



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL  
DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

**JULIACA – PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL  
DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

:   
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**ASESOR DE TESIS**

:   
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** : SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1079-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 16 de septiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU-7960 presentado por el (la) Bachiller: **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- \* **1er Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- \* **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**ARTICULO SEGUNDO.** - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

**ARTICULO TERCERO .** - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : jueves 25 de septiembre del 2025
- \* **HORA** : 09:30 horas
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



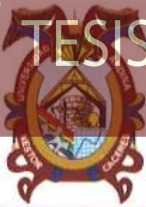
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

*[Signature]*  
O. OSCAR V. VIAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

*[Signature]*  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 942-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 29 de agosto del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 6412, presentado por el señor (a) **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 841-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 578-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 841-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 578-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACION**, designado al señor (a): **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**, se le asigna como:

**ASESOR:** Mgtr. **SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente Mgtr. **SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



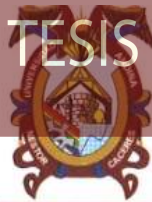
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

*[Signature]*  
Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32770



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"  
DIRECTOR  
*[Signature]*  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
CIP. 12345  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2025  
Interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 578-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 02 de julio del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 3078 por el señor (a): **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 364 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 014 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 014 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la), Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
C.P. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fria Villy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 841-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 20 de agosto del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU-5877, presentado el señor (a) **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 385 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 104-2024 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 104-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
  
Dr. Edwin Perillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:  
Archivo 2024  
Interesado (a)



## EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	4%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="https://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	Pacori Pacori, Jose. "Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales y propuesta de solución en la localidad de Pucara - 2023", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1%
6	<a href="https://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%



### Metadatos complementarios

<b>Título de la Tesis</b>	
<b>EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70155954
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0007-8197-960X">https://orcid.org/0009-0007-8197-960X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02383061
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0008-8660-8733">https://orcid.org/0009-0008-8660-8733</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821

<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Saneamiento Ambiental – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p> <b>País:</b> Perú  <b>Departamento:</b> Puno  <b>Provincia:</b> Lampa  <b>Distrito:</b> Santa Lucia  <b>Coordenadas:</b>  <b>Latitud:</b> 15°24'27"S  <b>Longitud:</b> 70°07'37"O  <b>URL Maps:</b>  <a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1k5zR9sXRUQLeVcXill4wwVi-PhbC5ak&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1k5zR9sXRUQLeVcXill4wwVi-PhbC5ak&amp;usp=sharing</a> </p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 - Septiembre 2025
URL de disciplinas OCDE	<p><b>Ingeniería ambiental</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</a></p> <p><b>Ciencias del medio ambiente</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</a></p>
<p> <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a>-            Librería         </p>	



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 OFICINA DE INVESTIGACIÓN  
  
 Dr. Fritz Willy Mena Apaza  
 DIRECTOR  
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI, identificado con DNI  
Nro. 70155954, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

"INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL"

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:  
"EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024"

Asesorado por: Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 29 de SETIEMBRE del 2025

  
Firma del Asesor

  
Firma del Estudiante



Huella



### DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a mis más grandes pilares: mis padres, quienes han sido mi motor para seguir adelante. Gracias por haberme formado con amor, disciplina y valores, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Muchos de mis logros, incluyendo este, son fruto de su esfuerzo, apoyo incondicional y constante aliento. Su presencia a lo largo de mi formación ha sido fundamental; sin ustedes, no habría podido llegar hasta aquí.

A mis maestros universitarios que ejercieron su labor formadora al brindar su saber para moldear a los futuros profesionales.



### AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por estar siempre a mi lado, protegiéndome y guiándome a lo largo de mi carrera.

Asimismo, agradezco profundamente a mis padres, cuyo respaldo constante me ha permitido alcanzar cada uno de mis objetivos personales y académicos.

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, y a sus docentes, quienes con dedicación y vocación me compartieron sus conocimientos a lo largo de mi formación universitaria. A todos ellos, mi sincera gratitud, gracias por transformar conceptos en aprendizajes significativos.

Agradezco sinceramente a los miembros del jurado y a mi asesor de tesis por sus valiosas sugerencias y aportes, los cuales enriquecieron significativamente este trabajo. Sus observaciones y orientación fueron fundamentales para la culminación satisfactoria de este proyecto.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4.1. Justificación Practica .....	4
1.4.2. Justificación social.....	5
1.4.3. Justificación ambiental .....	5
1.4.4. Justificación Económica .....	6
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6



1.5.2. Hipótesis específicas .....	7
1.6. VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	8

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	9
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	12
2.1.3. Antecedentes regionales .....	15
2.2. BASES TEÓRICAS .....	18
2.2.1. Aguas residuales domesticas .....	18
2.2.2. Composición de las Aguas Residuales .....	20
2.2.3. Clasificación de las aguas residuales .....	23
2.2.4. Características de las Aguas Residuales .....	24
2.2.5. Tratamiento de aguas residuales .....	27
2.2.6. Lagunas facultativas .....	30
2.2.7. Disposición de las lagunas facultativas .....	33
2.2.8. Funcionamiento y estratificación de las lagunas facultativas ...	33
2.2.9. Parámetros de diseño de las lagunas facultativas .....	35
2.2.10. Eficiencia y limitaciones de las lagunas facultativas .....	37
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	40
2.3.1. Aguas residuales domesticas .....	40
2.3.2. Tratamiento de aguas residuales .....	40
2.3.3. Lagunas facultativas .....	40
2.3.4. Afluente .....	40



2.3.5. Efluente .....	40
2.3.6. Muestreo .....	41
2.3.7. Caudal .....	41
2.3.8. Eficiencia .....	41

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	42
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	42
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	42
3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN .....	43
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	43
3.5.1. Población.....	43
3.5.2. Muestra .....	43
3.6. MATERIALES Y EQUIPOS .....	44
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	45
3.7.1. Técnicas .....	45
3.7.2. Instrumentos.....	45
3.8. LUGAR DE ESTUDIO .....	46
3.9. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	48

### CAPÍTULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS.....	61
4.1.1. Proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	61



4.1.2. Concentración de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	69
4.1.3. Eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. ....	80
4.2. DISCUSIONES .....	102
CONCLUSIONES .....	106
RECOMENDACIONES .....	108
BIBLIOGRAFÍA .....	109
ANEXOS .....	113



### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables de la presente investigación.....	8
<b>Tabla 2</b> Principales constituyentes de las aguas residuales a reducir. ....	22
<b>Tabla 3</b> Límites máximos permisibles.....	23
<b>Tabla 4</b> Valores máximos admisibles. ....	24
<b>Tabla 5</b> Coordenadas del lugar de estudio - lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia. ....	47
<b>Tabla 6</b> Ubicación de los puntos de muestreo de aguas residuales en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.....	52
<b>Tabla 7</b> Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.....	59
<b>Tabla 8</b> Descripción general del sistema de tratamiento de las aguas residuales domesticas en el distrito de Santa Lucia.....	64
<b>Tabla 9</b> Proceso de tratamiento de las aguas residuales domesticas en las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.....	66
<b>Tabla 10</b> Condiciones operativas y deficiencias en el proceso de tratamiento de las aguas residuales domesticas en las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.....	68
<b>Tabla 11</b> Concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente en el sistema de las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.....	70
<b>Tabla 12</b> Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el tren superior de las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.....	81



<b>Tabla 13</b> Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el tren inferior de las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.....	83
<b>Tabla 14</b> Eficiencia de remoción del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el distrito de Santa Lucia.....	85
<b>Tabla 15</b> Comparación del efluente con los Límites Máximos Permisible del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.....	96
<b>Tabla 16</b> Prueba T para Muestras Apareadas, concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente en contraste con los LMP.....	98
<b>Tabla 17</b> Prueba T para Muestras Apareadas, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el afluente y efluente.....	100



### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Composición de las Aguas Residuales Domesticas. ....	21
<b>Figura 2</b> Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	28
<b>Figura 3</b> Procesos de agua residual.....	29
<b>Figura 4</b> Laguna facultativa para el tratamiento de aguas residuales. ....	31
<b>Figura 4</b> Configuración de las lagunas facultativas y de maduración.....	32
<b>Figura 6</b> Ubicación del proyecto de investigación, lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.....	48
<b>Figura 7</b> Sistema de conducción y pre tratamiento de las aguas residuales en la PTAR Santa Lucía.....	49
<b>Figura 8</b> Unidad de pre tratamiento (cribas gruesas y medianas) de las aguas residuales en la PTAR Santa Lucía.....	50
<b>Figura 9</b> Reunión y distribución de agua residual tratada en lagunas facultativas primarias y secundarias del distrito de Santa Lucía.	50
<b>Figura 10</b> Esquematación de los puntos de muestreo de las aguas residuales en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	53
<b>Figura 11</b> Visualización de la coloración del agua residual domestico en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía .....	54
<b>Figura 12</b> Diagrama esquemático y vista satelital del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lagunas facultativas en serie-paralelo en el distrito de Santa Lucía. ....	62



<b>Figura 13</b> Variación de las concentraciones del potencial de hidrógeno (pH) en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. .....	72
<b>Figura 14</b> Variación de las concentraciones de Sólidos Totales en Suspensión en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. .....	73
<b>Figura 15</b> Variación de las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	75
<b>Figura 16</b> Variación de las concentraciones de la Demanda Química de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	76
<b>Figura 17</b> Variación de las concentraciones de nitratos en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	78
<b>Figura 18</b> Variación de las concentraciones de los Coliformes Termotolerantes en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	79
<b>Figura 19</b> Eficiencia de remoción (%) de los sólidos totales en suspensión en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ...	87
<b>Figura 20</b> Eficiencia de remoción (%) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. .....	88
<b>Figura 21</b> Eficiencia de remoción (%) de la Demanda Química de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ...	90



<b>Figura 22</b> Eficiencia de remoción (%) de los nitratos en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.....	91
<b>Figura 23</b> Eficiencia de remoción (%) de los coliformes termotolerantes en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	93
<b>Figura 24</b> Eficiencia de remoción (%) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. ....	94



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo de evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, 2024. La metodología de investigación fue de tipo aplicada, con un diseño no experimental, nivel descriptivo y explicativo, y enfoque cuantitativo. El procedimiento incluyó el acopio de muestras de agua residual en seis puntos estratégicos del sistema (afluente, lagunas primarias y secundarias, y efluente final), con un volumen total de 6 litros. Los resultados mostraron que el sistema, compuesto por dos trenes de lagunas dispuestos en paralelo y en serie, logró reducir de forma significativa la carga contaminante del afluente. Las concentraciones iniciales en el afluente fueron: STS = 428.0 mg/L,  $\text{DBO}_5$  = 389.9 mg/L, DQO = 595.0 mg/L, nitratos = 13.2 mg/L y coliformes termotolerantes =  $2.4 \times 10^7$  NMP/100 mL. En el efluente final, se registraron: STS = 85 mg/L,  $\text{DBO}_5$  = 77.0 mg/L, DQO = 114.0 mg/L, nitratos = 6.8 mg/L y coliformes termotolerantes = 110 NMP/100 mL. Esto representa eficiencias de remoción del 80.1 % para STS, 80.3 % para  $\text{DBO}_5$ , 80.8 % para DQO, 48.5 % para nitratos y 99.9995 % para coliformes termotolerantes. Además, todos los parámetros evaluados en el efluente cumplieron con los LMP fijados por el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM, lo que evidencia la viabilidad técnica y ambiental del sistema. Se llegó a la conclusión que el sistema de lagunas facultativas de Santa Lucía es eficiente en la remoción de materia orgánica y carga bacteriana, favorecido por su diseño hidráulico en paralelo y en serie.

**Palabras claves:** Aguas residuales, lagunas facultativas, eficiencia de remoción, parámetros fisicoquímicos, normativa ambiental.



## ABSTRACT

The present research directed to evaluate the effectiveness of domestic effluent treatment in the elective lagoons of the Santa Lucia district, 2024. The research methodology was applying, with a non-experimental design, descriptive and explanatory level, and quantitative approach. The procedure included the collection of wastewater samples at six strategic points in the system (influent, primary and secondary lagoons, and final effluent), with a total volume of 6 liters. The results showed that the system, composed of two trains of lagoons arranged in parallel and in series, managed to significantly reduce the pollutant load of the influent. The initial concentrations in the influent were: TSS = 428.0 mg / L, BOD<sub>5</sub> = 389.9 mg / L, COD = 595.0 mg / L, nitrates = 13.2 mg / L and thermotolerant coliforms =  $2.4 \times 10^7$  MPN / 100 mL. In the final effluent, the following were recorded: TSS = 85 mg/L, BOD<sub>5</sub> = 77.0 mg/L, COD = 114.0 mg/L, nitrates = 6.8 mg/L and thermotolerant coliforms = 110 MPN/100 mL. This represents removal efficiencies of 80.1% for TSS, 80.3% for BOD<sub>5</sub>, 80.8% for COD, 48.5% for nitrates and 99.9995% for thermotolerant coliforms. Furthermore, all the parameters evaluated in the effluent complied from the LMP constituted by S.D. No. 003-2010-MINAM, which demonstrates the technical and environmental viability of the system. We concluded that the Santa Lucía facultative lagoon system is efficient in removing organic matter and bacterial load, favored by its parallel and series hydraulic design.

**Keywords:** Wastewater, facultative lagoons, removal efficiency, physicochemical parameters, environmental regulations.



## INTRODUCCIÓN

El tratamiento apropiado de las aguas residuales domésticas constituye una necesidad urgente en el contexto de la sostenibilidad ambiental y la salvaguardia del bienestar colectivo. En naciones con economías emergentes, como Perú, las deficiencias en los sistemas de tratamiento han generado impactos negativos en los cuerpos receptores, contribuyendo a la degradación de los ecosistemas acuáticos y al incremento de enfermedades hídricas (Gonzales & Paredes, 2023).

Las lagunas facultativas se han consolidado como una opción viable y de bajo costo para el tratamiento de aguas depuradas en zonas rurales y periurbanas debido a su simplicidad operativa, capacidad de depuración y baja demanda energética. Estos sistemas combinan procesos aeróbicos y anaeróbicos que permiten reducir eficientemente la carga orgánica y los microorganismos nocivos en las aguas contaminadas (Martínez, Peña, & Alarcón, 2021).

En el distrito de Santa Lucía, región Puno, la infraestructura de tratamiento de aguas depuradas está basada en lagunas facultativas, una tecnología adecuada para entornos rurales por su bajo costo y mantenimiento mínimo. No obstante, la eficiencia del sistema ha sido cuestionada por la comunidad local y autoridades sanitarias debido a signos visibles de contaminación y olores desagradables cerca del efluente final. Diversos estudios han evidenciado que factores como el diseño, mantenimiento y condiciones climáticas inciden significativamente en la eficiencia de este tipo de sistemas (Ramos & Huamán, 2024).



Por ello, este estudio busca evaluar el tratamiento de aguas depuradas domésticas en los estanques facultativos del distrito de Santa Lucía, identificando su eficiencia en la remoción de parámetros contaminantes clave como el pH, la DBO<sub>5</sub>, SST, nitratos y coliformes termotolerantes.

Este trabajo de investigación se encuentra estructurado en cinco capítulos. El **Capítulo I** aborda el planteamiento del problema, presentando el diagnóstico de la situación problemática, las preguntas de investigación, los objetivos, la justificación del estudio, hipótesis y variables de la investigación. El **Capítulo II** desarrolla el marco teórico, que comprende los antecedentes, las bases teóricas que sustentan el estudio y el marco conceptual. En el **Capítulo III** se expone la metodología de la investigación, detallando el tipo y enfoque del estudio, las técnicas e instrumentos aplicados, el lugar de estudio, la población y muestra, al igual que los métodos empleados en la recopilación y análisis de datos. El **Capítulo IV** presenta los resultados y su respectiva discusión, organizados según los objetivos específicos, mediante tablas y figuras acompañadas de su interpretación, contrastando los hallazgos con estudios previos. Finalmente, el **Capítulo V** expone las conclusiones a las que se arribó a partir del análisis realizado, así como las recomendaciones orientadas a optimizar el tratamiento de aguas grises y a guiar futuras investigaciones relacionadas.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

A nivel internacional, el tratamiento de aguas residuales domésticas representa uno de los principales desafíos para los países en desarrollo, donde alrededor del 48% de las aguas depuradas generadas carecen de tratamiento adecuado, lo que ocasiona efectos en el medio ambiente y amenazas a la salud colectiva (UNESCO, 2023). Las lagunas facultativas han sido promovidas por organismos como la OMS y el Banco Mundial como soluciones sostenibles en áreas rurales y periurbanas, debido a su bajo costo operativo y capacidad de adaptación a condiciones climáticas diversas. No obstante, su eficiencia depende directamente de un diseño técnico adecuado y una operación constante, aspectos que suelen descuidarse en muchas regiones del mundo (Espinosa, Méndez, & López, 2023).

En el contexto nacional, el Perú enfrenta serias limitaciones en el tratamiento de aguas depuradas: solo el 31.5% del total generado es procesado previo a su descarga en masas de agua (SUNASS, 2023). Dicha coyuntura presenta máxima criticidad en territorios altoandinos, donde los sistemas convencionales presentan dificultades operativas por el clima, el bajo presupuesto municipal y la limitada capacidad técnica de los operadores



locales. El Plan Nacional de Saneamiento 2022–2026 reconoce que las tecnologías naturales como las lagunas facultativas han sido infrautilizadas o mal gestionadas, pese a ser apropiadas para contextos rurales (MVCS, 2022).

