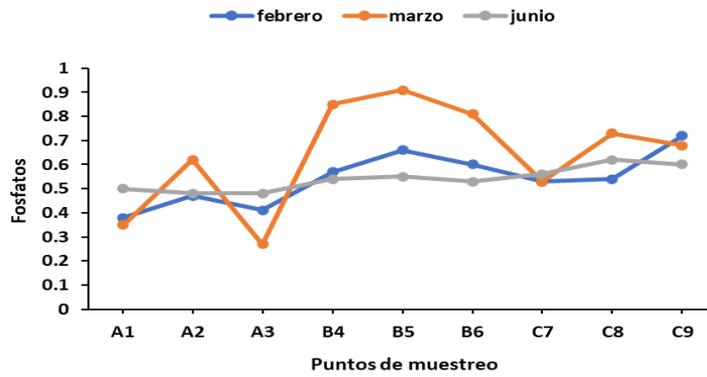


Figura 8. Medición del fosfato en el agua residual del efluente de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.6. Nitratos

Tabla 14. Medición del nitrato del agua residual del afluente y efluente de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

NO ₃	Meses								
	febrero			marzo			junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	0,49	0,6	0,55	0,1	0,35	0,23	0,251	0,309	0,28
A ₂	0,52	0,623	0,57	0,187	0,421	0,3	0,2	0,38	0,29
A ₃	0,5	0,645	0,57	0,2	0,498	0,35	0,321	0,423	0,37
B ₄	0,54	0,69	0,62	0,354	0,612	0,48	0,478	0,556	0,52
B ₅	0,551	0,723	0,64	0,625	0,654	0,64	0,452	0,7	0,58
B ₆	0,576	0,827	0,7	0,591	0,723	0,66	0,7	0,721	0,71
C ₇	0,6	0,709	0,65	0,723	0,776	0,75	0,78	0,859	0,82
C ₈	0,687	0,823	0,76	0,853	0,821	0,84	0,756	0,897	0,83
C ₉	0,721	0,97	0,85	0,836	0,879	0,86	0,812	0,908	0,86
Promedio	0,576	0,734	0,657	0,497	0,637	0,568	0,528	0,639	0,584
Desv. Est.	0,076	0,112	0,093	0,275	0,173	0,223	0,226	0,218	0,220

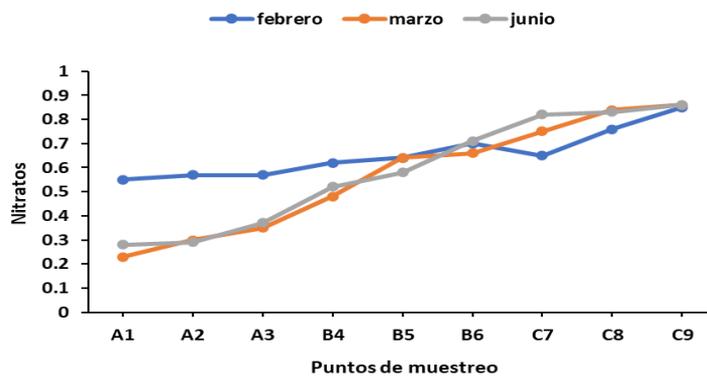


Figura 9. Medición del nitrato del agua residual del efluente de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.7. Oxígeno Disuelto

Tabla 15. Oxígeno Disuelto del afluente y efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

OD	Meses								
	febrero			marzo			junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	8	8	8	8	12	10	8	8	8
A ₂	8	8,8	8,4	7,2	8	7,6	8	12	10
A ₃	8	9,2	8,6	4	8	6	8	12	10
B ₄	12	7,2	9,6	8	2	5	16	12	14
B ₅	20	7,2	13,6	8	2	5	20	12	16
B ₆	8	8,4	8,2	8,4	4	6,2	12	8	10
C ₇	8	8	8	8	8	8	16	12	14
C ₈	4	8	6	8	4	6	16	8	12
C ₉	8	12	10	12	12	12	8	8	8
Promedio	9,3	8,5	8,9	8,0	6,7	7,3	12,4	10,2	11,3
Desv. Est.	4,2	1,4	2,0	1,9	3,7	2,2	4,4	2,0	2,7

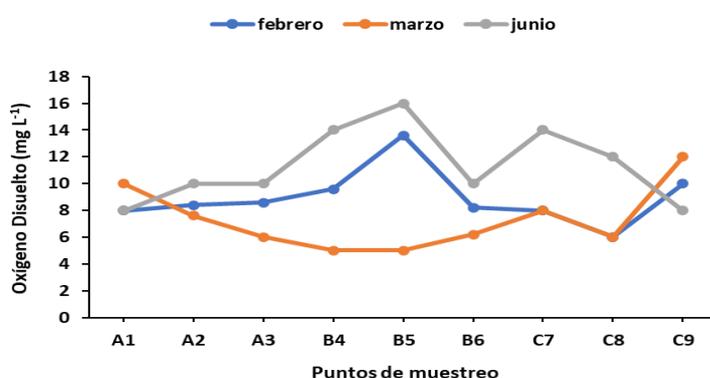


Figura 10. Oxígeno Disuelto del efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.8. Demanda Química de Oxígeno

Tabla 16. Demanda Química de Oxígeno del afluente y efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

DQO	Meses								
	febrero			marzo			junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	515	426	470	144	129	136	324	154	239
A ₂	658	330	494	141	136	138	397	226	311
A ₃	657	511	584	142	78	110	592	198	395
B ₄	804	397	600	121	113	117	753	113	433
B ₅	607	561	584	168	106	137	468	137	302
B ₆	549	420	484	148	118	133	820	96	458
C ₇	557	462	509	220	93	156	381	95	238
C ₈	491	463	477	152	130	141	375	147	261
C ₉	523	493	508	136	111	123	504	503	503
Promedio	596	451	523	152	113	132	513	185	349
Desv. Est.	93	64	48	27	18	13	165	120	95