En el departamento de Puno, la situación se agrava debido a las condiciones climáticas extremas, la altitud y la limitada cobertura de servicios de saneamiento. Estudios recientes han mostrado que más del 65% de los mecanismos de saneamiento instalados en la region operan por debajo de los niveles óptimos de eficiencia, principalmente por fallas en el diseño hidráulico, falta de mantenimiento y escaso monitoreo (Quispe & Mamani, Evaluación de sistemas de tratamiento en zonas altoandinas de Puno., 2024). Además, varios cuerpos de agua como el río Ramis y tributarios del lago Titicaca han registrado niveles elevados de contaminación por vertimientos domésticos sin tratar, afectando la biodiversidad acuática y la salud de comunidades locales (MINAM, 2023).

En el distrito de Santa Lucía, situado en la provincia de Lampa, existe un método de purificación de aguas depuradas que aprovecha lagunas facultativas que recibe las descargas domésticas del área urbana. Sin embargo, informes técnicos y observaciones preliminares señalan deficiencias en la remoción de contaminantes clave, tales como la  $DBO_5$ , SST y coli fecales. Estas condiciones indican un riesgo potencial para los cuerpos receptores y para la población que interactúa con el entorno (Municipalidad Distrital de Santa Lucía, 2023). La falta de monitoreo técnico, de personal especializado y de planes de operación y mantenimiento ha contribuido a la degradación progresiva del sistema, lo que pone en evidencia la necesidad urgente de evaluar su funcionamiento de manera técnica y objetiva.



## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia, 2024?

### 1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía?

¿Cuáles son las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía?

¿Cuál es la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente?

## 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia, 2024.

### 1.3.2. Objetivos específicos

Describir el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.

Determinar las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.



Determinar la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Justificación Practica**

La presente investigación tiene un enfoque práctico orientado a evaluar el funcionamiento real del sistema de lagunas facultativas en el distrito de Santa Lucía, lo cual permitirá identificar debilidades técnicas y operativas del proceso de tratamiento. Contar con información validada sobre la remoción de parámetros clave como la  $DBO_5$ , SST y coli termotolerantes permitirá a los operadores y autoridades sanitarias mejorar la operación, mantenimiento y monitoreo del sistema. Según Mendoza et al. (2022), muchas infraestructuras de tratamiento rural en el Perú no cumplen su función debido a la falta de evaluación técnica continua, lo que justifica la necesidad de estudios como el presente.

Además, el desarrollo de esta investigación servirá como referencia técnica local para futuras intervenciones de mejora o ampliación del sistema existente, así como para proyectos similares en zonas rurales de alta montaña. Vega-Morales et al. (2022) señalan que uno de los principales problemas en el uso de tecnologías naturales como las lagunas facultativas es la ausencia de evaluaciones sistemáticas de desempeño, lo que limita la toma de decisiones informadas en los gobiernos locales.



### 1.4.2. Justificación social

Desde el punto de vista social, esta investigación es pertinente porque busca impulsar al avance de la sanidad colectiva de los pobladores del distrito de Santa Lucía, al identificar si la depuración de aguas depuradas resulta efectiva para proteger las fuentes hídricas y su posible uso indirecto. Las aguas depuradas mal tratadas son un vector de enfermedades gastrointestinales, dermatológicas y parasitarias, especialmente en comunidades rurales (OMS, 2023).

Asimismo, el estudio promueve el derecho inalienable a recursos hídricos y sistemas de saneamiento seguros, garantizado en la Constitución peruana y respaldado por compromisos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Investigaciones recientes han demostrado que la efectividad operativa de la purificación del agua depuradas tiene una incidencia directa en la calidad de vida y en la reducción de brechas sanitarias en zonas vulnerables (Cisneros & Paredes, 2023).

### 1.4.3. Justificación ambiental

La investigación también tiene un fuerte componente ambiental, ya que permitirá conocer el impacto potencial del vertido del efluente tratado al medio natural, especialmente a cuerpos de agua que podrían ser empleados con fines agrícolas o recreativos. Según el MINAM (2023), muchos sistemas rurales de tratamiento en Perú no cumplen con los ECA, lo cual genera procesos de eutrofización, mortandad de peces y degradación de ecosistemas.

Al evaluar si las lagunas facultativas acatan las restricciones fijados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, se contribuye a la gestión ambiental responsable

y a la preservación de los recursos hídricos locales. Además, la información generada puede servir como insumo técnico para implementar medidas correctivas o complementarias que mitiguen la carga contaminante del efluente (Quispe & Mamani, 2024).

#### **1.4.4. Justificación Económica**

Bajo un enfoque económico, la investigación busca optimizar el uso de los recursos invertidos en la infraestructura de tratamiento. Muchas municipalidades rurales como la de Santa Lucía enfrentan limitaciones presupuestarias, por lo que es fundamental asegurar que los sistemas existentes operen eficientemente. Un sistema mal operado implica mayores costos por mantenimiento correctivo, sanciones ambientales o daños a la salud pública (SUNASS, 2023).

Por otro lado, si se comprueba la eficiencia del sistema o se identifican mejoras de bajo costo, se podría reducir el gasto futuro en nuevas infraestructuras, aprovechando lo existente con intervenciones puntuales. Esto es clave para zonas con baja recaudación tributaria, donde cada decisión técnica debe estar basada en análisis costo-beneficio y evidencia local (Arce, Vega-Morales, & López, 2022).

### **1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

La eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, es deficiente.



### 1.5.2. Hipótesis específicas

El proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, se realiza mediante una secuencia técnica que incluye el pretratamiento.

Las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, son significativas superando los LMP.

La eficiencia es moderada en el sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

### 1.6. VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN

#### Variable independiente

- Proceso de tratamiento de aguas residuales.

#### Variable dependiente

- Eficiencia del tratamiento de las lagunas facultativas

## 1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

*Operacionalización de variables de la presente investigación.*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumento / Técnica
<b>Variable Independiente</b>	Etapas del proceso	Pretratamiento. Laguna facultativa. Descarga.	Descriptiva	Ficha de observación / guía de campo
	Operación técnica	Continuidad del flujo. Presencia de residuos. Tiempos de retención.	Descriptiva	Registro técnico / observación directa
<b>Variable Dependiente</b>	Calidad del afluente y efluente	pH DBO <sub>5</sub> DQO SST Nitratos Coliformes termotolerantes	-- mg/L mg/L mg/L mg/L NMP/100 mL	Análisis de laboratorio (SM/APHA)
	Remoción de contaminantes	% de remoción de cada parámetro	Porcentaje (%)	Cálculo comparativo (afluente vs efluente)



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Cabrera et al. (2022) tuvieron el objetivo de evaluar la eficiencia de la depuración natural de aguas depuradas mediante lagunas de estabilización del sector Punta Carnero, determinando si el efluente es apropiado para riego agrícola. En cuanto a la metodología, el estudio fue de tipo aplicada, con diseño no experimental, empleando muestreo puntual de afluentes/efluentes, seguido de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio certificado, contrastando los hallazgos con la normativa ambiental ecuatoriana. Se adquirieron los siguientes hallazgos: el oxígeno disuelto en el efluente fue de 8.86 mg/L; coli fecales alcanzaron 62 900 NMP/100 mL; aceites y grasas presentaron un valor de 5.65 mg/L; y se detectó la presencia de mercurio (Hg) en 0.00141 mg/L. Estas cifras superaron los LMP para el reuso agrícola, especialmente en cultivos alimentarios. En conclusión, las lagunas de estabilización no cumplen con los parámetros mínimos para permitir el uso del efluente tratado en riego agrícola, por lo que se recomienda la puesta en práctica de adecuación técnica de los sistemas de gestión hídrica para satisfacer las especificaciones ambientales establecidos en Ecuador.



Por otro lado, Mendivelso y Tapiero (2023) tuvo como objetivo optimizar el diseño y operación de lagunas facultativas considerando variables locales como temperatura, densidad poblacional y carga orgánica. Metodológicamente, la investigación fue aplicada, de diseño cuantitativo no experimental, y consistió en recopilar datos de temperatura ambiental, caudales, características del agua depurada y parámetros operacionales para simular tiempos de retención hidráulica utilizando el modelo de McGarry & Pescod. Los resultados mostraron temperaturas superiores a 17 °C, las lagunas alcanzaban eficiencias de remoción superiores al 70% en DBO, mientras que, a temperaturas menores a 5 °C, la remoción era ineficiente e incluso negativa, comprometiendo el estado del efluente. Se identificó un tiempo de retención óptimo de 25 días para maximizar la remoción sin aumentar costos operativos. En conclusión, se evidenció que la eficiencia del tratamiento mediante lagunas facultativas depende fuertemente de factores climáticos y de diseño, por lo que su adaptación local es fundamental para garantizar la sostenibilidad del sistema.

Sin embargo, Fernández et al. (2023), se centraron en valorar el cumplimiento del efluente procesado en lagunas facultativas para su posible reúso de efluentes en cultivos. En la metodología se aplicaron muestreos periódicos en diferentes puntos del sistema de tratamiento para analizar indicadores físico-químicos (DBO, DQO, SST) y microbiológicos (col totales y fecales), comparando los valores obtenidos con normativas nacionales e internacionales. Los resultados obtenidos fueron: DBO<sub>5</sub> de 50 mg/L (afluente 100 mg/L), DQO 106 mg/L (afluente 225 mg/L), SST 35 mg/L (afluente 180 mg/L), coli totales  $1.2 \times 10^4$  NMP/100 mL (afluente  $2 \times 10^5$  NMP/100 mL) y



coli fecales  $3.6 \times 10^3$  NMP/100 mL (afluente  $1.8 \times 10^5$  NMP/100 mL). Las eficiencias fueron del 50 % para DBO<sub>5</sub>, 53 % para DQO, 81 % para SST, 94 % de remoción de col totales y 98 % de col fecales. En conclusión, el estudio confirmó que las lagunas facultativas bien operadas pueden ofrecer efluentes adecuados para usos agrícolas específicos, aportando soluciones sostenibles para la gestión del agua en zonas con estrés hídrico.

En cambio, Sánchez (2016), tuvo el objetivo de efectuar el diagnóstico del funcionamiento de la PTAR de São João de Iracema en la remoción de parámetros claves, en la metodología se realizó un diagnóstico de la planta de lagunas anaerobias-facultativas mediante monitoreo en tres estaciones, midiendo parámetros como DBO, DBO filtrada, DQO, SST, oxígeno disuelto, pH y coliformes. Los análisis de laboratorio mostraron sedimentos de lodos equivalentes al 1.4% y 6.6% del volumen en las lagunas anaerobia y facultativa; la eliminación promedio de DBO alcanzó 73.7%, cifra menor al 80% exigido por la normativa brasileña; el efluente final presentó una concentración media de coli fecales de  $9.55 \times 10^6$  NMP/100 mL, que superó el LMP de 1000/100mL. En conclusión, se recomendó incorporar un sistema de postratamiento para mejorar la eficiencia en materia orgánica y eliminación de coliformes, garantizando el cumplimiento de la normativa ambiental.

Sin embargo, Matsumoto (2013), tuvo el objetivo evaluar el desempeño de la PTAR compuesta por laguna anaerobia seguida de facultativa bajo distintas temporadas climáticas. En la metodología aplicaron un monitoreo durante tres periodos de tres meses cada uno, con muestreos del afluente y efluente en laboratorio para medir DBO, DQO, SST, coliformes y sólidos, además de estudios batimétricos para cuantificar lodo acumulado. Los



resultados de laboratorio mostraron una remoción media de  $DBO_5$  de 73.9 %, SST 49 %, sólidos fijos 70.7 %, sólidos volátiles 66.8 % y coliformes fecales reducidos en más de 2 log unidades, aunque con una concentración final de  $1.12 \times 10^7$  NMP/100 mL, muy superior al límite de 1 000 NMP/100 mL. El batimétrico reveló acumulación de lodos entre 1.3 % y 6.5 % en las lagunas, reduciendo tiempos de retención hidráulicos. En conclusión, esta PTAR alcanza remoción considerable de materia orgánica y sólidos, pero requiere limpieza de lodos y postratamiento (como lagunas de maduración) para cumplir la normativa brasileña

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Requena Maldonado (2023), planteó como objetivo principal determinar las amenazas al ecosistema generados por la operación ineficiente de los sistemas lagunares facultativos del distrito. La metodología fue de tipo aplicada, con diseño no experimental, fundamentado en el análisis de indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos ( $DBO_5$ , SST, coliformes) y en la evaluación de campo de impactos como vertimientos ilegales, proliferación de vectores y afectación del río Achamayo. Los resultados reportaron coliformes termotolerantes por encima de  $10^6$  NMP/100 mL, presencia de residuos sólidos en los alrededores, descarga directa de efluente al cauce natural y un índice de riesgo ambiental general del 72 %, clasificado como significativo. Se concluyó que las lagunas representan una amenaza ambiental y sanitaria directa, recomendándose una intervención urgente con medidas de saneamiento, control de vertimientos, implementación de barreras sanitarias y fortalecimiento institucional del municipio.



En cambio, Cruz Ortiz (2022), se estableció como objetivo evaluar la efectividad del sistema de laguna facultativa para cumplir con los estándares de vertimiento. Se aplicó una metodología aplicada, con diseño no experimental, recolectando seis muestras representativas del afluente y efluente, analizando  $DBO_5$ , SST, coliformes totales y pH mediante métodos estandarizados en el laboratorio de la Universidad de Huánuco. Los resultados del efluente arrojaron una reducción del 37.5 % en  $DBO_5$  (de 240 mg/L a 150 mg/L), una optimización del 30.2 % en SST (de 220 mg/L a 154 mg/L) y una merma del 65 % en coliformes totales (de  $8 \times 10^5$  NMP/100 mL a  $2.8 \times 10^5$  NMP/100 mL), con pH estable entre 7.2–7.8. Se concluyó que, aunque la laguna facultativa ofrece mejoras parciales, su eficiencia es insuficiente para cumplir los límites de vertimiento, por lo que se recomienda optimizar el tiempo de retención, limpieza de lodos y evaluar la adición de damper bacterianos o pretratamientos.

Por otro lado, Palacios Oblitas (2020), tuvo como objetivo identificar las causas que afectan el correcto desempeño de las lagunas de estabilización. Utilizó un diseño no experimental de tipo aplicado, realizando visitas técnicas para observación directa en campo y recolectando muestras de afluente y efluente para análisis físico-químicos y microbiológicos ( $DBO_5$ , SST y coliformes) en el laboratorio según los métodos del D.S. N° 003-2010-MINAM. Los hallazgos de laboratorio indicaron que las aguas sin tratar mostraron una  $DBO_5$  típica de descargas domésticas, mientras que en el efluente se hallaron temperaturas de 25 °C y pH dentro de los límites permisibles, pero con DQO de 262 mg/L,  $DBO_5$  de 104.8 mg/L y SST de 260 mg/L, todos significativamente por encima de los límites regulatorios. La eficiencia



calculada fue de solo 20.76 % para  $DBO_5$  y 23.56 % para SST, muy por debajo de los estándares deseados de 70-80 % y 90 % respectivamente. Además, se observó una remoción de coliformes termotolerantes estimada en menos del 50 %. Se determinó que la insuficiente duración de retención hidráulica, la colmatación por acumulación de lodos y la falta de limpieza constante son las principales causas de esta ineficacia, y se recomendó implementar un tren de la etapa inicial de tratamiento: rejillas de desbaste, trampa de arenas y canaleta Parshall, limpieza estructural, y capacitación del personal para mejorar los procesos y cumplir la normativa nacional.

En cambio, Ccallohuanca et al. (2019), se fijo como objetivo diseñar y evaluar el sistema de lagunas como solución para tratar los vertimientos domésticos. La metodología fue de tipo aplicada con diseño de pre-post implementación, realizando análisis previos y posteriores en laboratorio de parámetros básicos ( $DBO_5$ , DQO, SST y coliformes). Se encontró que, tras la puesta en marcha, la  $DBO_5$  pasó de 320 mg/L a 120 mg/L (reducción del 62.5 %), la DQO de 600 mg/L a 240 mg/L (60 %), SST de 400 mg/L a 160 mg/L (60 %) y coliformes de  $1 \times 10^7$  a  $2 \times 10^5$  NMP/100 mL (reducción del 98 %). En conclusión, el sistema de lagunas manifestó ser eficiente como mecanismo de tratamiento primario y secundario, logrando mejoras significativas en la calidad del efluente, siendo recomendable para replicación en distritos con condiciones similares.

Sin embargo, Saavedra Castillo (2017), evaluó la eficiencia del filtro de macrofitas flotantes (FMF) comparándolo con el sistema convencional. Los ensayos de laboratorio se realizaron durante seis meses (junio–noviembre de 2016) mediante muestras de entrada y salida de la laguna secundaria,

analizando  $\text{DBO}_5$ , SST, pH, coliformes totales, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales según normas APHA y estándares del MINAM. Los resultados fueron los siguientes: el sistema con FMF redujo la  $\text{DBO}_5$  desde 230 mg/L hasta 80 mg/L (65 % de remoción frente al 45 % del sistema convencional: 230  $\rightarrow$  126 mg/L), los SST descendieron de 300 mg/L a 126 mg/L (58 % vs. 40 % sin FMF), los coliformes totales disminuyeron de  $1.2 \times 10^6$  a  $3.0 \times 10^5$  NMP/100 mL (75 % de remoción, frente al 50 % del sistema sin macrofitas), y la conductividad eléctrica se redujo de un promedio de 515 a 478  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras los SDT pasaron de 206 a 201 mg/L tras el tratamiento con FMF. Además, el pH se mantuvo estable entre 7.5–8.4 y la temperatura en torno a 25 °C. Estos resultados demuestran que el FMF mejora las capacidades depuradoras del sistema, especialmente en la erradicación de materia orgánica, sólidos y patógenos, aportando beneficios tanto ambientales como operativos.