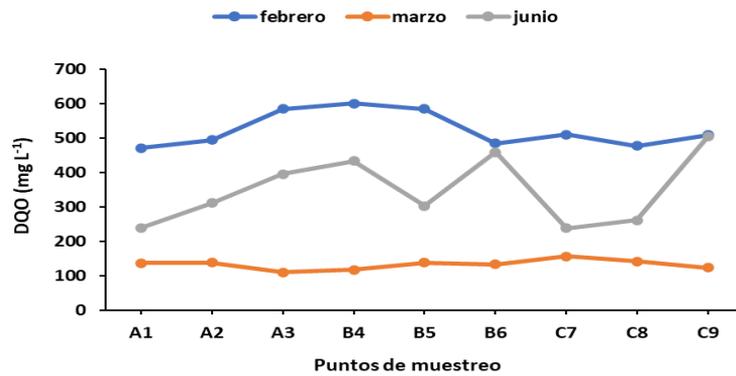


Figura 11. Demanda Química de Oxígeno del agua residual del efluente de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día

Tabla 17. Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente y efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

DBO	Meses								
	febrero			marzo			junio		
	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}	Afluente	Efluente	\bar{X}
A ₁	30,3	8,5	19,4	64,1	8,7	36,4	230,9	49,9	140,4
A ₂	28,6	11,8	20,2	23,3	10,1	16,7	225,7	54,8	140,2
A ₃	6,4	12,6	9,5	41	7,4	24,2	218	52,4	135,2
B ₄	57	27,7	42,3	33,6	12,8	23,2	163,2	59,4	111,3
B ₅	20,6	14,5	17,5	56,6	22,8	39,7	108,2	63,8	86
B ₆	19	19,8	19,4	50	14,3	32,1	136,2	39,8	88
C ₇	50,1	34,5	42,3	43,8	20,1	31,9	78,5	51,3	64,9
C ₈	30,5	14,8	22,6	79,9	8,7	44,3	90,9	50,4	70,7
C ₉	32,5	29,7	31,1	20,6	22,6	21,6	71,1	38	54,5
Promedio	30,6	19,3	24,9	45,9	14,2	30,0	147,0	51,1	99,0
Desv. Est.	14,5	8,6	10,7	18,1	5,8	8,7	61,2	7,8	31,8

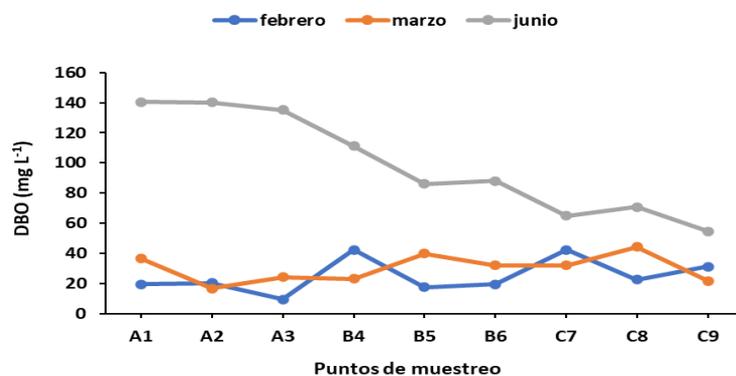


Figura 12. Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua residual del efluente de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.2.10. Relación entre DQO y DBO₅

Tabla 18. Relación entre Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

Efluente	DBO ₅	DQO	DQO/DBO ₅
A ₁	22	236	10,72
A ₂	26	231	8,88
A ₃	24	262	10,9
B ₄	33	208	6,30
B ₅	34	268	7,88
B ₆	25	211	8,44
C ₇	35	217	6,2
C ₈	25	247	9,88
C ₉	30	369	12,3
PROMEDIO	33	285	9

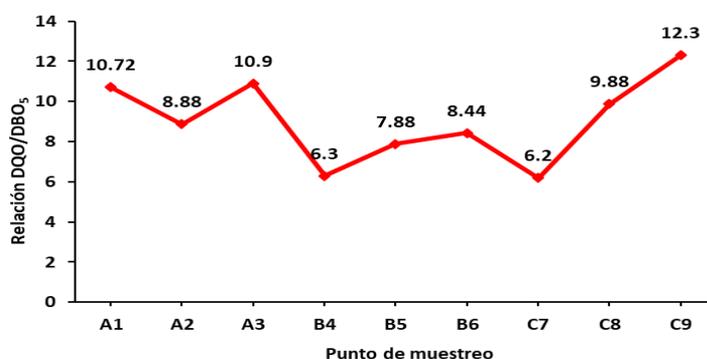


Figura 13. Relación entre Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente del agua residual de las nueve lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, en los meses de febrero, marzo del 2020 y junio del 2021.

4.3. Eficiencia del sistema

4.3.1. Eficiencia de la DBO₅

Tabla 19. Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DBO₅ en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Puntos de muestreo	Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
	DBO ₅	DBO ₅	
A ₁	108	22	80
A ₂	92,5	26	72
A ₃	88,5	24	73
B ₄	84,6	33	61
B ₅	61,8	34	45
B ₆	68,4	25	63
C ₇	57,5	35	39
C ₈	67,1	25	63
C ₉	41,4	30	28
PROMEDIO	74,4	28,2	58

Fuente: Elaboración propia.

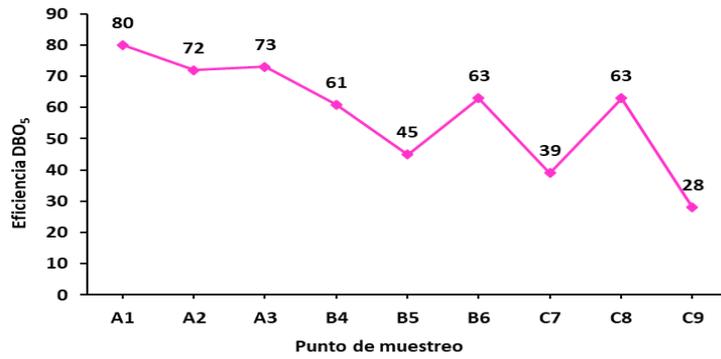


Figura 14. Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DBO₅ en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

4.3.2. Eficiencia de los SDT

Tabla 20. Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de SDT en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Puntos de muestreo	Afluente SDT	Efluente SDT	Eficiencia (%)
A ₁	720,3	434,3	39,7
A ₂	981,3	419	57,3
A ₃	1027,7	584	43,2
B ₄	919	497,7	45,8
B ₅	683	661,3	3,2
B ₆	1054	533	49,4
C ₇	927	492,7	46,9
C ₈	853,7	660	22,7
C ₉	998	771,7	22,7
PROMEDIO	907,1	561,5	36,8

Fuente: Elaboración propia.