### 2.1.3. Antecedentes regionales

Dávila Hanco (2024), se planteó como objetivo evaluar la eficiencia del sistema de laguna de oxidación en el tratamiento de aguas depuradas en base a los LMP adheridos en el D.S. N° 003-2010-MINAM. La metodología fue de tipo aplicada, con diseño no experimental, realizando dos monitoreos en campo mediante la recolección de 3.5 L de muestras de afluente y efluente, las cuales fueron analizadas en laboratorio acreditado (LACUAMEQ E.I.R.L.) aplicando técnicas estandarizadas para pH, temperatura,  $\text{DBO}_5$ , DQO, aceites y grasas, SST y col termotolerantes. Los hallazgos mostraron que en el afluente se registraron cifras de 598.5 mg/L de  $\text{DBO}_5$ , 1 152 mg/L de DQO, 21.3 mg/L de aceites y grasas, 485 mg/L de SST y  $2.4 \times 10^7$  NMP/100 mL de



coli, en tanto que en el efluente los valores fueron 604.8 mg/L, 1 352 mg/L, 20.5 mg/L, 277 mg/L y  $1.1 \times 10^6$  NMP/100 mL respectivamente. Las eficiencias de remoción fueron negativas o bajas: -9.85 % en  $DBO_5$ , -51.52 % en DQO, 3.8 % en aceites y grasas, 42.9 % en SST y 95.4 % en coliformes termotolerantes. Se concluyó que la laguna de oxidación presenta una eficiencia deficiente para remover carga contaminante orgánica, siendo necesario implementar mejoras estructurales, operativas y de mantenimiento.

En cambio, Condori Mamani (2022), tuvo como objetivo general establecer la efectividad en la eliminación de parámetros físico-químicos y microbiológicos en dos lagunas facultativas. La metodología fue aplicada, con diseño no experimental, recolectándose muestras de afluente y efluente de ambas lagunas, y analizando en laboratorio  $DBO_5$ , DQO, aceites y grasas, sólidos totales y col termotolerantes conforme al D.S. N° 003-2010-MINAM. Los resultados indicaron que en la laguna 1 la remoción de  $DBO_5$  fue de 58.3 %, DQO 82.95 %, mientras que aceites, grasas, coliformes y SST no presentaron remoción significativa; en la laguna 2 la  $DBO_5$  se redujo solo en 47.57 % y los demás parámetros no mostraron eficiencias detectables. Se concluyó que ambas lagunas tienen deficiencias en mantenimiento y operatividad, existiendo riesgo sanitario elevado, por lo que se recomienda implementar operativos de mantenimiento, reconsiderar el diseño hidráulico y fortalecer protocolos de monitoreo y control.

Por otro lado, Quispe Humpire (2013), tuvo como objetivo formular y aplicar una metodología para evaluar la eficacia operacional y de remoción de parámetros críticos en lagunas facultativas. La metodología fue aplicada, con diseño no experimental, usando diagnóstico de sistemas, memoria viva de los



datos recolectados: cómo el ritmo de muestreo y su estudio comparativo con los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM, y se aplicó triangulación para validar resultados. En laboratorio, se midió que el sistema removía el 37.04 % de  $\text{DBO}_5$  (de 300 a 189 mg/L), 34.06 % de DQO (de 620 a 409 mg/L), 54.04 % de aceites y grasas, 46.41 % de SST, 69.44 % de col totales y 63.59 % de fecales. Se concluyó que, aunque operan dentro de la carga superficial adecuada (243.8 kg  $\text{DBO}_5/\text{ha}\cdot\text{d}$ ), la profundidad útil reducida y las ineficiencias hidráulicas impiden alcanzar eficiencias superiores; se recomendó rediseño, mantenimiento y monitoreo constante.

Asimismo, Pacori (2023), buscó comprender qué tan bien funciona la PTAR y explorar una solución tecnológica mejorada. Trabajamos con datos concretos: analizamos 24 muestras de agua tomadas en temporadas secas y lluviosas, tanto al entrar como al salir de la planta, para tener una visión completa de su desempeño. Nuestro enfoque cuantitativo nos permitió medir con precisión lo que ocurre en cada etapa del proceso. Los análisis del agua tratada revelaron valores preocupantes: la contaminación orgánica ( $\text{DBO}_5$  de 194.4 mg/l y DQO de 414.2 mg/l) y bacterias coliformes superaron los límites permitidos, aunque los sólidos suspendidos (SST) y el pH sí cumplieron. Frente a esto, diseñamos una solución adaptada a la zona: un sistema MBBR que, según nuestros cálculos, necesita remover el 76.35% de la carga contaminante. Los números no mienten: las pruebas estadísticas ( $t=-2.41$ ) confirmaron que, aunque la planta reduce la contaminación (los efluentes son mejores que los afluentes), sus lagunas anaerobias y facultativas presentan fallas. Nuestra propuesta aerobia sí garantiza agua dentro de los estándares legales.



En cambio, Fernández (2020) se propuso el objetivo evaluar la efectividad de los sistemas de tratamiento existentes y proponer alternativas para alcanzar los LMP. La metodología fue de tipo aplicada con diseño no experimental y enfoque cuantitativo; se realizaron mediciones de caudal, recolección de muestras de afluente y efluente. En laboratorio, se identificó que la laguna primaria presentaba  $DBO_5$  de 180 mg/L, DQO de 420 mg/L y SST de 160 mg/L, mientras que el efluente continuaba excediendo los LMP, con  $DBO_5$  de 76 mg/L (remoción del 58 %), DQO de 175 mg/L (58 % de remoción) y SST de 72 mg/L (55 % de remoción). Del mismo modo, los coliformes totales alcanzaban  $3.4 \times 10^5$  NMP/100 mL al final del tratamiento, lo que representa una remoción inferior al 90 % exigido. Además, se detectó filtración por falta de impermeabilización en laguna secundaria y deficiente separación entre unidad primaria y secundaria, provocando mezcla y afectación del caudal tratado. En conclusión, la tesis determinó que el sistema está subdimensionado y operando con baja eficiencia; por ello, se propuso una alternativa de solución basada en un tren de tratamiento mejorado: pretratamiento (rejas, desarenador), sedimentador primario, laguna facultativa, filtro percolador y cámara de cloración, con el fin de cumplir con los ECAs y mejorar la protección del río Ramis.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Aguas residuales domesticas**

El agua que usamos en hogares, trabajos y comercios se convierte en residuos líquidos que viajan juntos por tuberías ocultas bajo la ciudad, hasta



llegar a lagunas de tratamiento que suelen estar en las afueras, lejos de donde vivimos (Requena Maldonado, 2023).

Las aguas depuradas son aquellas que han sido empleadas en hogares, industrias o comercios, y que ahora contienen residuos de actividades diarias. Popularmente se las conoce como aguas negras por su apariencia oscura, o aguas residuales porque representan lo que queda después del uso. Aunque ya no son aptas para consumo directo, con el tratamiento adecuado pueden dejar de ser un problema ambiental y convertirse en parte de un ciclo sostenible del agua (Albarracín Heredia, 2018).

Expertos en el tema distinguen entre aguas servidas (provenientes específicamente de hogares) y aguas residuales (que combinan desechos domésticos e industriales). Sin embargo, ambas comparten una característica clave: son el resultado del agua que, después de ser usada, viaja por las alcantarillas sin recibir tratamiento, llevando consigo los residuos de nuestras actividades cotidianas y productivas (Quispe Humire, 2013).

Las aguas residuales gestionadas por los municipios finalmente deben verterse a ríos, lagos o suelos. El gran reto consiste en determinar qué contaminantes y en qué concentraciones deben eliminarse para proteger el medio ambiente, lo que exige soluciones personalizadas para cada situación particular. Para determinar la solución adecuada, es esencial estudiar cada contexto local, combinando conocimiento científico y experiencia en ingeniería, siempre cumpliendo con la regulación aplicable a la potabilidad del agua contienen sustancias orgánicas, químicos y microbios peligrosos, que requieren tratamiento mediante métodos físicos, químicos y biológicos. En el



ámbito doméstico, incluyen tanto las aguas grises como las grises (de lavado, higiene y cocina) y los residuos de preparación de alimentos (Larico Mamani, 2017).

### **2.2.2. Composición de las Aguas Residuales**

El agua residual doméstica contiene aproximadamente 99.9% de agua y solo 0.1% de sólidos, pero es precisamente este pequeño porcentaje (compuesto en un 70% por materia orgánica y 30% por inorgánicos como arena, sales y metales) el que requiere tratamiento en las plantas depuradoras. Su composición varía según factores socioeconómicos, climáticos, culturales y de uso del territorio (Quispe Humire, 2013).

La mezcla y cantidad de estos componentes varían significativamente en función del estrato socioeconómico y los patrones de consumo de la población que genera estas aguas depuradas. Las características del agua depurada dependen directamente de su procedencia y volumen. Estructuralmente, contiene principalmente agua (más del 99.9%) junto con una mínima proporción de sólidos disueltos y suspendidos (menos del 0.1%). Paradójicamente, esta pequeña fracción sólida constituye el principal desafío en los procesos de tratamiento, mientras que el agua actúa principalmente como medio de transporte (Quispe Humire, 2013).

**Figura 1**

*Composición de las Aguas Residuales Domesticas.*



*Nota.* Extraído del texto de Ingeniería de Aguas Residuales, citado por Metcalf y Eddy (2003).

Cerca de dos tercios de los sólidos orgánicos corresponden a compuestos proteicos, principalmente albúminas y globulinas, que provienen tanto de efluentes industriales como del metabolismo de microorganismos presentes en las aguas depuradas. La concentración de carbohidratos (principalmente presentes como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa) varía según los patrones alimenticios regionales. Por su parte, los lípidos de origen animal y vegetal completan la trilogía fundamental de componentes nutricionales en las aguas depuradas (Metcalf & Eddy, 2003). La tabla 2 detalla los componentes contaminantes que requieren remoción en los procesos de tratamiento de aguas depuradas.

**Tabla 2**

*Principales constituyentes de las aguas residuales a reducir.*

<b>Contaminantes</b>	<b>Importancia</b>
Sólidos Suspendidos	Estos compuestos generan acumulaciones de sedimentos y promueven ambientes carentes de oxígeno al ser vertidos en los ecosistemas acuáticos.
Materia orgánica	Contiene materia orgánica (proteínas, glúcidos y lípidos), cuantificada mediante DBO y DQO. Reduce el oxígeno disuelto y genera condiciones anaerobias si no se trata.
Patógenos	Agentes biológicos en aguas regeneradas representan un vehículo de transmisión de patologías.
Nutrientes	Nitrógeno y fósforo, junto al carbono, son nutrientes básicos. Generan crecimiento descomunal de algas y condiciones anaerobias en cuerpos de agua.
Contaminantes importantes	Sustancias químicas de origen natural y sintético con capacidad mutagénica, teratogénica y carcinogénica comprobada.
Materia orgánica refractaria	Resistente a métodos convencionales. Incluye detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	De origen industrial. Susceptibles de extracción y valorización mediante procesos especializados.
Compuestos orgánicos disueltos	Sustancias como sodio, calcio y sulfato. Deben removerse si se va a reutilizar el agua.
Temperatura	Afecta la solubilidad de gases, la actividad microbiana, la viscosidad y varía según las estaciones.
Color	Aguas poco contaminadas presentan tonalidad grisácea clara, mientras que las aguas sépticas muestran coloración gris oscuro a negruzco.
Olor	Aguas frescas: relativamente agradable. Aguas sépticas: olor ofensivo. Aguas industriales: depende del proceso.
Turbiedad	Provocada por sólidos suspendidos. Aguas frescas presentan menor turbiedad que las contaminadas.

*Nota.* Extraído de la obra de referencia 'Ingeniería de Aguas Residuales'

Metcalfe y Eddy (2003).

### 2.2.3. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas servidas de origen poblacional pueden clasificarse en dos grandes grupos: las aguas industriales, que contienen diversas sustancias nocivas tales como compuestos orgánicos y elementos tóxicos y compuestos ácidos; y las aguas municipales, cuyo impacto ambiental se mide según su grado de contaminación, pudiendo ser éste bajo, medio o alto. Esta diferenciación es fundamental para determinar los tratamientos adecuados que permitan su depuración y posterior reutilización o vertido seguro al medio ambiente (Marín & Osés, 2013).

Según el D.S N° 003-2010-MINAM (2010) fija los LMP para efluentes de PTAR contemplan siete parámetros críticos, cuyos valores de referencia —detallados en la Tabla 3— definen el cumplimiento del estado del agua depurada previa a su liberación.

**Tabla 3**

*Límites máximos permisibles.*

Parámetro	Unidad	Límites Máximos Permisibles
Grasas y aceites	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200
pH	Und	6.5 – 8.5
SST (Sólidos Suspendidos Totales)	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

*Nota.* Recopilado del D.S N° 003-2010-MINAM (2010).

Según D.S-010-2019-Vivienda (2019) fija los VMA para descargas de aguas residuales al sistema de alcantarillado. De excederse estos límites, tanto viviendas como industrias estarán obligadas a implementar sistemas de tratamiento previo, conforme a los parámetros señalados en la Tabla 4 del mencionado dispositivo legal.

**Tabla 4**

*Valores máximos admisibles.*

Parámetro	Unidad	Valores Máximos Admisibles
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1000
Sólidos Suspendedos	mg/L	500
Grasas y aceites	mg/L	100

*Nota.* Recopilado del D.S-010-2019-Vivienda (2019).

El Decreto Ley N° 1280 define que el sistema de drenaje abarca la totalidad de la infraestructura de recolección de aguas depuradas, desde su origen hasta las instalaciones donde se realizará su tratamiento físico, químico y biológico.

#### **2.2.4. Características de las Aguas Residuales**

Las aguas depuradas pueden tener su origen en viviendas (domésticas), establecimientos industriales (especiales) o en una combinación de ambas (mixtas). Cada tipología presenta propiedades fisicoquímicas y microbiológicas distintivas, lo que motiva que la normativa vigente establezca criterios específicos para su clasificación y tratamiento (Quispe Humire, 2013).

Las aguas residuales domésticas típicamente carecen de contaminantes peligrosos como metales pesados, pero presentan alta carga



de microorganismos patógenos provenientes de desechos sanitarios. Contienen concentraciones significativas de amonio y nitrógeno derivados de excretas, lo que las hace aptas para tratamiento mediante procesos biológicos convencionales (Quispe Humire, 2013).

#### **2.2.4.1. Características físicas:**

Los parámetros físicos fundamentales en aguas residuales se refieren al contenido total de sólidos, el cual incluye cuatro fracciones principales: sólidos suspendidos, sedimentables, coloidales y disueltos, cada uno con diferente comportamiento y relevancia en los procesos de tratamiento (Metcalf & Eddy, 2003).

- a. Sólidos totales.** Se definen como el material remanente posterior a la vaporización del líquido a 103-105°C. Estos incluyen los sólidos sedimentables, que representan la fracción que precipita durante la decantación primaria, y se clasifican en filtrables (disueltos) y no filtrables (suspensión), siendo estos últimos los sólidos en suspensión propiamente dichos (Armijos Salazar, 2015).

#### **2.2.4.2. Características Químicas:**

El análisis de esta propiedad se desarrolla en cuatro secciones fundamentales: (1) composición de la materia orgánica, (2) métodos de cuantificación del contenido orgánico, (3) caracterización de la materia inorgánica, y (4) relación entre ambos componentes (Metcalf & Eddy, 2003).

- a. Materia orgánica:** En aguas residuales de carga media, aproximadamente 75% correspondiente a partículas en suspensión y 40% a sólidos que atraviesan filtros son de origen orgánico, derivados de materia animal y vegetal. Su composición bioquímica incluye: proteínas



- (40-60%), carbohidratos (25-50%), lípidos (10%) y urea como componente principal de la orina (Quispe Humire, 2013).
- ✓ **Grasas animales y vegetales.** Compuestos de glicerol y ácidos grasos- ingresan a las aguas residuales como derivados lácteos (mantequilla, manteca), aceites vegetales y margarinas. Estas sustancias forman películas superficiales y acumulaciones flotantes que inhiben la actividad biológica y generan problemas operativos (Quispe Humire, 2013).
- b. Medida del contenido orgánico:** Los métodos más frecuentes para determinar el contenido orgánico en diferentes tipos de aguas (depuradas y superficiales) son la DBO5 y la DQO (Metcalf & Eddy, 2003).
- ✓ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** Principalmente la DBO5 (medida a 5 días), es el indicador más extendido de contaminación orgánica. Su análisis consiste en cuantificar el oxígeno disuelto empleados por el microbiota en la descomposición catalizada por enzimas de compuestos orgánicos (Orozco , 2005).
  - ✓ **Demanda química de oxígeno (DQO).** Es un ensayo utilizado para cuantificar la materia orgánica presente en aguas depuradas y cuerpos de agua naturales (Orozco , 2005).
- c. Materia inorgánica:** La concentración de sus diversos componentes puede impactar significativamente los usos del agua, por lo que es relevante analizar la naturaleza de ciertos elementos (Quispe Humire, 2013).
- ✓ **Nitrógeno.** Denominado nutriente y bioestimulante, resulta esencial en la síntesis proteica. Su forma total comprende nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos y nitratos.



- ✓ **Fósforo.** Elemento fundamental para el desarrollo de algas y microorganismos. En aguas residuales domésticas, su concentración oscila entre 4 y 15 mg/L.

#### 2.2.4.3. Características microbiológicas

Se está tomando a los coliformes fecales

- a. **Coliformes Termotolerantes (fecales):** Este grupo bacteriano, integrado por *Escherichia* y ocasionalmente *Klebsiella*, presenta actividad fermentativa de lactosa a  $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ . Constituyen un subgrupo de los coli totales con origen fecal comprobado. Los métodos analíticos estándar incluyen la técnica dilución en tubos seriados y la filtración con membrana. (Albarracín Heredia, 2018).