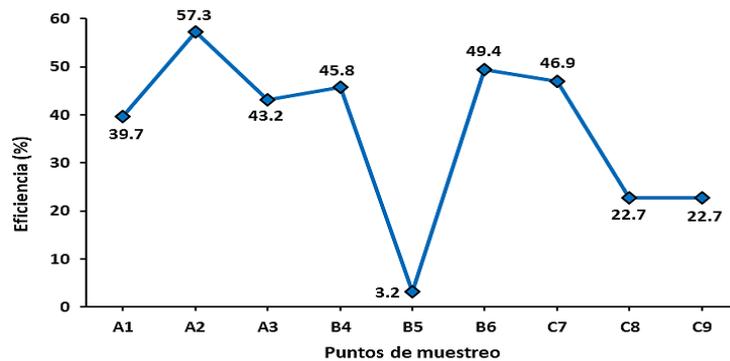


Figura 15. Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de SDT en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

4.3.3. Eficiencia de DQO

Tabla 21. Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DQO en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Puntos de muestreo	Afluente DQO	Efluente DQO	Eficiencia (%)
A ₁	328	236	28
A ₂	397	231	42
A ₃	464	262	44
B ₄	559	208	63
B ₅	414	268	35
B ₆	506	211	58
C ₇	386	217	44
C ₈	339	247	27
C ₉	388	369	5
PROMEDIO	420	285	38

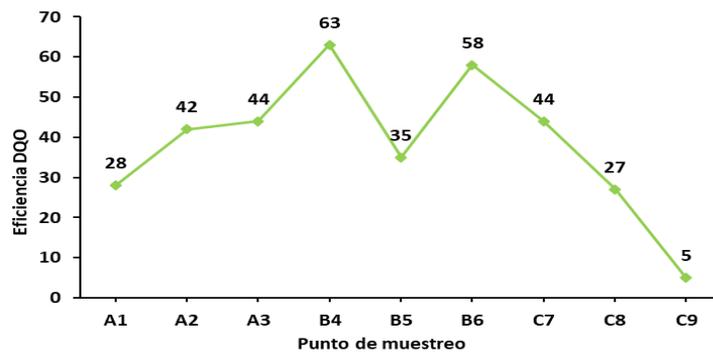


Figura 16. Resultado de la eficiencia de remoción para los análisis de DQO en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

4.3.4. Relación entre parámetros

Tabla 22. Relación entre los parámetros de pH y DBO₅ en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Puntos de muestreo	Relación	
	pH	DBO
A ₁	6,71	65,40
A ₂	6,63	59,03
A ₃	6,75	56,30
B ₄	6,88	58,93
B ₅	6,92	47,73
B ₆	6,94	46,50
C ₇	7,10	46,37
C ₈	6,89	45,87
C ₉	6,89	35,73

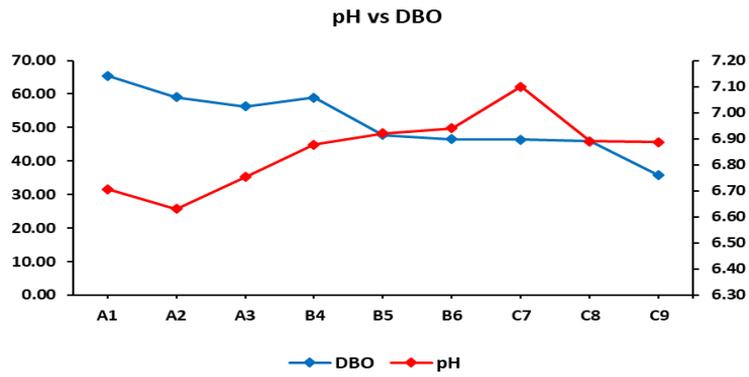


Figura 17. Relación entre los parámetros de pH y DBO₅ en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Tabla 23. Relación entre los parámetros de pH y DQO en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

Puntos de muestreo	Relación	
	pH	DQO
A ₁	6,71	281,67
A ₂	6,63	314,33
A ₃	6,75	363,00
B ₄	6,88	383,33
B ₅	6,92	341,00
B ₆	6,94	358,33
C ₇	7,10	301,00
C ₈	6,89	293,00
C ₉	6,89	378,00

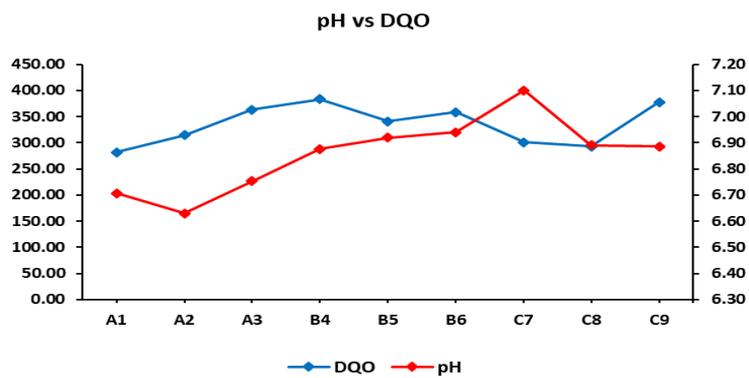


Figura 18. Relación entre los parámetros de pH y DQO en las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”.

V. DISCUSIÓN

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son influenciadas notoriamente por la temperatura, esta se relaciona con la radiación solar y afecta tanto a la velocidad de la fotosíntesis como el metabolismo de las bacterias responsables de la remoción de la materia orgánica, retardándolos por las bajas temperaturas (Correa, 2008), sin embargo, la temperatura del efluente de las lagunas varía desde 17,4° C a 27,9° C; encontrándose dentro del rango establecido para las aguas residuales cruda en regiones cálidas (13° C a 30° C) (Rodier, 1981 & MINAM, 2015).