#### 2.2.5. Tratamiento de aguas residuales

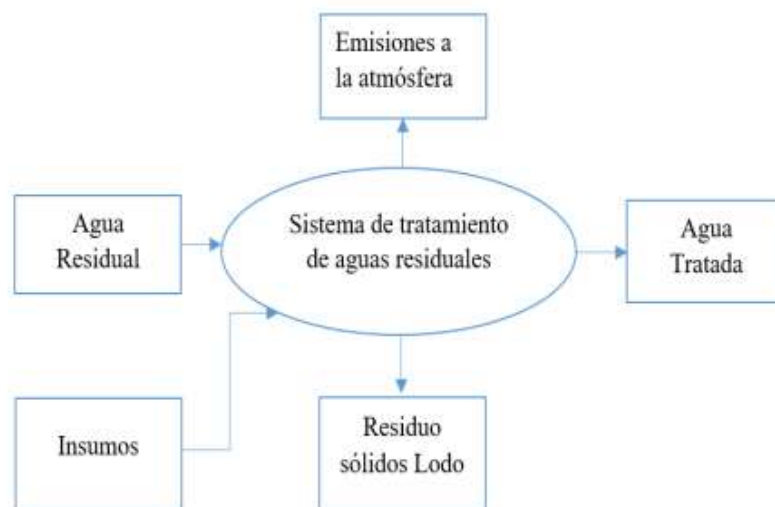
Los procesos convencionales de depuración de aguas depuradas difieren significativamente de los sistemas para reúso. El tratamiento estándar busca reducir el aporte de sustratos orgánicos asimilables, grasas flotantes y partículas en suspensión, mientras que el proceso para reutilización aprovecha nutrientes y fracciones orgánicas útiles, priorizando la inactivación de microorganismos patógenos (OPS, 2005).

En Perú, las redes de alcantarillado captan cerca de 747.3 millones de m<sup>3</sup> de aguas depuradas provenientes de usuarios conectados. Solo el 29.1% de este caudal recibe tratamiento, frecuentemente en plantas con problemas operativos y de sostenimiento, en tanto que el 70.9% restante se vierte sin control a cuerpos receptores (mar, lagos, ríos) o se emplea irregularmente en agricultura (Requena Maldonado, 2023).

La reutilización hídrica contribuye a: 1) Mitigar la sobreexplotación de recursos, 2) Optimizar la eficiencia en el uso del agua, 3) Evitar el deterioro del medio ambiente, 4) Concientizar a la población acerca de su relevancia, y 5) Fortalecer las medidas preventivas y de control (Quispe Humire, 2013).

### Figura 2

*Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.*



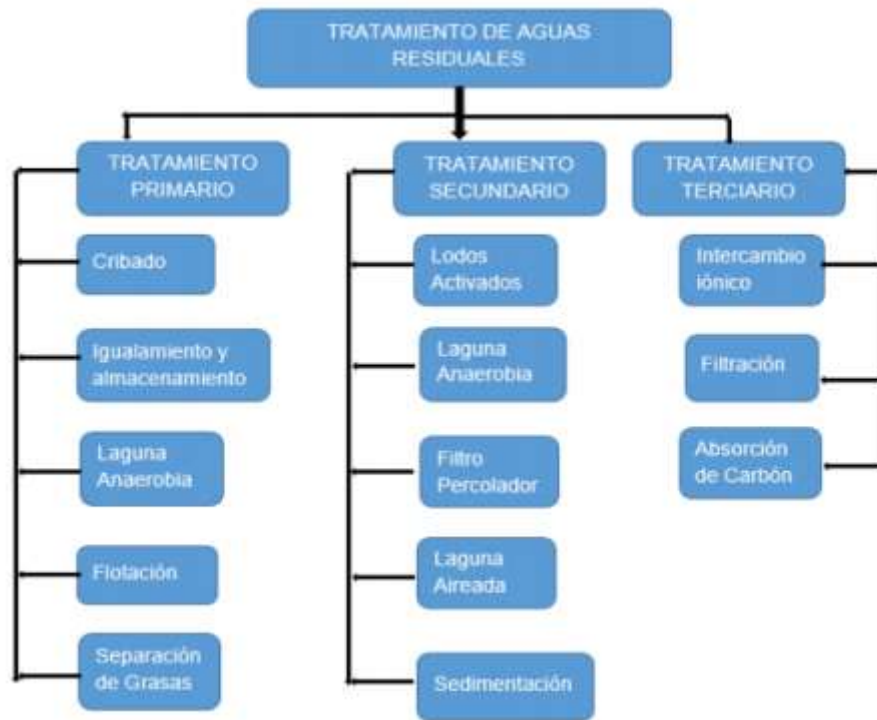
*Nota.* Extraído del texto de Ingeniería de Aguas Residuales, citado por Noyola et al. (2013).

La tecnología seleccionada para el tratamiento de aguas depuradas determina los costos de operación y mantenimiento, así como el consumo de energía eléctrica y reactivos químicos necesarios. En la Figura 2 se propone un esquema de posibles sistemas, clasificados en dos grupos: procesos fisicoquímicos y tratamientos biológicos, para configurar una línea de depuración, los tratamientos físicos son procesos que utilizan decantación gravitacional, interacción de cargas eléctricas, tamizado por barrera física y otros mecanismos, junto con el tratamiento químico: Incluye coagulación, adsorción, oxidación, precipitación y técnicas afines. Tratamiento biológico:

Consiste en la descomposición de la carga orgánica mediante microorganismos (Morgan-Sagastume, & Guereca, 2013).

**Figura 3**

*Procesos de agua residual.*



*Nota.* Extraída del estudio "Diagnóstico, evaluación técnica y diseño de mejoras para los sistemas de la PTAR en Buenavista de Boyacá ", según lo referenciado por Espitia Antonio (2017).

Los procesos biológicos para tratar aguas depuradas se clasifican en dos sistemas: los aerobios, que dependen de oxígeno disuelto, y los anaerobios, que no lo requieren. Además, existen métodos naturales que utilizan procesos ecológicos espontáneos. El objetivo es emular la eficacia de estos sistemas naturales en unidades de tratamiento controladas artificialmente, entre estos destacan los humedales artificiales y la infiltración directa en suelos. Paralelamente, los sistemas anaerobios se clasifican en tres niveles según: 1) la interacción microbio-sustrato durante la degradación, 2)



la eficiencia de transferencia de masa, y 3) la interdependencia de los tiempos de retención celular (TRC) y el tiempo de retención hidráulica (TRH) (Noyola, Morgan-Sagastume, & Guereca, 2013).

### **2.2.6. Lagunas facultativas**

Las lagunas facultativas degradan naturalmente contaminantes de aguas depuradas (materia fecal, orgánica, grasas) mediante acción simbiótica de microorganismos y algas. Su diseño bifásico combina zonas aerobias y anaerobias, constituyendo un sistema rentable y eficaz para depuración (Martinez, 2007).

Las lagunas facultativas erradican patógenos (parásitos, bacterias, virus) en aguas residuales, garantizando protección epidemiológica al reducir su carga microbiana. Simultáneamente, disminuyen la DBO, preservando el OD en cuerpos receptores para salvaguardar el equilibrio ecológico (Quispe Humire, 2013).

Los sólidos gruesos sedimentan formando un lecho anaeróbico de lodos, mientras bacterias aerobias y facultativas oxidan la materia orgánica sólida usando oxígeno de algas superficiales. Estas lagunas destacan por su construcción/operaciones sencillas, alta efectividad en remoción de DBO y significativa reducción de patógenos (Davirán & Huamani, 2020).

El rendimiento óptimo de las lagunas depende de su operatividad y mantenimiento adecuados, para lo cual se requiere garantizar recursos permanentes. Estos deben cubrir todo tipo de insumos: herramientas, equipos de protección, materiales de reparación y otros gastos operativos, sin interrupciones en la dotación presupuestaria (Quispe Humire, 2013).

Estos sistemas presentan estabilización aerobia en la zona fótica (con penetración lumínica efectiva) y fermentación anaerobia en el lecho de lodos bentónico. El oxígeno se genera predominantemente por fotosíntesis algal, complementado por reaireación en la interfase aire-agua (Quispe Humire, 2013).

#### Figura 4

*Laguna facultativa para el tratamiento de aguas residuales.*



*Nota.* Tomado de la propuesta metodológica para evaluar sistemas de tratamiento de aguas depuradas, citado por Quispe (2013).

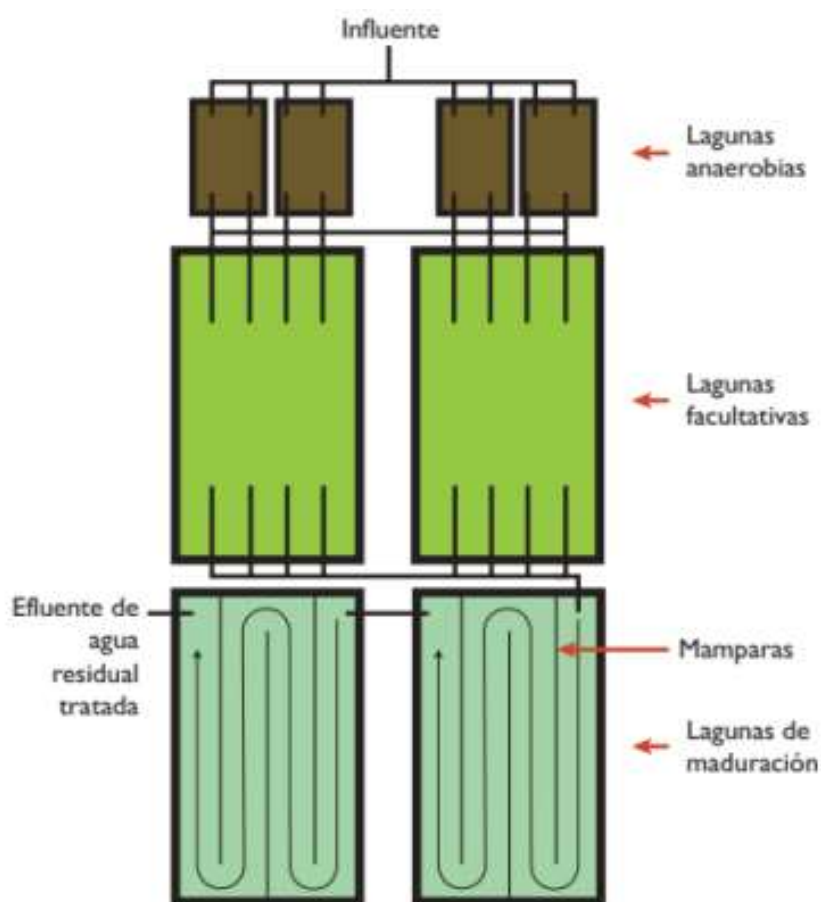
Las lagunas de maduración logran hasta 90% de eliminación de col fecales en aguas depuradas. Su eficacia depende críticamente de la presencia de algas, las cuales proveen oxígeno mediante fotosíntesis para sustentar este proceso de desinfección biológica (Quispe Pérez, Piñas Rivera, Del Valle Gonzales, & Aguirre Chávez, 2020).

La geometría rectangular optimiza la distribución hidráulica del efluente en lagunas facultativas y anaerobias, con relación largo:ancho de 2:1. En lagunas de maduración (3:8), esta configuración alargada minimiza riesgos de cortocircuitos hidráulicos y zonas muertas, superando a diseños circulares o irregulares (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017). Para aguas residuales con

alta carga contaminante, se requiere implementar secuencialmente los tres sistemas: anaerobio, facultativo y de maduración. Esta configuración garantiza una depuración integral, optimizando la reducción de DBO, sólidos y patógenos (Menéndez Gutiérrez, Ángel, & Marrero, 2009).

### Figura 5

*Configuración de las lagunas facultativas y de maduración.*



*Nota.* Extraído del dimensionamiento de lagunas de estabilización, citado por Cortés et al. (2017).

Los sistemas de lagunas admiten configuraciones en serie o paralelo. La disposición en serie optimiza el área ocupada y favorece el desarrollo de consorcios microbianos eficientes. En paralelo, se facilita el mantenimiento (limpieza por unidades independientes) y el arranque operativo escalonado



gracias a módulos de menor tamaño (Menéndez Gutiérrez, Ángel, & Marrero, 2009).

### 2.2.7. Disposición de las lagunas facultativas

La disposición de las lagunas facultativas está dividida en dos partes:

- a. **Operación en serie:** En configuración serie, el agua fluye secuencialmente entre celdas: la laguna primaria recibe el afluente crudo, la secundaria lo trata posteriormente, y así sucesivamente. Este diseño escalonado incrementa la eficiencia depuradora, obteniendo efluentes de calidad superior con reducción significativa de contaminantes (Quispe Humire, 2013).
- b. **Operación en paralelo:** Múltiples celdas operan simultáneamente, recibiendo cargas orgánicas proporcionales a su capacidad individual. Este diseño optimiza la distribución de sólidos sedimentables y permite retirar unidades para mantenimiento sin interrumpir el flujo, redistribuyendo la carga a celdas activas (Quispe Humire, 2013).

### 2.2.8. Funcionamiento y estratificación de las lagunas facultativas

El funcionamiento de las lagunas facultativas se basa en un proceso natural de tratamiento biológico que aprovecha la acción conjunta de microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos, junto con la actividad fotosintética de las algas. Estas lagunas presentan una estratificación vertical bien definida que permite la ocurrencia de diferentes procesos bioquímicos en cada capa, favoreciendo la remoción progresiva de materia orgánica y otros contaminantes (Von Sperling, 2016).

- a. **Capa superior o zona aerobia:** Se extiende generalmente entre 30 a 50 cm desde la superficie, el oxígeno disuelto es generado principalmente



por las algas fotosintéticas durante el día, y en menor medida por la transferencia superficial desde la atmósfera. Esta capa está habitada por bacterias aerobias que utilizan el oxígeno molecular utilizado en la estabilización de sustratos orgánicos solubles, transformándola en compuestos de mayor estabilidad, como el dióxido de carbono, agua y biomasa celular (Von Sperling, Características, tratamiento y eliminación de aguas residuales, 2016).

- b. Zona intermedia:** También conocida como zona facultativa, presenta condiciones variables de oxígeno, especialmente durante las noches o en días nublados, donde la fotosíntesis disminuye. Aquí coexisten bacterias aerobias, anaerobias y facultativas, que adaptan su metabolismo a la disponibilidad de oxígeno. Esta capa actúa como una zona de transición que amortigua las variaciones diarias y estacionales en el sistema (Mara & Pearson, 2020).
- c. Zona anaerobia:** En el fondo de la laguna se encuentra la zona anaerobia, donde se acumulan los sólidos sedimentables provenientes del influente y de la biomasa muerta. Esta capa carece completamente de oxígeno, por lo que el tratamiento se efectúa mediante metabolismo anaeróbico, como la fermentación y la metanogénesis, en los cuales microorganismos especializados degradan la materia orgánica compleja en compuestos más simples, como ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, metano, amonio y sulfuros (Crites & Tchobanoglous, 2017).

La eficiencia del sistema se mantiene gracias a la interacción simbiótica entre algas y bacterias. Durante el día, las algas oxigenan el medio a través de la conversión fotoautótrofa que es consumido por las bacterias aerobias

para la descomposición microbiana de la materia orgánica. A su vez, las bacterias generan dióxido de carbono y nutrientes inorgánicos como el amonio y el fosfato, que son reutilizados por las algas para mantener su actividad metabólica. Esta retroalimentación es esencial para conservar un equilibrio dinámico que optimiza el tratamiento del efluente (Saadat & Kianmehr, 2021).

Cabe señalar que el grado de estratificación y el espesor de cada zona varían en función de factores climáticos, como la temperatura del agua, el flujo de irradiancia solar y velocidad eólica, y también del diseño hidráulico del sistema. En climas cálidos y soleados, como los que predominan en regiones tropicales o altoandinas en época seca, la estratificación es más marcada y favorece un rendimiento más eficiente del sistema (Mara & Pearson, 2020).

#### **2.2.9. Parámetros de diseño de las lagunas facultativas**

El diseño de las lagunas facultativas debe considerar diversos parámetros hidráulicos, orgánicos y climáticos que aseguren el apropiado funcionamiento del sistema y la conformidad con las normas del estado del efluente. Entre los principales factores se hallan la carga orgánica superficial, el tiempo de retención hidráulico (TRH), la profundidad efectiva, la relación larga/ancho, y aspectos relacionados con la temperatura ambiental y radiación solar (Mara & Pearson, 2020).

- a. Carga orgánica superficial:** Representa la cantidad de  $\text{DBO}_5$  distribuida por área unitaria y es uno de los parámetros clave para mantener el equilibrio entre las zonas aerobia y anaerobia de la laguna. Diversos autores recomiendan una carga orgánica entre 100 y 400  $\text{kg DBO}_5/\text{ha}\cdot\text{día}$ , dependiendo de la temperatura media anual y la altitud. En climas templados o de altura, como en regiones altoandinas, se sugiere adoptar



valores conservadores (100–200 kg DBO<sub>5</sub>/ha·día) debido a la menor actividad biológica causada por temperaturas más bajas (Mara & Pearson, 2020).

- b. Tiempo de retención hidráulico (TRH):** Es otro parámetro crucial. Se define como la duración promedio de retención del fluido en la unidad de tratamiento, función directa de la capacidad volumétrica de la laguna y del caudal diario de entrada. Valores típicos oscilan entre 20 y 50 días, siendo más largos en climas fríos y para cargas más bajas, lo cual favorece la sedimentación de sólidos y la estabilización de materia orgánica (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2014).
- c. Profundidad:** Recomendada para una laguna facultativa varía entre 1.2 a 1.5 metros, aunque algunos diseños tropicales permiten profundidades hasta de 2,0 m. Esta dimensión busca optimizar la filtración de la radiación para la fotosíntesis de las algas, sin comprometer el volumen necesario para sedimentación ni fomentar la resuspensión de sólidos. En altitudes elevadas, una profundidad de 1,2 m puede ser más apropiada para maximizar el aprovechamiento de la radiación solar (Crites & Tchobanoglous, 2017).
- d. Relación largo/ancho:** La laguna debe mantenerse entre 2:1 y 3:1 para promover el flujo pistón y evitar cortocircuitos hidráulicos. Además, es importante considerar una pendiente suave de fondo (aproximadamente 0,05–0,10%) hacia el punto de salida para facilitar el manejo de lodos sedimentados (Von Sperling, 2016).



Otros factores a considerar incluyen:

- ✓ Área superficial estimada requerida, calculada a partir de la carga orgánica admisible.
- ✓ Cobertura vegetal o cercado perimetral para evitar la entrada de animales.
- ✓ Protección contra vientos fuertes, que pueden generar mezclas indeseadas.
- ✓ Evacuación y secado de lodos, que se deben remover cada 5 a 10 años dependiendo de la tasa de acumulación.

Finalmente, es recomendable incorporar datos climáticos (temperatura del agua, insolación, velocidad del viento) en las etapas de diseño, ya que influyen directamente en la actividad microbiana y en el rendimiento del proceso de tratamiento (Crites & Tchobanoglous, 2017).

### **2.2.10. Eficiencia y limitaciones de las lagunas facultativas**

Las lagunas de tipo facultativo funcionan como biorreactores pasivos para el proceso físico-biológico inicial de efluentes tratados con elevada efectividad en la eliminación de contaminantes, particularmente en contextos rurales y periurbanos con limitaciones técnicas y económicas. Bajo condiciones óptimas de diseño y operación, estas lagunas pueden alcanzar eficiencias de remoción de  $DBO_5$  superiores al 75%, y en muchos casos, cercanas al 85% (Mara & Pearson, 2020).

#### **a. Eficiencia:**

- ✓ Las lagunas facultativas son sistemas crecidamente eficaces en la eliminación de compuestos orgánicos y agentes patógenos, especialmente cuando operan bajo condiciones climáticas favorables y con un diseño adecuado. En términos de ( $DBO_5$ ), pueden alcanzar



eficiencias de remoción superiores al 75%, y en algunos casos incluso cercanas al 85%, dependiendo de la duración de retención en reactor y las condiciones térmicas del medio acuoso y la carga aplicada (Mara & Pearson, 2020).

- ✓ También logran buenos niveles de remoción de SST, generalmente en el rango del 60 al 80%, gracias a la sedimentación gravitacional de partículas orgánicas y biomasa. En cuanto a la reducción de patógenos, las lagunas facultativas son eficaces en la erradicación de coliformes fecales, protozoarios y helmintos, debido a la combinación de radiación ultravioleta solar, pH elevado por fotosíntesis algal, y la acción depredadora de microorganismos presentes en el ecosistema acuático (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2014).
- ✓ Estos sistemas también contribuyen indirectamente a la nitrificación parcial, especialmente en la capa aerobia, aunque no están diseñados específicamente para la remoción completa de nutrientes. Sin embargo, en climas cálidos y soleados, pueden favorecer ciertos procesos de transformación del nitrógeno y precipitación del fósforo (Crites & Tchobanoglous, 2017).

### **b. Limitaciones**

- ✓ A pesar de sus ventajas, las lagunas facultativas presentan diversas limitaciones técnicas y operativas que deben considerarse cuidadosamente. Una de las principales es su dependencia de condiciones climáticas, especialmente de la temperatura y radiación solar, que son esenciales para mantener la actividad fotosintética y la eficiencia



- biológica del sistema. En climas fríos, nublados o de alta montaña, el rendimiento puede disminuir significativamente (Mara & Pearson, 2020).
- ✓ Otra limitación relevante es el requerimiento de grandes extensiones de terreno. Debido a los bajos niveles de carga orgánica permisibles (100–400 kg DBO<sub>5</sub>/ha·día) y tiempos de retención relativamente largos (20–50 días), estos sistemas demandan áreas considerables, lo que los hace poco viables en zonas urbanas densas o con restricciones de uso de suelo (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2014).
  - ✓ Asimismo, existe el riesgo de generación de olores desagradables, especialmente cuando hay sobrecargas, acumulación excesiva de lodos o insuficiente oxigenación. Gases como sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), metano (CH<sub>4</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) pueden liberarse desde la zona anaerobia y generar molestias a las comunidades cercanas (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2014).
  - ✓ Por último, el manejo de lodos acumulados es una tarea que requiere atención especial. Aunque los lodos se acumulan lentamente, deben ser removidos cada 5 a 10 años para evitar pérdidas de capacidad hidráulica y condiciones sépticas. Esta operación requiere equipo, planificación y disposición segura, ya que el lodo puede contener metales pesados y microorganismos patógenos (Crites & Tchobanoglous, 2017).



## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1. Aguas residuales domesticas**

Estos efluentes se generan por acción antrópica, requiriendo un tratamiento primario antes de su descarga a un cuerpo receptor o red de alcantarillado (OEFA, 2014).

### **2.3.2. Tratamiento de aguas residuales**

Integra un conjunto interrelacionado de mecanismos físicos, reacciones químicas y transformaciones biológicas destinados a reducir la carga contaminante de un efluente antes de su disposición final. En zonas rurales, se prioriza el tratamiento biológico extensivo, que se basa en procesos naturales y requiere menor inversión económica y tecnológica (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2014).

### **2.3.3. Lagunas facultativas**

Estos sistemas presentan estabilización aeróbica en la zona fótica (con penetración lumínica efectiva) y digestión anaeróbica en el lecho bentónico de lodos. El oxígeno deriva principalmente de la fotosíntesis algal (>70%), secundado por transferencia gaseosa en la interfase aire-agua (Quispe Humire, 2013).

### **2.3.4. Afluente**

La confluencia es la zona donde el afluente se mezcla con el efluente. Se denomina afluente al flujo de entrada del líquido a un embalse, planta depuradora o proceso de tratamiento (Davirán & Huamani, 2020).

### **2.3.5. Efluente**

Mezcla de desechos domésticos/industriales (sólidos, líquidos, gaseosos) vertidos a cuerpos receptores. Efluente: Caudal resultante tras



procesos de tratamiento, con características físico-químicas modificadas (Davirán & Huamani, 2020).

### **2.3.6. Muestreo**

Comprende la colecta de muestras compuestas de agua residual, doméstica o industrial, en puntos previos y posteriores al tratamiento. Se emplean volúmenes predefinidos y métodos de preservación acordes a cada indicador a evaluar (Quispe Humire, 2013).

### **2.3.7. Caudal**

Volumen hídrico que atraviesa una sección transversal por unidad de tiempo. Su medición es determinante para calcular: 1) cargas hidráulicas y orgánicas (DBO/DQO), 2) tiempo de retención hidráulica (TRH), y 3) capacidad operativa de lagunas facultativas aireadas (Tirado, 2018).

### **2.3.8. Eficiencia**

La eficiencia denota la relación óptima entre recursos invertidos y resultados obtenidos. Representa una capacidad fundamental para lograr objetivos en entornos complejos y competitivos, maximizando el rendimiento del sistema. (Lam & Hernández, 2020).



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación presenta un diseño no experimental, ya que no se manipularán deliberadamente las variables independientes, sino que se observará y analizará el sistema de lagunas facultativas tal como opera en la realidad. Además, es de tipo transversal, puesto que la recolección de datos se ejecutó en un solo periodo (año 2024), sin realizar seguimientos longitudinales (Hernández & Fernández, 2010).

#### 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo aplicada, dado cuyo fin es generar conocimientos con utilidad práctica para mejorar el funcionamiento o la gestión de las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.

#### 3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es descriptivo, debido a que se describirá las características y el proceso de purificación de aguas servidas, así como las concentraciones de contaminantes en el afluente y efluente. También es de nivel explicativo (evaluativo), ya que se pretende determinar la eficiencia del

sistema en términos de remoción de parámetros fisicoquímicos y biomarcadores patógenos sobre los valores límite autorizados de la normativa eco-sanitaria en vigor.

### **3.4. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

El enfoque es cuantitativo, debido a que se utilizarán técnicas de medición numérica para determinar las concentraciones de los parámetros de calidad de agua y calcular los porcentajes de remoción, aplicando posteriormente análisis estadístico para interpretar los resultados.

### **3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.5.1. Población**

La población se refiere al conjunto total de elementos o unidades de análisis que presentan una particularidad compartida y en relación a los cuales se desea obtener información (Hernández Sampieri, et al., 2021). En esta investigación, la población de estudio comprende la totalidad de las aguas depuradas municipales que ingresan y egresan del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía durante el año 2024, así como el propio sistema de tratamiento considerado en su totalidad.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra es un subconjunto de la población, seleccionado mediante criterios específicos, con la finalidad de representarla de manera adecuada y obtener conclusiones válidas (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014). En esta investigación, la muestra estará constituida por muestras de agua depurada colectadas en puntos estratégicos del afluente y efluente del sistema de



lagunas facultativas siendo un total de 6 litros. Estas muestras permitirán analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos señalados en los objetivos de investigación.

### 3.6. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados en la presente investigación fueron los siguientes.

#### a. Materiales

- Botella de vidrio.
- Recipiente de plástico.
- Vasos de precipitados.
- Matraz Erlenmeyer.
- Pipetas volumétricas.
- Probeta.
- Tubos de ensayo.
- Campana burgen.
- Guantes tipo látex
- Mascarilla.
- Rotulador.
- Cinta masking.
- Libreta de apuntes.
- Cooler de Tecnopor.
- Papel toalla.
- Mandil.

#### b. Equipos

- Estufa.
- Incubadora.
- Agitar magnético.
- Balanza analítica.
- Multiparámetro.
- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Equipo de cómputo.
- EPPs.

#### c. Reactivos e Insumos:

- Muestra de agua (efluente y afluyente).
- Agua destilada.
- Caldo lauril.



### 3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Para la realización del presente estudio se emplearon diversas técnicas e instrumentos, con el propósito de recolectar información precisa y representativa sobre el proceso de purificación de aguas depuradas domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía. Estas herramientas permitieron detallar las condiciones de ejecución del sistema, así como analizar el estado del agua en sus puntos de entrada y salida, de acuerdo con los objetivos establecidos.

#### 3.7.1. Técnicas

Se aplicaron las siguientes técnicas:

- ✓ **Observación directa:** Se utilizó para describir in situ el funcionamiento del sistema de lagunas facultativas, documentar su infraestructura, operación, posibles deficiencias y condiciones de mantenimiento, de acuerdo con el primer objetivo específico.
- ✓ **Muestreo de agua:** Se empleó para recolectar muestras del afluente (entrada) y efluente (salida) del sistema de las lagunas facultativas, a fin de determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en el segundo y tercer objetivos.
- ✓ **Análisis de laboratorio:** Se empleó mediante una técnica central para medir con precisión las manifestaciones de los parámetros de calidad de agua (DBO5, DQO, STD, col termotolerantes, pH y nitratos).

#### 3.7.2. Instrumentos

A efectos de lograr los objetivos de la investigación se aplicaron los siguientes instrumentos:



- ✓ **Fichas de observación:** Fueron elaboradas para registrar aspectos técnicos y operativos del sistema de purificación, tales como volumen de carga hidráulica, características de las lagunas, tiempo de retención, entre otros.
- ✓ **Formato de muestreo:** Fueron empleados para documentar datos de campo (ubicación, hora, fecha, temperatura ambiente, características visuales del agua, etc.) en cada ubicación de muestreo.
- ✓ **Protocolos de análisis de laboratorio:** Fueron aplicados según la normativa APHA (2017), para estandarizar el procedimiento de medición de cada parámetro de calidad de agua.
- ✓ **Planillas de registro de resultados:** Fueron diseñadas para anotar las concentraciones obtenidas en el laboratorio y organizarlas para su posterior procesamiento en Microsoft Excel.

Estas técnicas e instrumentos garantizarán la obtención de información confiable, válida y adecuado para alcanzar las metas establecidas, de acuerdo con las buenas prácticas de monitoreo ambiental (MINAM, 2021).

### 3.8. LUGAR DE ESTUDIO

La presente investigación se ejecutó a cabo en las lagunas facultativas de tratamiento de aguas depuradas domésticas ubicadas en el distrito de Santa, provincia de Lampa, del departamento de Puno. Esta planta depuradora es fundamental para la gestión de aguas depuradas en la localidad, donde las aguas domésticas son sometidas a un proceso de depuración antes de ser vertidas en el medio ambiente.



### Ubicación geopolítica:

**Departamento** : Puno.

**Provincia** : Lampa

**Distrito** : Santa Lucia.

El sistema de lagunas facultativas objeto de estudio está localizado en las siguientes coordenadas geográficas:

### Tabla 5

*Coordenadas del lugar de estudio - lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia.*

Código	Lugar	Coordenadas	
		Este	Norte
P-01	Lagunas Facultativas del distrito de Santa Lucia.	329125.00	8265198.00

Estas coordenadas corresponden a la ubicación precisa de las lagunas facultativas dentro de la estación de saneamiento líquido depuradas, que permite una identificación exacta del sitio en el que se desarrolló la investigación.

## Figura 6

*Ubicación del proyecto de investigación, lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



*Nota.* Google Earth.

### 3.9. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

**Objetivo 1:** Describir el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.

Con el fin de alcanzar el primer objetivo específico del estudio, se ejecutaron los siguientes procedimientos:

#### a. Revisión de la documentación técnica del sistema de lagunas facultativas

El primer paso fue realizar una revisión exhaustiva de la documentación técnica disponible sobre la planta depuradora de aguas depuradas en el distrito de Santa Lucía. Esto incluyó la normativa local, manuales operativos, informes previos y cualquier otro documento que describiera el diseño y funcionamiento de las lagunas facultativas. La revisión permitió obtener una

visión general del proceso de tratamiento y comprender la infraestructura básica del sistema.

### **b. Inspección directa del sistema de tratamiento**

Posterior a ello, se realizó una inspección directa del sistema de lagunas facultativas, visitando el sitio de tratamiento en varias ocasiones. Durante la inspección, se observó el funcionamiento de las lagunas, incluyendo:

- ✓ **Primero:** El sistema de conducción y pre tratamiento de las aguas depuradas en la PTAR Santa Lucía.

#### **Figura 7**

*Sistema de conducción y pre tratamiento de las aguas residuales en la PTAR Santa Lucía.*



- ✓ **Segundo:** El sistema de pre tratamiento (cribas gruesas y medianas) de las aguas depuradas en la PTAR Santa Lucía.

**Figura 8**

*Unidad de pre tratamiento (cribas gruesas y medianas) de las aguas residuales en la PTAR Santa Lucía.*



*Nota.* a: agua residual que ingresa a la PTAR, b: cribas gruesas, c: cribas medianas, d: Bypass.

- ✓ **Tercero:** La acción microbiana en los estanques facultativos, encargada de la degradación de los compuestos orgánicos por acción de los microorganismos.
- ✓ **Cuarto:** La disposición del líquido depurado en la salida final, que se liberaba hacia el río Cabanillas.

**Figura 9**

*Reunión y distribución de agua residual tratada en lagunas facultativas primarias y secundarias del distrito de Santa Lucía.*





### c. Entrevistas con operadores y personal técnico

Después, se realizó entrevistas estructuradas al personal técnico encargado del mantenimiento y la operación de las lagunas facultativas. Durante la entrevista, se recopilaron detalles sobre los procedimientos de operación, las dificultades comunes que enfrentaban, las estrategias de mantenimiento y las mejoras realizadas en el sistema.

### d. Elaboración de un diagrama de flujo del proceso de tratamiento

Con la información obtenida, se elaboró un diagrama de flujo del proceso de depuración de aguas tratadas en lagunas facultativas.

### e. Descripción del proceso de tratamiento

Finalmente, con toda la información recabada a través de las visitas, entrevistas, revisiones documentales y observaciones de campo, se elaboró una descripción detallada empleando estanques facultativos para la depuración de aguas seevidas.

**Objetivo 2:** Determinar las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.

Para cumplir el presente objetivo se ejecutaron las siguientes acciones protocolarias:

#### a. Selección de los parámetros a analizar

Se seleccionaron los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para su análisis tanto en el afluente como en el efluente del sistema de lagunas facultativas:

- ✓ Potencial de hidrógeno (pH).
- ✓ Sólidos totales en suspensión (STS).



- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).
- ✓ Demanda química de oxígeno (DQO).
- ✓ Nitratos.
- ✓ Coliformes termotolerantes.

Estos parámetros fueron seleccionados debido a su relevancia para evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas depuradas y su conformidad con las normativas ambientales.

### b. Definición de los puntos de muestreo

Se determinó seis sitios de muestreo específicos para recolectar las muestras de agua del sistema de lagunas facultativas. Los puntos fueron elegidos en función de su ubicación representativa a lo largo del proceso de tratamiento, y se especificaron sus coordenadas en el sistema UTM.

**Tabla 6**

*Ubicación de los puntos de muestreo de aguas residuales en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*

N°	Código	Descripción	Coordenadas	
			Este	Norte
1	M1-AF	Muestreo 1 - Afluente General (antes de repartir a las lagunas).	328954.00	8265009.00
2	M2-LP1S	Muestreo 2 - Primaria 1 Superior (salida de la laguna primaria 1 superior).	329127.00	8265149.00
3	M3-LS2S	Muestreo 3 - Secundaria 2 Superior (salida de la laguna secundaria 2 superior).	329221.00	8265194.00
4	M4-LP1I	Muestreo 4 - Primaria 1 Inferior (salida de la laguna primaria 1 inferior).	329165.00	8265069.00

5	M5-LS2I	Muestreo 5 - Secundaria 2 Inferior (salida de la laguna secundaria 2 inferior).	329258.00	8265110.00
6	M6-EF	Muestreo 6 - Efluente Final (antes del vertido al río).	329287.00	8265206.00

Estas coordenadas garantizaron que las muestras fueran representativas de todo el sistema de depuración.