El valor máximo registrado en el efluente de las lagunas de estabilización es de 1 458 mg L⁻¹, este valor es significativamente menor a los valores señalados por MINAM (2010) y MINAM (2015) para aguas con tratamiento convencional (1 000 mg L⁻¹), sin embargo, para Colombia las aguas buenas no superan los 500 mg L⁻¹ (Sánchez & Matsumoto, 2012), lo que nos permite mencionar que la calidad del agua de las lagunas se encuentra dentro del rango límite establecido por la normativa peruana, pero que no debería ser considerada como óptima, esto debido a la basura que se encuentra al inicio del sistema (cámara de rejillas), lo que podría provocar que las aguas de las lagunas puedan contaminarse y ser consideradas como malas.

El pH en las aguas residuales crudas suele encontrarse entre 6,4 - 7,1 (Madera et al., 2011), sin embargo, Metcalf y Eddy (2003) indican que el agua residual típicamente tiene pH de 6 - 9, mientras que, las aguas residuales domésticas se encuentran entre 7,5 - 8,5 (Gill, 2005). El reporte máximo de la investigación fue de 8,05 encontrándose dentro del rango establecido MINAM (2015), y por los autores anteriormente mencionados, ya que cumplen con lo especificado para tratamiento biológico en el agua residual, sin embargo, niveles de pH < 8 indican fallas del proceso fotosintético para utilizar completamente el CO₂ producido Duran (2009).

A pesar de que estos valores de pH son normales en el funcionamiento de las lagunas, su uso directo representa un riesgo para las plantas y los sistemas de riego, ya que a altos valores de pH algunos compuestos se pueden tornar tóxicos o insolubles, y precipitarse en tuberías perdiendo capacidad de carga (Duran, 2009). Como solución a este problema se puede instalar filtros en el sitio donde se vaya a descargar y almacenar el efluente de las lagunas para retener cualquier tipo de contaminante (Caicedo, 2007).

Se estima que para valores de pH superiores a 7,8 la actividad metanógena comienza a presentar problemas, y que por debajo de 7,2 se detiene completamente, cuando esto ocurre se liberan ácidos orgánicos que pueden tener olores desagradables, ácido sulfhídrico, mercaptanos o escatol, que son los responsables principales de los olores que indican funcionamientos deficientes en las lagunas anaerobias (MOPT, 1991). De acuerdo con lo anterior, el mayor problema que presentan estas lagunas es el olor, que depende del pH y del proceso de óxido- reducción que allí se presentan.

El fósforo total en el efluente es de $0,91 \text{ mg L}^{-1}$, algunos autores reportan rango aceptable entre $0,1$ y 2 mg L^{-1} (Lazarova, 2005), sin embargo, el valor máximo para aguas superficiales en el Perú es de $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ (MINAN, 2015), lo que significa que las aguas residuales de las lagunas “Las Gaviotas” con tratamiento convencional, se encuentran contaminadas y esto se ve reflejado a que en la cámara de rejillas del sistema se encuentra diferentes tipos de bolsas de detergentes y otros tipos de contaminantes.

Con respecto al nitrato, los valores del efluente en la mayoría de los muestreos se incrementa (valor máximo $0,908 \text{ mg L}^{-1}$), esto debido, al mal diseño que da lugar a dificultades en la operación y mantenimiento de los sistemas (CONAGUA, 2007), y que se ve reflejado en el olor y color de sus aguas, otros factores importantes es el uso de fertilizantes artificiales y la presencia de aves migratorias en el lugar, que depositan sus excrementos en la parte final de las lagunas (efluente), la cual contienen concentración alta de nitratos que es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados (Aguilar, 2001), provocando que el agua se vuelva tóxico dando como resultado impactos negativos significativos en los ecosistemas y afectar incluso la salud humana (Greenpeace, 2021).

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua, los valores normales varían entre los 7 y 8 mg L^{-1} (Romero, 2005), sin embargo, los resultados de OD obtenidos en el efluente varían de 5 a 16 mg L^{-1} , lo cual indica que este parámetro no cumple con los estándares de calidad, debido a la sobresaturación de algunas lagunas provocada por la actividad fotosintética de las algas, además que la concentración del oxígeno disuelto es dependiente de factores como: reoxigenación atmosférica, respiración animal y vegetal, demanda béntica, demanda bioquímica (Rolim, 2000).

Para los efluentes de PTAR con etapa de tratamiento final en las lagunas el LMP es de 200 mg L^{-1} (MINAM, 2010 & 2015), sin embargo, las lagunas de estabilización Las Gaviotas presentan como valor máximo 600 mg L^{-1} , sobrepasando el rango establecido. En España, la composición normal de las aguas residuales urbanas presenta una concentración entre 250 y 1000 mg L^{-1} (Gil, 2005), lo que significa que los valores presentes en esta investigación se encuentran muy por encima de las concentraciones mencionadas por la normativa peruana, esto debido a la baja biodegradabilidad de sustancias tóxicas, así como la ineficiencia sobre las descargas de los efectos de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Los resultados de DBO_5 en el efluente dan como valor máximo $140,4 \text{ mg L}^{-1}$, al respecto Marsillini (2003) menciona que cuando se trata de aguas residuales, deben tener valores que fluctúen entre los $200 - 300 \text{ mg L}^{-1}$, mientras que, Mejía (2006) indica que el rango debe ser de $20 - 100 \text{ mg L}^{-1}$ de DBO_5 , siendo clasificada como agua levemente contaminada. Por otro lado, Gill (2005) y MINAM (2010), menciona que la DBO_5 del agua residual debe de estar entre el rango entre $100 - 400 \text{ mg L}^{-1}$, lo que concuerda con los resultados de esta investigación y por lo establecido por MINAM (2015). Por lo tanto, el agua de las lagunas de estabilización Las Gaviotas, al encontrarse dentro del rango establecido por los autores anteriormente mencionados, se considera aceptable para usar en riego.