### Figura 10

*Esquemmatización de los puntos de muestreo de las aguas residuales en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia.*



Nota. Google Earth.

En donde:

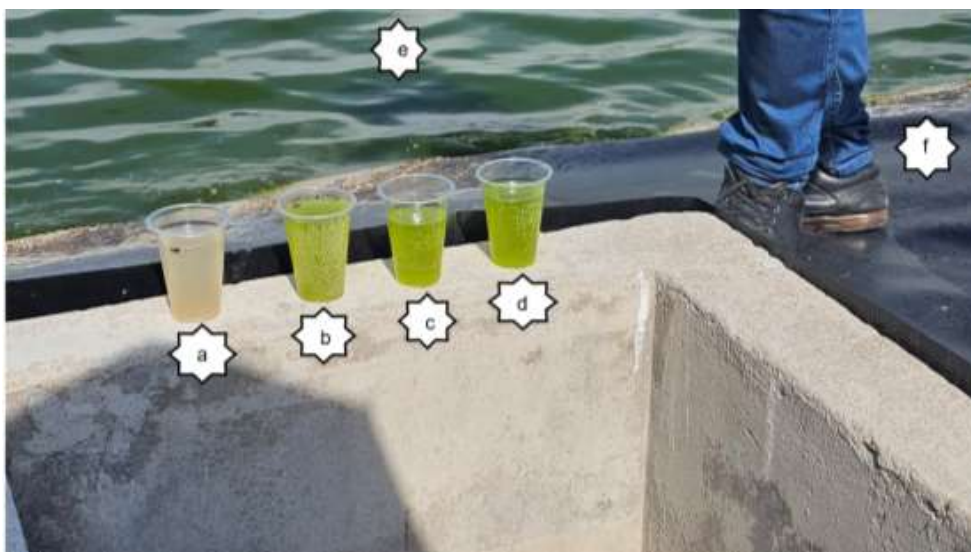
- M → Muestreo.
- AF → Afluente.
- LP1S → Primaria 1 Superior.
- LS2S → Secundaria 2 Superior.
- LP1I → Primaria 1 Inferior.
- LS2I → Secundaria 2 Inferior.
- EF → Efluente Final.

### c. Recolección de muestras

Una vez definida los puntos de muestreo se comenzó con la recolección de muestras de agua en cada uno de los sitios de muestreo.

#### Figura 11

*Visualización de la coloración del agua residual domestico en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía*



*Nota.* a: agua residual al ingreso a la PTAR, b: agua residual en la laguna facultativa primaria, c: agua depurada a la salida de la laguna facultativa primaria, d: agua depurada tratada en la salida de PTAR, e: agua depurada con coloración verdosa en la laguna facultativa primaria, y f: geomembrana.

Las muestras fueron recolectadas en envases estériles, siguiendo el protocolo adecuado para asegurar que no se produjera ninguna contaminación durante el proceso. Los muestreos se realizaron en diferentes momentos del día, en condiciones variables de temperatura y flujo, para garantizar la representatividad de las muestras.

Las muestras fueron tomadas tal como indica la tabla 6, en donde, las muestras del afluente M1-AF, y las muestras de efluente fueron recolectadas



en M6-EF. Las muestras de las lagunas primarias y secundarias fueron tomadas en los puntos M2-LP1S, M3-LS2S, M4-LP1I y M5-LS2I.

#### d. Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Después de la recolección de muestras, estas fueron transportadas al laboratorio bajo condiciones controladas (usando hielo en conservadoras), se procedió a la medición de los parámetros fisicoquímicos:

- ✓ **Potencial de hidrógeno (pH):** Se utilizó un potenciómetro calibrado para medir el pH de cada muestra.
- ✓ **Sólidos totales en suspensión (STS):** Se midieron utilizando el método gravimétrico, filtrando las muestras y secando el residuo filtrado a temperatura constante.
- ✓ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):** Se determinó siguiendo el estándar de incubación a 20°C durante 5 días en condiciones anaeróbicas.
- ✓ **Demanda química de oxígeno (DQO):** Se analizó mediante un espectrofotómetro, utilizando un reactivo específico con el fin de mineralizar la carga orgánica.
- ✓ **Nitratos:** Se utilizaron métodos espectrofotométricos para la cuantificación de nitratos en las muestras, con un reactivo específico.

#### e. Análisis microbiológicos

Para los análisis microbiológicos, de igual manera se tomaron muestras en M1-AF, M2-LP1S, M3-LS2S, M4-LP1I, M5-LS2I y M6-EF.

La metodología para determinar las manifestaciones de los coliformes termotolerantes en el laboratorio fue la siguiente:



### Fase Presuntiva:

- ✓ **Paso 1:** Se elaboró caldo Lauril Trisulfato, empleando para una muestra 4.806 g de dicho caldo disueltos en 135 ml de agua destilada dentro de un matraz Erlenmeyer, el cual posteriormente se agitó en un mezclador magnético para lograr su completa disolución.
- ✓ **Paso 2:** Se emplearon 15 tubos de ensayo, cada uno provisto de una campana Durham y 9 ml de caldo Lauril Trisulfato. Adicionalmente, se requirieron 3 tubos de ensayo con 9 ml de agua destilada.
- ✓ **Paso 3:** Se esterilizó el caldo Lauril en autoclave a 121°C lapso de 20 minutos.
- ✓ **Paso 4:** Tras la esterilización, se procedió a colocar las etiquetas en cada muestra.
- ✓ **Paso 5:** Tras el rotulado, se añadieron 10 ml de muestra a tres tubos de caldo Lauril, 1 ml a tres recipientes de caldo Lauril, y 1 ml a un tubo con agua desionizada. De este último, se transfirió 1 ml a tres recipientes con caldo Lauril (dilución  $10^{-1}$ ) y a 1 tubo de agua desionizada, de este tubo se retiró 1 ml para 3 recipientes con caldo Lauril ( $10^{-2}$ ) y a 1 tubo de agua desionizada, de este tubo se retiró 1 ml para 3 recipientes con caldo Lauril ( $10^{-3}$ ).
- ✓ **Paso 6:** Tras añadir las muestras a los tubos de ensayo, estos se incubaron a 37°C durante 24 horas.
- ✓ **Paso 7:** Finalmente se efectuó la lectura individual de cada solución muestral.



### **Fase confirmativa:**

- ✓ **Paso 1:** Para la preparación del caldo EC, para una muestra se requiere 4.995 gramos del caldo en 135 ml de agua desionizada, se introduce a un matraz Erlenmeyer, luego se lleva al agitador magnético para su solución.
- ✓ **Paso 2:** Se prepararon 15 tubos de ensayo con 9 ml de caldo EC cada uno, los cuales se esterilizaron en autoclave a 121°C durante 20 minutos.
- ✓ **Paso 3:** Tras la esterilización, se procedió a identificar cada tubo con su rótulo.
- ✓ **Paso 4:** Se inoculó la muestra de la fase presuntiva en tubos con caldo EC utilizando un asa de kōli bajo técnica de doble mechero.
- ✓ **Paso 5:** Tras completar la inoculación, se transfirieron los tubos a incubación a 42.5°C por 24 horas.
- ✓ **Paso 6:** Finalmente se registraron los resultados individuales de cada solución muestral.
- ✓ (Énfasis en documentación).

### **f. Trabajo en gabinete:**

Tras obtener los hallazgos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se desarrolló la fase de gabinete, aplicando los LMP fijados en el D.S. N° 031-2010-SA para su comparación con los datos obtenidos mediante tablas y figuras se harán las interpretaciones de los hallazgos. Procedimiento replicado por investigadores previos en sus evaluaciones de la eficiencia de tratamiento de las PTAR domésticas (Mendo Belizario, 2025).

**Objetivo 3:** Determinar la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

Una vez realizada los pasos del ítem 3.9.1. se procedió con los procedimientos para determinar la eficiencia del sistema de lagunas facultativas, para lo cual se realizó lo siguiente:

**a. Cálculo de la eficiencia de remoción de contaminantes**

Se realizó el cálculo de la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos entre el afluente y el efluente. Para ello, se utilizó la fórmula estándar de eficiencia de remoción:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \frac{C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}}{C_{\text{afluente}}} * 100$$

En donde:

- C afluente: Es la concentración de cada parámetro en el afluente.
- C efluente: Es la concentración de cada parámetro en el efluente.

Este cálculo se realizó para cada parámetro fisicoquímico y microbiológico analizado, lo que permitió determinar la reducción en la manifestación de contaminantes a lo largo del proceso de tratamiento.

**b. Comparación con los límites establecidos por la normativa ambiental**

Una vez calculada la eficiencia de remoción para cada parámetro, el siguiente paso fue contrastar los valores registrados con los LMP fijados en la normativa vigente ambiental vigente. Para esto, se consultaron las normativas peruanas y los estándares internacionales sobre el estado del agua, como los adheridos por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010) y la (OMS, 2017), para cada uno de los parámetros.

**Tabla 7***Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.*

N°	Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
1	Aceites y grasas	mg/L	200
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
4	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
5	pH		6.5-8.5
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
7	Temperatura	°C	<35

*Nota.* Cuadro extraído del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, citado por MINAM (2010) .

Para cada parámetro, se verificó si las concentraciones del efluente se encontraban por debajo de los LMP. En caso contrario, se evaluó el funcionamiento del sistema para determinar las posibles causas de la insuficiencia en la remoción de contaminantes.

### **c. Análisis de la eficiencia de remoción por parámetro**

Se analizó la efectividad de remoción para cada uno de los parámetros seleccionados, determinando cuáles parámetros se removieron de manera más eficiente y cuáles mostraron mayores desafíos en el proceso de tratamiento. Los parámetros con mayores eficiencias de remoción indicaron que el sistema de lagunas facultativas estaba funcionando bien en esas áreas, mientras que los parámetros con menores eficiencias indicaron posibles áreas de mejora.



### **d. Evaluación de la conformidad con los límites máximos permisibles**

El siguiente paso fue realizar una evaluación comparativa para determinar si el efluente tratado cumplió los LMP fijados por la normativa vigente. Para ello, se verificaron las concentraciones de cada parámetro en el efluente y se compararon con los valores permitidos. Se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo para determinar el alineamiento del sistema con los requisitos normativos ambientales en cuanto a la calidad del efluente.

### **e. Trabajo en gabinete**

Una vez obtenidos los resultados de la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la erradicación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los LMP, se hizo un análisis de los hallazgos obtenidos dependiendo de las condiciones operativas del sistema y las características del afluente. Se consideraron factores como el tiempo de retención hidráulico, las variaciones estacionales en la carga de contaminantes y la carga orgánica de las aguas depuradas lo que permitió ofrecer una interpretación más precisa de los resultados.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.

El sistema de depuración de aguas servidas domiciliarias en la localidad de Santa Lucía ha sido diseñado para atender un caudal promedio total de 1,054.2 m<sup>3</sup>/d, correspondiente al volumen de aguas depuradas generadas por la población local. Este caudal ingresa al sistema a través del colector principal y, posteriormente, se divide en dos trenes de tratamiento dispuestos en paralelo. Esta configuración contribuye a mantener una operación estable, reduciendo la probabilidad de sobrecarga y asegurando tiempos de retención suficientes para la depuración biológica. Al distribuir el flujo de manera equitativa, el sistema aprovecha la capacidad de tratamiento de ambas líneas en paralelo, garantizando así la eficiencia en la eliminación de materia orgánica y microorganismos patógenos asistentes en las aguas depuradas domésticas.

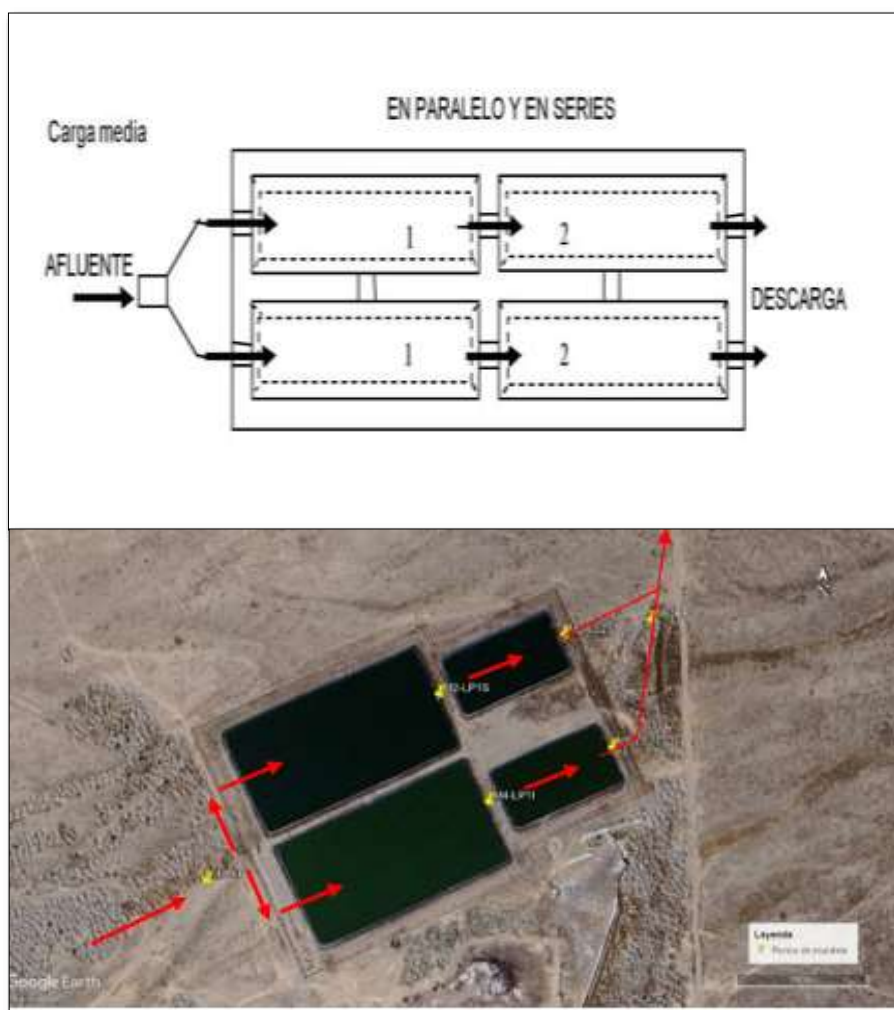
##### a. Descripción general del sistema de tratamiento

Este sistema contempla un proceso de tratamiento compuesto por dos etapas principales: el pretratamiento, orientado a la remoción de sólidos

gruesos que podrían obstruir o dañar las instalaciones posteriores, y el tratamiento secundario, basado en lagunas facultativas dispuestas en serie y en paralelo, que permiten la desintegración de sustancias orgánicas y la erradicación de microorganismos patógenos. A continuación, se detallan las fases del proceso, componentes y características de estas unidades de tratamiento.

### Figura 12

*Diagrama esquemático y vista satelital del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lagunas facultativas en serie-paralelo en el distrito de Santa Lucía.*





La figura 12, muestra la integración de los esquemas presentados y la imagen satelital del sistema de lagunas facultativas en el distrito de Santa Lucía permite visualizar claramente la disposición y secuencia de las unidades de tratamiento. El flujo de entrada al sistema como se mencionó anteriormente es de 1,054.2 m<sup>3</sup>/d, es conducido a través del canal de rejillas, en el cual se remueve el material grueso, para luego ser distribuido de manera equitativa en dos trenes paralelos, con un flujo aproximado de 527.1 m<sup>3</sup>/d por cada tren. Cada tren cuenta con una laguna facultativa primaria seguida de una secundaria, organizadas en serie, optimizando la eliminación de compuestos orgánicos y microorganismos patógenos.

El diagrama de flujo permite entender la secuencia técnica del proceso, desde la recepción del afluente hasta la descarga final, mientras que la imagen satelital con los puntos de muestreo (M1-AF, M2-LP1S, M3-LS2S, M4-LP1I, M5-LS2I, M6-EF) refuerza la interpretación espacial y funcional de las lagunas. Estos puntos ayudan a seguir la trayectoria del agua residual a lo largo del tren de tratamiento, aunque en esta sección no se evalúe su calidad, sirviendo como referencia de control y monitoreo del proceso.

Se observa que la infraestructura cuenta con un diseño robusto que prioriza la simplicidad operativa y el bajo consumo energético, al aprovechar procesos biológicos naturales de estabilización. Sin embargo, del análisis espacial también se infiere la necesidad de un manejo adecuado de los sólidos retenidos en el pretratamiento y del mantenimiento periódico de las estructuras de reparto, para evitar riesgos de obstrucciones y pérdidas de eficiencia por formación de zonas muertas.

En conjunto, la distribución en paralelo y en serie de las lagunas, junto con el sistema de reparto de caudales, constituye una solución eficaz para atender las características de caudal y carga del distrito de Santa Lucía, garantizando un tratamiento progresivo y estable, siempre que se Robustece los procedimientos operativos y el MPE (Mantenimiento Preventivo Estructurado).

### Tabla 8

*Descripción general del sistema de tratamiento de las aguas residuales domesticas en el distrito de Santa Lucia.*

<b>Etapas del Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Componentes</b>	<b>Dimensiones y Características</b>
<b>Pretratamiento</b>	Radica en la separación inicial de residuos sólidos gruesos a través de una cámara de rejillas.	<b>Cámara de Rejas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sistema de Bypass para evitar colmatación.</li><li>- Limpieza manual mediante el uso de un rastrillo.</li></ul>
<b>Tratamiento Secundario</b>	Fase biológica de tratamiento que ocurre en las lagunas facultativas primarias y secundarias.	<b>Lagunas Facultativas Primarias</b>  <b>Lagunas Facultativas Secundarias</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 2 lagunas primarias.</li><li>- Dimensión: 80 m de ancho x 160 m de largo.</li><li>- Área: 12,800 m<sup>2</sup>.</li><li>- Profundidad: 1.5 m.</li><li>- Tiempo de retención: 30 días.</li><li>- Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica.</li><li>- 2 lagunas secundarias.</li><li>- Dimensión: 45 m de ancho x 90 m de largo.</li><li>- Área: 4,050 m<sup>2</sup>.</li><li>- Profundidad: 1.2 m.</li></ul>

- 
- Tiempo de retención: 10 días.
  - Continuación de la remoción biológica de contaminantes.
- 

La tabla 8, describe el sistema de tratamiento de aguas depuradas domésticas, que está conformado por una etapa de pretratamiento con cámara de rejillas para la erradicación de sólidos gruesos, seguida de un tratamiento secundario mediante lagunas facultativas primarias y secundarias. Las lagunas primarias cuentan con dimensiones de 80 m por 160 m, un área de 12,800 m<sup>2</sup>, profundidad de 1.5 m y tiempo de retención de 30 días, encargándose de remover sólidos suspendidos y materia orgánica; en contraste, las unidades secundarias poseen dimensiones de 45 m por 90 m, un área de 4,050 m<sup>2</sup>, profundidad de 1.2 m y tiempo de retención de 10 días, complementando la depuración y contribuyendo a la remoción de microorganismos y otros contaminantes residuales.

#### **b. Proceso de Tratamiento**

En el distrito de Santa Lucía, el sistema de tratamiento de aguas depuradas domésticas implementado busca garantizar la purificación eficiente de las aguas servidas mediante un esquema de tratamiento compuesto por etapas bien definidas. Estas etapas contemplan la recepción inicial del afluente, la separación de sólidos gruesos en el pretratamiento, la distribución del caudal hacia las lagunas facultativas y finalmente la purificación microbiana de la sustancia orgánica, previa a su vertido al medio receptor. Este proceso combina mecanismos físicos y biológicos que facilitan la

eliminación gradual de contaminantes, manteniendo la sencillez operativa y asegurando la protección ambiental.

### Tabla 9

*Proceso de tratamiento de las aguas residuales domesticas en las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.*

Fase del Proceso	Descripción del Proceso
<b>Recepción de Aguas Residuales</b>	Las aguas depuradas domésticas ingresan al sistema de tratamiento por medio del sistema de alcantarillado sanitario, dirigiéndose inicialmente hacia la cámara de rejillas para su pretratamiento.
<b>Pretratamiento (Cámara de Rejas)</b>	En esta etapa se retiran los sólidos gruesos que podrían ocasionar obstrucciones o afectar el funcionamiento de las unidades posteriores. El sistema cuenta con un bypass para emergencias o exceso de sólidos, y la limpieza de las rejillas se realiza de forma manual.
<b>Distribución en Lagunas Facultativas</b>	Posteriormente, el agua pretratada se distribuye de forma uniforme hacia las lagunas facultativas primarias mediante cámaras de reparto, lo que garantiza un flujo equilibrado y previene zonas muertas en las lagunas.
<b>Tratamiento Biológico en Lagunas</b>	Las lagunas facultativas primarias y secundarias realizan la depuración biológica de la materia orgánica. En estas unidades, mediante procesos aeróbicos y anaeróbicos, los microorganismos descomponen la carga orgánica, contribuyendo a la erradicación de partículas coloidales y patógenos biológicos.
<b>Disposición del Efluente Final</b>	Finalmente, el agua tratada en el sistema de lagunas es vertida al río Cabanillas, cumpliendo los parámetros de calidad señalados por la normativa ambiental vigente.

La tabla 9 resume el proceso de tratamiento de las aguas depuradas domésticas en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, el cual se inicia con la recepción del agua depuradas derivadas del sistema de alcantarillado y su paso por una cámara de rejillas para remover sólidos



gruesos. Posteriormente, el caudal pretratado se distribuye de manera uniforme en las lagunas facultativas primarias mediante cámaras de reparto, evitando zonas muertas y optimizando el flujo. En las lagunas facultativas primarias y secundarias se lleva a cabo la depuración biológica mediante la acción de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, logrando la biodegradación de sustancias carbonáceas y la eliminación de agentes patógenos. Finalmente, el efluente tratado es descargado al río Cabanillas debiendo cumplir con los criterios de calidad ambiental establecidos.

### **c. Condiciones Operativas y Deficiencias**

Para evaluar integralmente el sistema depurador de aguas depuradas domésticas del distrito de Santa Lucía, no solo es necesario describir su diseño y funcionamiento, sino también identificar el contexto operacional efectivo y las posibles deficiencias que puedan afectar su rendimiento. Estas condiciones operativas son determinantes para garantizar la eficacia y resiliencia operativa del sistema, así como para prevenir impactos ambientales adversos derivados de una gestión inadecuada. En la tabla siguiente se detallan los aspectos fundamentales observados durante la operación del sistema de lagunas facultativas, incluyendo tanto las prácticas actuales como las limitaciones detectadas.

**Tabla 10**

*Condiciones operativas y deficiencias en el proceso de tratamiento de las aguas residuales domesticas en las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.*

<b>Aspecto</b>	<b>Condición Observada</b>
Mantenimiento de la Cámara de Rejas.	El mantenimiento de la cámara de rejas se realiza manualmente utilizando rastrillos, lo que implica una dependencia del recurso humano y posibles riesgos sanitarios para el personal.
Disposición de los Sólidos.	Los sólidos gruesos y medianos extraídos en el pretratamiento se almacenan en una zona aledaña sin gestión ni disposición final adecuada, lo que genera un potencial foco de contaminación biológica y malos olores.
Distribución del Flujo en las Lagunas.	El flujo de aguas depuradas se distribuye equitativamente mediante cámaras de reparto para optimizar la eficiencia del tratamiento, sin embargo, podrían presentarse zonas de flujo preferencial si no se hace mantenimiento continuo.

La tabla 10 evidencia que, si bien el sistema depurador de aguas depuradas en Santa Lucía cuenta con una infraestructura adecuada para su propósito, persisten limitaciones operativas significativas que podrían comprometer su desempeño a largo plazo. Entre los aspectos críticos se destaca la gestión manual de la cámara de rejas, la cual expone al personal a riesgos sanitarios y depende de una operación constante que no siempre se garantiza. Asimismo, la disposición inadecuada de los sólidos gruesos removidos representa un riesgo ambiental y de salud pública, pues pueden convertirse en focos de proliferación de vectores y generar contaminación secundaria. Por otro lado, aunque la distribución del flujo en las lagunas es técnicamente correcta, la insuficiencia en las prácticas de preservación



frecuente en las estructuras de reparto podría derivar en la formación de zonas muertas, reduciendo la eficiencia de depuración biológica. Por ello, resulta prioritario implementar mejoras en la gestión de desechos sólidos y reforzar el mantenimiento preventivo de las estructuras para garantizar la sostenibilidad y la eficacia del sistema en el tiempo.

#### **4.1.2. Concentración de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.**

Con el fin de alcanzar este objetivo concreto, se efectuó el seguimiento de los indicadores clave fisicoquímicos y microbiológicos del sistema de lagunas facultativas, a fin de determinar las manifestaciones de dichos parámetros en el afluente y en el efluente del tratamiento. Este análisis fue esencial con el fin de analizar las propiedades del agua bruta y valorar el rendimiento del tren de tratamiento y certificar la observancia de los requisitos ambientales aplicable. Las mediciones se llevaron a cabo en seis puntos de muestreo estratégicamente situada en el sistema, que permiten seguir la trayectoria del flujo desde el ingreso hasta la descarga final, y que se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 11**

*Concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente en el sistema de las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucia.*

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo					
		M1-AF	M2-LP1S	M3-LS2S	M4-LP1I	M5-LS2I	M6-EF
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.9	7.5	7.4	7.3	7.5	7.4
Solidos totales en suspensión	mg/L	428.0	110	88	138	92	85
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	389.9	260.0	68.0	199.0	72.0	77.0
Demanda química de oxígeno	mg/L	595.0	410.0	140.0	421.0	125.0	114.0
Nitratos	mg/L	13.2	9.0	6.3	10.1	7.0	6.8
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	24000000	23000	93	11000	110	110

*Nota.* M → Muestreo, M1-AF → Afluente, M2-LP1S → Laguna Primaria 1 Superior, M3-LS2S → Laguna Secundaria 2 Superior, M4-LP1I → Laguna Primaria 1 Inferior, M5-LS2I → Laguna Secundaria 2 Inferior y M6-EF → Efluente Final.

La tabla 11, presenta los niveles de indicadores físico-químicos y microbiológicos en la entrada y salida del sistema de lagunas facultativas. En donde, se observa que para el pH los valores se mantienen ligeramente neutros a alcalinos, entre 7.3 y 7.9, sin variaciones críticas que afecten el proceso biológico. Sobre los materiales suspendidos de origen particulado, se evidencia una reducción notable desde 428 mg/L en el afluente hasta 85 mg/L en el efluente final, reflejando una remoción superior al 80%, lo que indica una buena sedimentación y retención de sólidos en el sistema. La DBO<sub>5</sub> también



muestra un comportamiento descendente significativo, pasando de 389.9 mg/L en el ingreso a 77 mg/L en la descarga final, lo que representa una remoción aproximada del 80%, consistente con un adecuado proceso de estabilización orgánica. De manera similar, la DQO se reduce de 595 mg/L a 114 mg/L, confirmando la reducción de materia orgánica biodegradable y no biodegradable. En cuanto a los nitratos, se observa una reducción moderada de 13.2 mg/L en el afluente a 6.8 mg/L en el efluente, lo que puede atribuirse a procesos de asimilación por biomasa algal. Por último, los coliformes termotolerantes presentan un decrecimiento muy marcado, desde 2,400,000 NMP/100mL hasta 110 NMP/100mL en el punto de vertido, evidenciando la efectividad de la exposición solar, la sedimentación y el tiempo de retención en la reducción de microorganismos patógenos.

En conjunto, estos resultados demuestran que el sistema de lagunas facultativas logra una depuración positiva de las aguas residuales domésticas, generando un efluente con características que se aproximan a los valores exigidos por la normativa ambiental, aunque se recomienda un monitoreo continuo para garantizar su sostenibilidad.

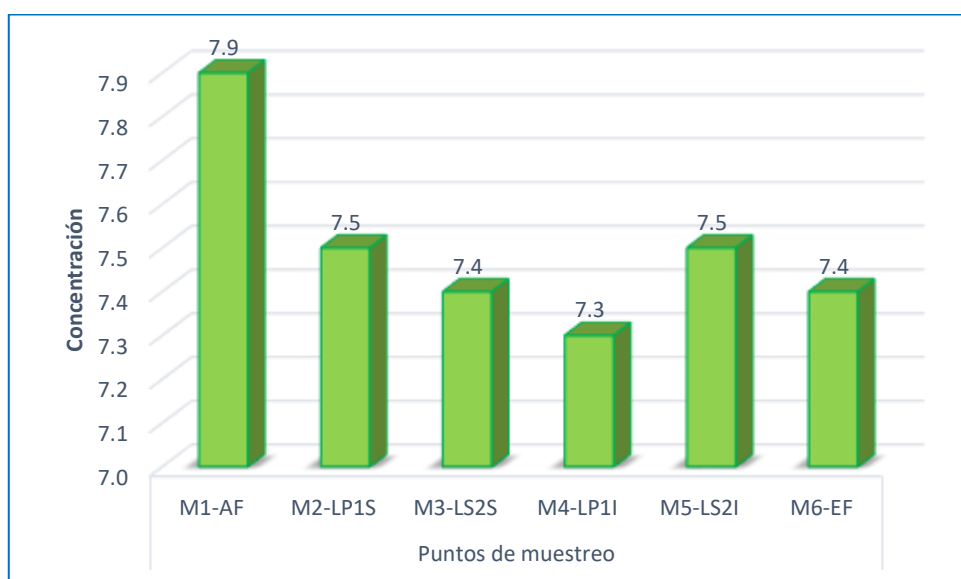
A continuación, se evidencia el análisis individual de cada uno de los criterios fisicoquímicos y microbiológicos evaluados, con el propósito de describir de manera más detallada su comportamiento a lo largo de las diferentes fases del tren de depuración. Para ello, se incluyen representaciones gráficas que ilustran la evolución de cada parámetro desde el ingreso del agua depurada doméstica hasta su descarga final, permitiendo valorar de forma más clara la eficiencia de eliminación del sistema de lagunas facultativas.

### ❖ **Potencial de Hidrogeno:**

En esta sección se detalla el comportamiento del pH en los diferentes puntos de muestreo, a fin de analizar el estado del agua residual a lo largo del tratamiento.

#### **Figura 13**

*Variación de las concentraciones del potencial de hidrógeno (pH) en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 13 representa la variación de las concentraciones del pH en los distintos puntos del sistema de tratamiento de aguas depuradas a través de lagunas facultativas dispuestas en paralelo y en serie. Al inicio del sistema, en el punto M1-AF (afluente general), el pH registrado es de 7.9, lo que indica condiciones ligeramente alcalinas propias de aguas depuradas domésticas.

Posteriormente, en la laguna facultativa primaria superior (M2-LP1S) el pH disminuye a 7.5, y en la laguna facultativa secundaria superior (M3-LS2S) desciende a 7.4. Este comportamiento se atribuye a los procesos biológicos de oxidación de materia orgánica que generan ácidos intermedios, provocando ligeras disminuciones de pH. De forma similar, en el tren inferior,

la laguna facultativa primaria inferior (M4-LP1I) presenta un pH de 7.3, mientras que en la laguna facultativa secundaria inferior (M5-LS2I) vuelve a incrementarse a 7.5. Finalmente, el efluente final en M6-EF mantiene un pH de 7.4, estabilizado antes de su vertido al cuerpo receptor.

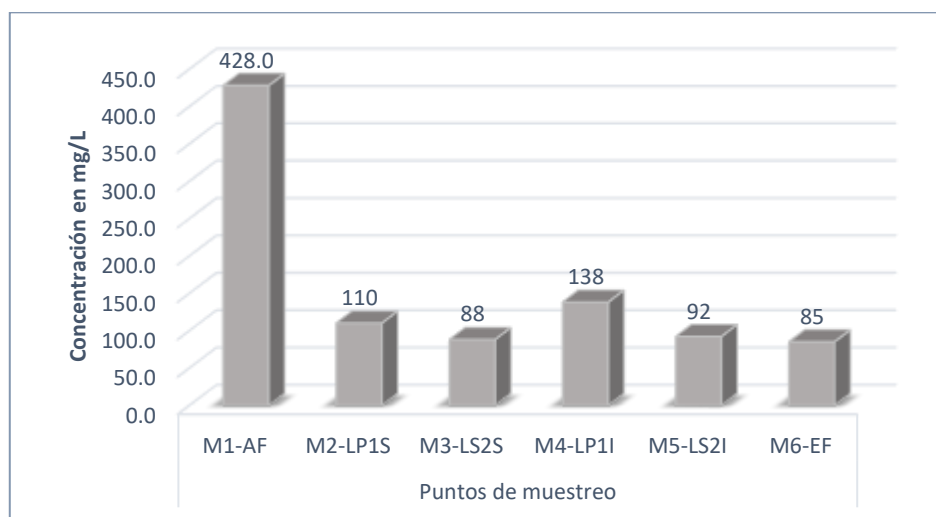
En general, los valores de pH en todo el sistema se mantienen dentro de rangos aceptables (6.5–8.5) según normativa ambiental, asegurando condiciones apropiadas para la actividad de los microorganismos involucrados en el tratamiento biológico. Esto refleja que el proceso de depuración no genera ambientes extremos que puedan comprometer la eficiencia del sistema de lagunas facultativas.

#### ❖ **Sólidos Totales en Suspensión en mg/L:**

A continuación, se presenta la evolución de las manifestaciones de STS en los diferentes puntos de muestreo, con el fin de evaluar la capacidad del sistema de lagunas facultativas para remover la carga de sólidos presentes en las aguas depuradas. La figura 14 ilustra esta variación.

#### **Figura 14**

*Variación de las concentraciones de Sólidos Totales en Suspensión en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 14 manifiesta la variación de las concentraciones de SST a lo largo de los diferentes puntos de muestreo del sistema de lagunas facultativas. El afluente (M1-AF) presenta una manifestación inicial elevada de 428 mg/L, reflejando la alta carga de sólidos propios de las aguas depuradas domésticas sin tratamiento.

En la laguna facultativa primaria superior (M2-LP1S) la manifestación disminuye considerablemente a 110 mg/L, evidenciando un proceso efectivo de sedimentación en la primera etapa de tratamiento. Esta tendencia de remoción de sólidos se mantiene en la laguna secundaria superior (M3-LS2S) con un valor de 88 mg/L. En el tren inferior, la laguna primaria inferior (M4-LP1I) también reduce los sólidos hasta 138 mg/L, y la laguna secundaria inferior (M5-LS2I) a 92 mg/L. Finalmente, el efluente final (M6-EF) presenta una concentración de 85 mg/L, lo que confirma la eficacia global del procedimiento en la mitigación de sólidos en suspensión.