La relación de la biodegradabilidad del agua residual tratable por métodos biológicos presenta un rango de $0,3 - 0,8 \text{ mg L}^{-1}$ (Metcalf & Eddy, 2003) siendo $> 0,8 \text{ mg L}^{-1}$ muy biodegradable, $0,7 - 0,8$ biodegradable, $0,3 - 0,7$ poco biodegradable, mientras que, si es $< 0,3 \text{ mg L}^{-1}$ no es biodegradable e incluso podría presentar sustancias tóxicas (Cisterna, 1997). Con lo mencionado anteriormente, podemos deducir que los resultados obtenidos en la investigación son biodegradables, ya que el valor mínimo fue de $6,2 \text{ mg L}^{-1}$ superando el rango establecido por Metcalf & Eddy (2003), lo que resultaría posible que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos (Schönborn, 1986).

La eficiencia en el DBO_5 y la DQO, tuvieron promedios de 58 % y 38 % respectivamente, lo cual a lo indicado por la remoción esperada deben de estar en

rangos de 75 y 90 % (Vázquez, 2020), lo cual constatando con el promedio no se encuentra dentro del rango, mientras que, la eficiencia en SDT tuvo un promedio de 36,8 % y comparando a los indicados por Lettinga (1995) considera que la eficiencia de remoción se debe encontrar en 90 %, por lo que, el porcentaje de eficiencia no se encuentra dentro del rango establecido. Estos resultados tanto en DBO₅, DQO y SDT estarían asociados a la deficiencia tanto en la construcción, mantenimiento y manejo de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas”, ya que al excederse la DBO₅ y SDT quiere decir que los microorganismos encargados de la remoción de la materia orgánica no están trabajando como debería ser, y esto se debe al poco tiempo de retención hidráulico y al aumento del caudal.

La eficiencia de una laguna, medida como el grado de estabilización de la materia orgánica que entra, es dependiente no sólo de la cinética de los procesos biológicos, sino también, de las características hidráulicas del sistema (Correa, 2008). El comportamiento hidráulico y biológico de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” estaría afectado por algunos factores como temperatura, tiempo de retención y caudal, por presentar filtraciones en las pozas, colapso en el sistema y otros problemas que no son controlables por el hombre. Estos problemas que se manifiestan deberían haberse tomado en cuenta en el diseño del proyecto, para minimizar el impacto ambiental.

La DBO es uno de los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales, el crecimiento de la fauna y flora acuática se debe al consumo de oxígeno a través de procesos oxidativos de la materia orgánica, es por ello que nuestro ecosistema se altera por el cambio en la calidad de agua, incrementando el pH (Lecca & Lizama, 2014), con respecto a la relación entre pH vs DBO y pH vs DQO se puede visualizar que el pico más alto con respecto al pH es el punto C₇ con 7,10 (figura 17 y 18), haciendo que la DBO y la DQO disminuyan, esto debido por la falta de remoción y degradación del material orgánico producido por la disminución de la actividad fotosintética durante las primeras horas del día cuando se tomaron las muestras de agua residual, incrementando la concentración de dióxido de carbono producido por la respiración de todos los organismos traduciéndose en una ligera acidificación (Yabroudi *et al.*, 2010 & Jiménez *et al.*, 2012).

Las lagunas de estabilización son lugares de almacenamiento de aguas residuales (Quispe, 2013), con el objeto de mejorar sus características sanitarias en las que se

llevan procesos depuradores naturales altamente eficientes (Silva, 2004), sin embargo, las lagunas de estabilización Las Gaviotas no tienen un buen funcionamiento para lo que fueron construidos, debido al mal diseño físico, construcción y manejo (selección de terreno, dimensiones, topografía, taludes, revestimiento interior, profundidad de los bordes e interconexiones) (CONAGUA, 2007), viéndose reflejado en el incremento de nitratos, fosfatos porque conduce a la acumulación de sólidos orgánicos, que al desprenderse genera nitrógeno y fosforo (Aguilar, 2001) y que estaría también influenciado por la deposición de grandes cantidades de aves que llegan a las lagunas de estabilización provocando la poca eficiencia del sistema. Por lo que, se recomienda una nueva construcción que permita detectar posibles fallos e intentar mejorar la eficiencia (CONAGUA, 2007), así mismo, la incorporación de un humedal artificial en la parte final del sistema, debido a que aportan beneficios en el control de la calidad del agua, como la eliminación de contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Stearman, 2003), igualmente, realizar estudios microbiológicos para identificar bacterias coliformes presentes en el cuerpo de agua y a su vez realizar estudios de salud pública debido a que los patógenos pueden ser encontrados en el tracto intestinal de los agricultores o de sus animales (Romero & Vargas, 2017).

VI. CONCLUSIONES

✓ De la evaluación de los sistemas de la laguna de estabilización, se concluye que está funcionando deficientemente ya que esta ha cumplido su vida útil y falta de mantenimiento por lo que se viene presentando filtraciones y colapso de sistema de la laguna de estabilización.

✓ Los parámetros que se han evaluado son: OD (mg L), T(°C), pH(und), DBO₅ (mg L), DQO (mg L), SDT (mg L), NO₂ (mg L) y Fosforo (mg L), y no presentan tendencias homogéneas con respecto al estudio realizado, esto debido probablemente a la variación climática y a diversos factores (mal diseño, falta de mantenimiento, etc) que se presenta en la zona de estudio.

✓ Al comparar los valores determinados en el efluente con los LMP (límites máximos permisibles) establecidos en el D.S. N° 003-2015-MINAM, se incluye que el nivel de contaminación en algunos parámetros (OD, PO₄, DQO y eficiencia de DBO₅ y SDT) es significativamente alto, contaminando y afectando de este modo a la vida acuática existente en los cuerpos de agua cercanos a las lagunas.

✓ Las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” presentan alto índice de biodegradabilidad, con respecto a la relación entre DQO/DBO₅.

✓ Las lagunas de estabilización Las Gaviotas no son consideradas eficientes, esto debido a la deficiencia tanto en la construcción, mantenimiento y manejo del sistema.

VII. RECOMENDACIONES

Es fundamental realizar una nueva construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para mejorar no solo la calidad de vida sino también para minimizar el impacto ambiental.

La construcción de un humedal artificial en la parte final del sistema, ya que estos aportan muchos beneficios en el control de la calidad del agua de las lagunas de estabilización, como la retención de contaminantes en los efluentes de las lagunas.

Realizar estudios microbiológicos de dichas lagunas, como *E. coli*, coliformes, estreptococos fecales, enterococos, etc.

Realizar estudios de salud pública en los agricultores de la zona que riegan con está agua, de esta manera poder vislumbrar el problema real del riego con agua residual sin tratar.

Las autoridades deben de velar para que todas las instituciones públicas y privadas, cumplan la legislación y normatividad ambiental vigente como son los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento, minimizando el daño y efecto que estas aguas tienen en el medio ambiente, en los cuerpos receptores y en la salud de las poblaciones aledañas.

Es necesario plantear una adecuación y/o mejoramiento del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales que permita ser más eficiente, contrarrestar los impactos negativos en el ambiente generados por el inadecuado funcionamiento de la laguna de estabilización, disminuir los registros de oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M (2001). Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba. México. 27p.
- Alanoca, F (2008). Evaluación de la eficiencia operacional mediante las características físico-químicas y biológicas de los afluentes y efluentes de las lagunas de estabilización en llave. Puno, Perú.
- Amahmid, O; Asmama, S & Bouhoum, K (2002). Urban Wastewater Treatment in Stabilization Ponds: Ocurrente and Removal of Pathogens. Marruecos. (4):255-262p.
- APHA (American Public Health Association) (1992). Standard Methods. For the Examination of Waterand Wastewater. 1.134p
- Cabrera, E; Hernández, L; Gómez, H & Cañizares, Ma. Del Pilar (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. Revista de la Sociedad Química de México. Ciudad de México. 47 (1): 7p.
- Caicedo, J. (2007). Uso de lagunas de lenteja de agua para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Seminario Internacional Fundamentos y Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales.
- Cárdenas, G & Sánchez, I (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. Revista Universidad y salud. 15 (1): 72 - 88p.
- Cisterna, P (1997). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. Universidad de Oviedo. 18p.
- CONAGUA (2007). Diseños de lagunas de estabilización. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México. 244p.
- Cóndor, E & Gutiérrez, E (2017). Tratamiento del efluente de una PTAR mediante el proceso de sonicación – electrocoagulación. Lima, Perú.

- Correa, R (2008). Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia.
- Correa, G; Cuervo, H; Mejía, R & Aguirre, N (2012). Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia.7 (2): 36 - 51p.
- Crites, R & Tchobanoglous, G (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá, Colombia.
- Chalen-Medina; Peñafiel-Pazmiño & Saltos-Sánchez (2017). Eliminación de la materia orgánica e inorgánica presentes en el agua residual de una industria de pulpa de fruta empleando un catalizador enzimático. Guayaquil, Ecuador. 3(3):362 – 376p.
- Chavez, I (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. Manabí, Ecuador. 3(1): 536 – 560p.
- Díaz de la Espina, E & Palacios, CI (2012). Olores en aguas residuales: ¿Cómo controlarlos de manera eficiente por el gestor? Empresa Municipal Aguas de Málaga (EMASA).
- DIGESA (2011). Evaluación de la Calidad Sanitaria de las Aguas del río Rímac y tributarios principales - año 2010. Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud y el Servicio de Agua Potable y el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL). Lima. 72p.
- Duran, Z (2009). Evaluación del desempeño de un conjunto de lagunas para el tratamiento de las aguas de riego provenientes del canal Tibanica. Bogotá, Colombia.
- EPSEL S.A.C (2010). Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Lambayeque. Chiclayo, Perú. 34p.
- Espinosa-Rodríguez, M. A.; Flores-Álamo, N.; Esparza-Soto, M.; Fall, C (2012). Efecto de la temperatura en la tasa de crecimiento y decaimiento heterotrófico en el rango de 20-32° c en un proceso de lodos activados. Revista Mexicana de Ingeniería

Química. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa Distrito Federal, México. 11 (2): 309 – 321p.

Febles-Patrón, J & Hoogesteijn, A (2010). Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Mérida, México. 14 (2): 127 - 137p.

Fuentes, R; Ramos, J; Jiménez, M & Esparza, M. 2015. Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3d. Toluca, Mexico. 31(3): 253 – 264p.

Gil, M (2005). Proceso de descontaminación de aguas. Cálculos avanzados informatizados. España. 560p.

Guevara, V (1996). Propuesta metodológica evaluación de lagunas de estabilización primera aproximación. OPS/C.E.P.I.S. Lima – Perú.

Greenpeace (2021). Que son os nitratos y como afecta al medio ambiente y a la salud humana. Contaminación del agua por nitratos. España. 9p.

Jarquín, GF (2003). Evaluación Operacional De Las Lagunas De Estabilización. León, Nicaragua.

Jiménez, Y, Valdés, L, Marrero, M, Pérez, Y, Vidal, V & Negrín, A (2012). Caracterización del efluente de origen pecuario generado en una planta de tratamiento por digestión anaerobia para su posible uso como fertirriego. Revista Computarizada de Producción Porcina. 19(3):206-209p.

Kayombo, S; Mbwette, T; Mayo, A; Katima, J & Orgensen, S (2002). Diurnal Cycles of Variation of Physical-Chemical Parameters in Waste Stabilization Ponds. Revista Ecological Engineering. (18):287- 291p.

Llagas, W & Guadalupe, E (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Lima, Perú. 9(17).

- Lahera, V (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Toluca, México. 12 (2): 58 - 69p.
- Lazarova, V (2005). Lenntech Salinity Risk. Water Reuse for irrigation: agriculture, landscapes and turf grass.
- Lecca, E & Lizama, E (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 71-80p.
- Lettinga, G (1995). Treatment on raw sewage under tropical conditions. Tecnología de reactores anaerobios. Santiago de Cali, Colombia. 300p.
- López, I; Vásquez, J & Álvarez, V.P (2016). Remoción biológica de nutrientes en aguas residuales urbanas con fotobiorreactores utilizando microalgas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Estado de México, México. 17: 3569 – 3580p.
- Madera, C; Silva, J & Peña, M (2011). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico – filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. Revista ingeniería y competitividad. 71 p.
- Marsillini, A. 2003. Tratamiento de aguas residuales. Tierramor. Alianza colaborativa al servicio de la vida.
- Matsumoto, T & Sánchez, I (2016). Desempeño de las lagunas anaerobia con bafle divisor y facultativa de la PTAR de Santa Fe do Sul. Revista Ingenierías Universidad Medellín. São Paulo, Brasil. 15 (29): 27- 42p.
- Mayarí, R; Espinosa, Ma & Gutiérrez, J (2005). Validación de La Determinación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales. La Habana, Cuba.
- Metcalf & Eddy (1991). Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Editorial labor S.A.
- Metcalf & Eddy (1996). Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido Y Reutilización. McGraw –Hill / Interamericana Editores. México. 3 (2):1010p.

- Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. U.S.A.
- Mejía, R (2006). Análisis de la dinámica de transformación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales del municipio de la Ceja. Medellín, Colombia.170-178p.
- Miguel-Fernández, C; Vázquez-Taset, Y (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Holguín, Cuba. 22(3): 1-10p.
- MINAM & ANA (2016). Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de aguas residuales. Perú. 107p.
- MINAM (2010). Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Perú. 2p.
- MINAM (2015). Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. Perú. 7p.
- Municipalidad Distrital de Nuevo Chimbote (2017). Mejoramiento y ampliación del sistema de almacenamiento de agua cruda para la planta de tratamiento de agua potable. Nuevo Chimbote, Perú. 54p.
- MPT (Municipalidad Provincial de Trujillo) (2002). Atlas ambiental de la ciudad de Trujillo. Municipalidad distrital de Trujillo. Trujillo, Perú. 80 - 81p.
- Noyola, A (2003). Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica. Cartagena, Colombia.
- OEFA (2014). Fiscalización ambiental de aguas residuales. Lima, Perú. 42p.
- Pérez, J., López, T., Hernández, G & Gonzáles, F (2009). Modelo matemático para determinar la calidad del agua en dos puntos del arroyo Guachinango. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. La Habana, Cuba. 18 (3): 19 - 23p.
- PNUMA (2000). América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente. GEO-ALC del PNUMA (Oficina Regional para América Latina y el Caribe), Costa Rica. 144p.

- Quispe, J (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante lagunas de estabilización – Azángaro. Puno, Perú.
- Ramalho, RS (2003). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona, España.
- Reynolds, K; MSPH & Ph-D (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Agua Latinoamérica. American Society for Microbiology and Water Quality Association. EEUU
- Rodier, J (1981). Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 9 (4): 143 - 150p.
- Rolim, M.S (2000). Sistemas de Lagunas de Estabilización. Editorial Mcgrawhill interamericana, Santa Fe Bogotá – Colombia.
- Romero, R.J (2001). Tratamiento de Aguas residuales por Lagunas de Estabilización. Tercera edición.
- Romero, J (2005). Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 108-121p.
- Romero, J & Vargas, D (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Ingeniería hidráulica y ambiental. Habana, Cuba. 38 (3):88 – 100p.
- Ruiz, I (2001). Tratamiento de Aguas residuales. Granada - España.
- Schönborn, W (1986). Biotechnology: Microbial Degraadation. Weinheim, Germany. (8): 20p.
- Saenz, F (1985). Lagunas de Estabilización y Otros Sistemas Simplificados para el Tratamiento de aguas Residuales.
- Sánchez, I & Matsumoto, T (2012). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Barranquilla, Colombia. 30 (2): 199 - 222p.

- Sánchez, I & Matsumoto, T (2013). Estudio de batimetría y eficiencia de un sistema de lagunas de estabilización. *Revista de Ciencias Agrícolas*. São Paulo, Brasil. 30 (1): 65 - 78p.
- Satalaya, K (2015). Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza. Tingo María, Perú. 110p.
- SEDAPAL (2014). Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima. Lima, Perú. 56p.
- Sierra, R (2011). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Medellín, Colombia.
- Silva, J (2004). Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura. Repositorio institucional PIRHUA, Perú.
- Seoanez, M (1999). Aguas residuales. Tratamiento por humedales artificiales. Madrid, España, 336p.
- SUNASS (2008). Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución. Lima, Perú. 80p.
- Stearman, G (2003). Pesticide removal from container nursery runoff in constructed wetland cells. (32): 1548-1556p.
- Tilley, E; Ulrich, L; Lüthi, C; Reymond, P; Schertenleib, R & Zurbrügg, C (2018). Tecnologías de sanamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales. México.
- Torres-Avalos, G & Lozano-González, E (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación Ra Ximhai. Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México. 13(3): 393 - 404 p.
- UNESCO (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo. Colombella, Perusa, Italia. 12p.
- UNESCO (2017). Aguas Residuales. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos. París, Francia. 187p.
- Vázquez, F (2020). Lagunas de estabilización. Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica. 3:16p.

- Vilaseca, M. 2015. Eliminación de color de las aguas residuales procedentes de la tintura con colorantes reactivos. España. 272p.
- Villanueva, M & Avila, J (2019). Análisis de calidad del agua (turbiedad y color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia. Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C.
- Wilderer, P, Rubio, M, & Davids, L (1991). Impacto of the addition of pure cultures on the performance of mixed. *Water Resources*. 11(25):1307-1313p.
- Yabroudi, S, Perruolo, T, Cárdenas, C, García, M, Gutiérrez, A & Trujillo, A (2010). Remoción de microorganismos y materia orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Cabimas. *Boletín Del Centro De Investigaciones Biológicas Venezuela*, 44(3): 331-352p.
- Zurita-Martínez, F; Castellanos-Hernández, O & Rodríguez-Sahagún, A (2011). El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Estado de México, México. (1): 139 – 150p.

IX. ANEXOS



Anexo 1. Temperatura y ph de las muestras de agua.



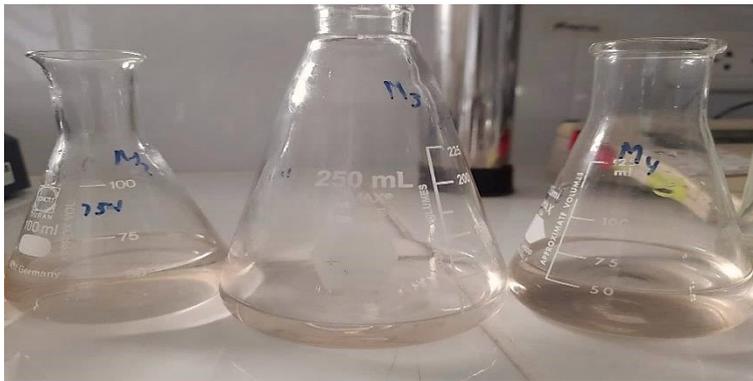
Anexo 2. Laguna de estabilización Las Gaviotas de Nuevo Chimbote.



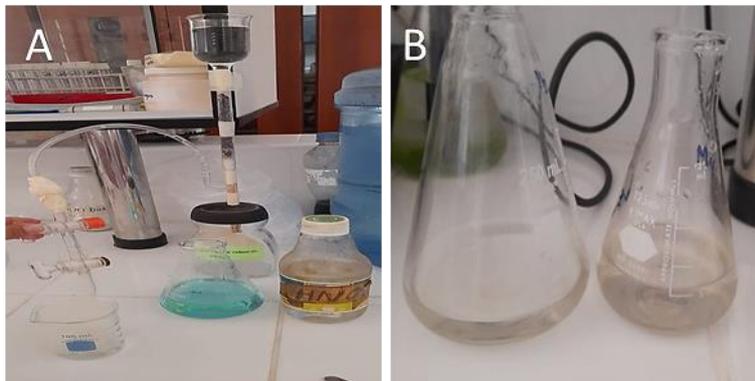
Anexo 3. Solidos disueltos totales de las muestras de agua.



Anexo 4. Análisis de fosfatos en las muestras de agua.



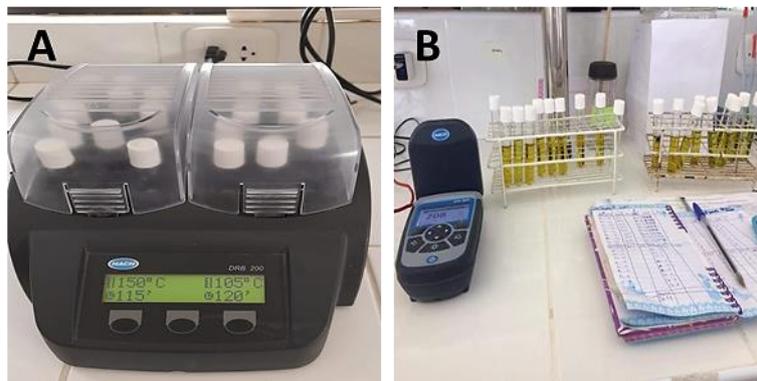
Anexo 5. Análisis de nitritos en las muestras de agua.



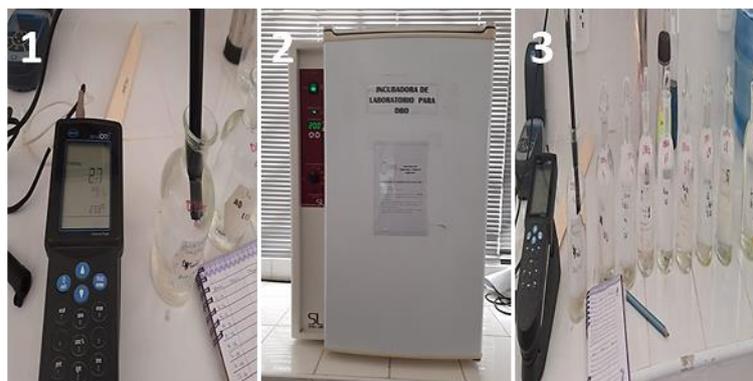
Anexo 6. A) Lavado de la columna de reducción Cd-Cu con sulfato de cobre y ácido nítrico, B) Resultado del análisis de nitrato.



Anexo 7. Procedimiento para el análisis de oxígeno disuelto de las muestras de agua.



Anexo 8. A) Muestras en el digestor a 105° x 120 min y B) Análisis de DQO en el fotómetro.



Anexo 9. Procedimiento para realizar la DBO₅, 1) Medir Oxígeno inicial, 2) Incubar 20° C y 3) Medir Oxígeno final.



Anexo 10. Finalización del muestreo en campo.



DECLARACIÓN JURADA DE AUDITORIA

Yo, Chabely Moreno Cruz con DNI N° 70133425 egresada de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Académica Profesional de Biología en acuicultura de la Universidad Nacional de Santa.

Declaro, que el trabajo de investigación intitulado: Evaluación y eficiencia de la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” – Nuevo Chimbote (Ancash, Perú), para la obtención del Grado académico de Título profesional que:

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 24 de febrero 2023.

Chabely Moreno Cruz
DNI N°70133425

NOTA: Esta Declaración Jurada Simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, esta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.



ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Luis Torres Cabrera con DNI N° 26690133 de la Facultad de Ciencias, de la Escuela Académica Profesional de Biología en acuicultura de la Universidad Nacional de Santa. Asesor / Unidad de investigación revisora del trabajo de investigación intitulado: Evaluación y eficiencia de la calidad del agua de las lagunas de estabilización “Las Gaviotas” – Nuevo Chimbote (Ancash, Perú), de la egresada: Chabely Moreno Cruz de la escuela académico profesional de Biología de Acuicultura

Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud del ... el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin adjunto.

Quién suscribe la presente, declaro haber abalizado dicho reporte y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 24 de febrero 2023.

Dr. Luis Torres Cabrera
DNI N°26690133

NOTA: Esta Declaración Jurada Simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, esta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.