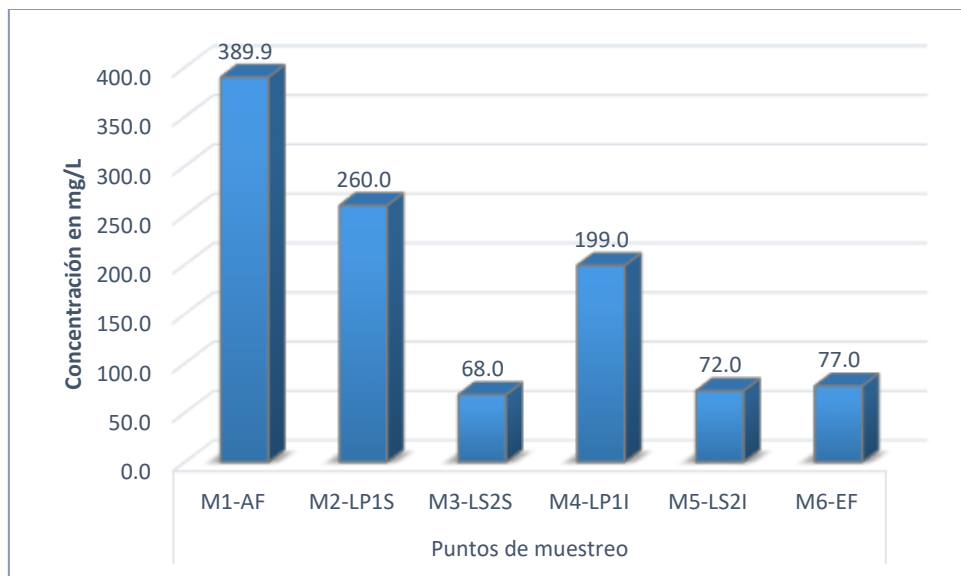
Este comportamiento demuestra la adecuada capacidad del sistema de lagunas para retener sólidos mediante procesos de sedimentación, favorecidos por el tiempo de retención y las condiciones de flujo controladas en las diferentes unidades. La disminución progresiva de los SST en ambos trenes asegura un efluente final que acata con los criterios de calidad para disposición o posible reúso.

#### ❖ **Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L:**

En esta sección se describe el desempeño del DBO5 en múltiples puntos de control, con el fin de evaluar la efectividad del sistema de lagunas facultativas en la minimización de la carga orgánica biodegradable. A continuación, se presenta la variación observada en la figura 15.

**Figura 15**

*Variación de las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 15 manifiesta la evolución de las manifestaciones de  $DBO_5$  a lo largo de los diferentes puntos del sistema de tratamiento. En el afluente (M1-AF), se registra una concentración inicial elevada de 389.9 mg/L, característica de aguas depuradas domésticas con alta carga orgánica.

Al ingresar a la laguna facultativa primaria superior (M2-LP1S), la  $DBO_5$  disminuye a 260 mg/L, y de forma aún más pronunciada en la laguna secundaria superior (M3-LS2S) alcanza 68 mg/L, reflejando un proceso de biodegradación eficiente en el tren superior. En el tren inferior, la laguna facultativa primaria inferior (M4-LP1I) reduce la  $DBO_5$  a 199 mg/L, mientras que la laguna secundaria inferior (M5-LS2I) logra bajarla hasta 72 mg/L. Finalmente, en el efluente final (M6-EF), la concentración se mantiene en 77 mg/L, lo que evidencia una remoción global cercana al 80% respecto al ingreso.

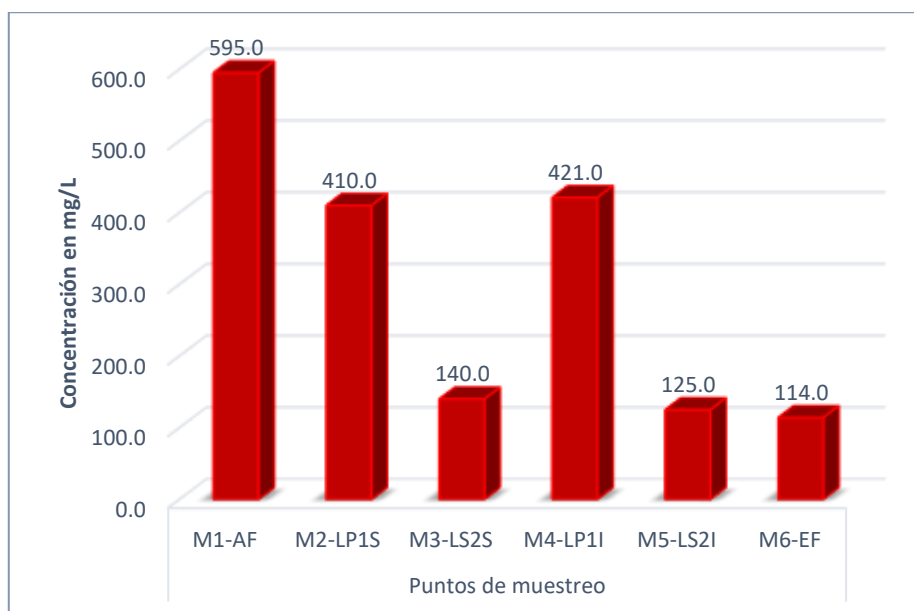
Estos resultados evidencian el adecuado desempeño del sistema en la eliminación de materia orgánica biodegradable, gracias a la acción conjunta de procesos aeróbicos y anaeróbicos, duración de permanencia del fluido prolongados y condiciones favorables de estabilización biológica en las lagunas facultativas.

#### ❖ **Demanda Química de Oxígeno en mg/L:**

A continuación, se analiza el comportamiento de la DQO a lo largo de los diferentes puntos de muestreo, con el objetivo de evaluar la minimización de la carga orgánica total en el sistema de lagunas facultativas. La figura 16 muestra la variación observada en este parámetro.

#### **Figura 16**

*Variación de las concentraciones de la Demanda Química de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 16 representa la evolución de las concentraciones de DQO a través del sistema de tratamiento. En el afluente (M1-AF), se registra un valor inicial elevado de 595 mg/L, reflejando la alta presencia de materia orgánica biodegradable y no biodegradable en el agua depurada doméstica.



En el tren superior, la laguna facultativa primaria superior (M2-LP1S) reduce la DQO a 410 mg/L, mientras que en la laguna secundaria superior (M3-LS2S) alcanza los 140 mg/L, evidenciando un proceso efectivo de oxidación y sedimentación. En el tren inferior, la laguna facultativa primaria inferior (M4-LP1I) mantiene una concentración de 421 mg/L, que luego se reduce de manera significativa en la laguna secundaria inferior (M5-LS2I) a 125 mg/L. Finalmente, en el efluente final (M6-EF), la DQO llega a 114 mg/L, confirmando una remoción global de aproximadamente el 80% respecto al valor inicial.

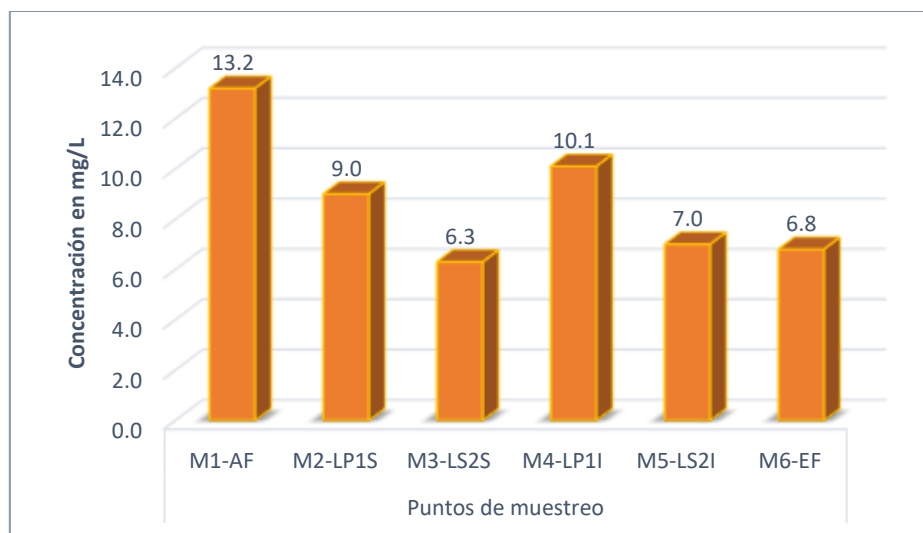
Este comportamiento indica que el sistema de lagunas facultativas logra degradar gran parte de la materia orgánica presente en el afluente, combinando procesos biológicos y físico-químicos para transformar y estabilizar los contaminantes. La disminución progresiva de la DQO garantiza un efluente con menor potencial de impacto ambiental sobre el cuerpo receptor.

#### ❖ **Nitratos en mg/L:**

En esta sección se examina el comportamiento de los nitratos a lo largo de los diferentes puntos de muestreo, con el propósito de valorar el desempeño del sistema de lagunas facultativas en la reducción de compuestos nitrogenados. La figura 17 muestra la variación de este indicador en el proceso de tratamiento.

**Figura 17**

*Variación de las concentraciones de nitratos en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 17 presenta la variación de las manifestaciones de nitratos en los diferentes puntos de la planta depuradora. En el afluente (M1-AF), se registra un valor inicial de 13.2 mg/L, que desciende a 9.0 mg/L en la laguna facultativa primaria superior (M2-LP1S) y a 6.3 mg/L en la laguna secundaria superior (M3-LS2S), lo cual evidencia cierta remoción de nitrógeno inorgánico en el tren superior del sistema.

En el tren inferior, la laguna facultativa primaria inferior (M4-LP1I) muestra un repunte a 10.1 mg/L, posiblemente por procesos de mineralización de la materia orgánica que liberan nitratos al medio acuático. Posteriormente, en la laguna secundaria inferior (M5-LS2I) la concentración disminuye nuevamente a 7.0 mg/L, y finalmente en el efluente (M6-EF) se estabiliza en 6.8 mg/L.

Este comportamiento sugiere que el sistema de lagunas facultativas logra reducir parcialmente los nitratos, especialmente en las etapas secundarias, gracias a la asimilación por biomasa algal y a procesos de sedimentación de sólidos con nitrógeno. Sin embargo, podrían existir procesos de recirculación

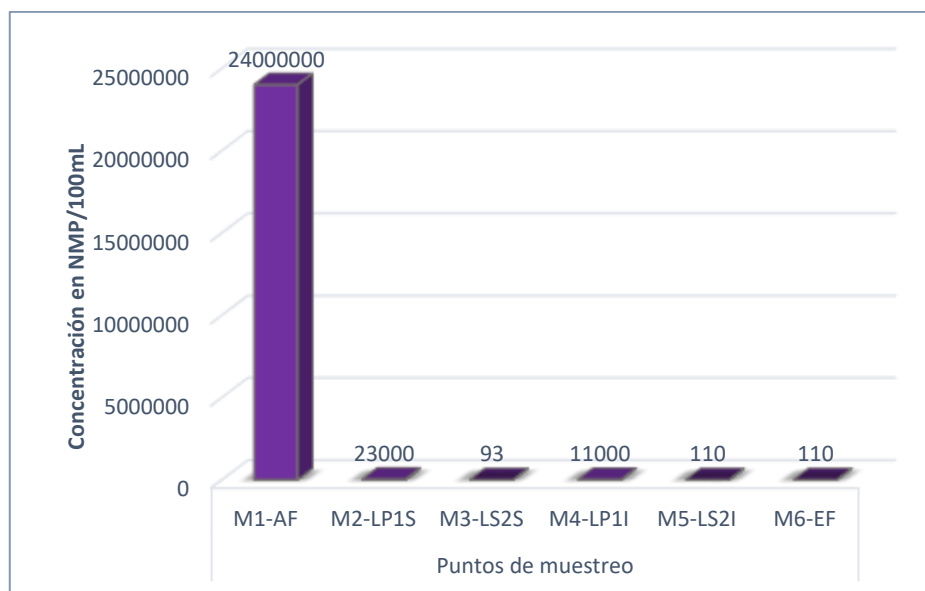
y liberación de nitratos en las zonas anaerobias que expliquen los ligeros incrementos observados en algunas etapas. En conjunto, la concentración de nitratos en el efluente final es moderada y cumple rangos aceptables para vertimiento en cuerpos de agua, pero sería recomendable un monitoreo periódico para evitar posibles impactos en la calidad del recurso receptor.

### ❖ **Coliformes Termotolerantes en NMP/100mL:**

En esta sección se analiza la evolución de las concentraciones de coliformes termotolerantes a lo largo de los diferentes puntos de muestreo, con el objetivo de evaluar la capacidad del sistema de lagunas facultativas para mitigar la carga microbiológica presente en las aguas depuradas. La figura 18 presenta la variación observada para este parámetro.

### **Figura 18**

*Variación de las concentraciones de los Coliformes Termotolerantes en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 18 manifiesta la tendencia de los coli termotolerantes en los diferentes puntos del sistema de tratamiento. En el afluente (M1-AF), la concentración inicial es extremadamente elevada, con 24,000,000



NMP/100mL, lo cual es característico de las aguas depuradas domésticas crudas.

Al pasar a la laguna facultativa primaria superior (M2-LP1S), se observa una reducción drástica hasta 23,000 NMP/100mL, lo que evidencia la alta efectividad de los procesos de sedimentación, inactivación solar y predación biológica en esta primera etapa. En la laguna secundaria superior (M3-LS2S), la concentración disminuye aún más a 93 NMP/100mL. En el tren inferior, la laguna primaria inferior (M4-LP1I) muestra una concentración de 11,000 NMP/100mL, y la laguna secundaria inferior (M5-LS2I) la reduce a 110 NMP/100mL. Finalmente, en el efluente final (M6-EF), se mantiene en 110 NMP/100mL, reflejando una remoción global muy significativa superior al 99% respecto al afluente.

Estos resultados confirman la elevada eficiencia del sistema de lagunas facultativas para eliminar microorganismos patógenos, gracias a la exposición prolongada a la radiación solar, los tiempos de retención hidráulica y la depredación bacteriana en el ecosistema de las lagunas. De esta manera, el sistema logra generar un efluente con bajo riesgo microbiológico para su descarga al cuerpo receptor.

#### **4.1.3. Eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.**

En esta sección se analiza la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, considerando el diseño en paralelo y en serie del sistema. Se ha evaluado la concentración del afluente y el efluente final, así como los % de remoción en las diferentes

etapas del tratamiento: lagunas primarias (superior e inferior) y lagunas secundarias (superior e inferior). Además, los hallazgos logrados se contrastan con los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM, con el fin de determinar si el sistema cumple con los estándares requeridos para la descarga o reúso de aguas depuradas.

**Tabla 12**

*Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el tren superior de las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucía.*

Parámetro	Unidad	Lagunas facultativas en paralelo y en serie - tren superior				
		M1-AF (afluente)	M2-LP1S	Eficiencia de remoción (%)	M3-LS2S	Eficiencia de remoción (%)
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.9	7.5	No aplica por ser parámetro cualitativo	7.4	No aplica por ser parámetro cualitativo
Solidos totales en suspensión	mg/L	428.0	110	74.3	88	20.0
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	389.9	260.0	33.3	68.0	73.8
Demanda química de oxígeno	mg/L	595.0	410.0	31.1	140.0	65.9
Nitratos	mg/L	13.2	9.0	31.8	6.3	30.0
Coliformes termotolerantes	NMP/10 0mL	24000000	23000	99.9	93	99.6

*Nota.* M1-AF → Afluente, M2-LP1S → Laguna Primaria 1 Superior, M3-LS2S → Laguna Secundaria 2 Superior.



La tabla 12, manifiesta la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el tren superior del sistema de lagunas facultativas en paralelo y en serie. Se evidencia que el pH, al ser un parámetro cualitativo, no se calcula su eficiencia de remoción, aunque presenta una ligera disminución de 7.9 a 7.4 unidades de pH a lo largo del sistema.

En cuanto a los sólidos totales en suspensión, el sistema evidencia una remoción progresiva desde 428.0 mg/L en el afluente hasta 88 mg/L en la Laguna Secundaria 2 Superior, alcanzando una eficiencia de 74.3 % en la Laguna Primaria 1 Superior y 20.0 % en la secundaria. Respecto a la  $DBO_5$ , se parte de una manifestación inicial de 389.9 mg/L, disminuyendo a 68.0 mg/L, con eficiencias de remoción de 33.3 % en la laguna primaria superior y 73.8 % en la secundaria, lo cual refleja una mejora significativa en la calidad del agua. Para la DQO, el sistema reduce los niveles de 595.0 mg/L a 140.0 mg/L, logrando una efectividad de 31.1 % en la primera etapa y 65.9 % en la segunda. En el caso de los nitratos, la remoción fue más modesta, reduciéndose de 13.2 mg/L a 6.3 mg/L, con eficiencias respectivas de 31.8 % y 30.0 %. Finalmente, los coliformes termotolerantes evidenciaron una eliminación drástica, bajando de 24,000,000 NMP/100 mL en el afluente a 93 NMP/100 mL en la LS2S, con una efectividad de 99.9 % en la laguna primaria y 99.6 % en la secundaria, destacándose como uno de los parámetros con mayor eficiencia de remoción.

**Tabla 13**

*Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el tren inferior de las lagunas facultativas, del distrito de Santa Lucía.*

Parámetro	Unidad	Lagunas facultativas en paralelo y en serie - tren inferior				
		M1-AF (afluente)	M4-LP1I	Eficiencia de remoción (%)	M5-LS2I	Eficiencia de remoción (%)
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.9	7.3	No aplica por ser parámetro cualitativo	7.5	No aplica por ser parámetro cualitativo
Sólidos totales en suspensión	mg/L	428.0	138	67.8	92	33.3
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	389.9	199.0	49.0	72.0	63.8
Demanda química de oxígeno	mg/L	595.0	421.0	29.2	125.0	70.3
Nitratos	mg/L	13.2	10.1	23.5	7.0	30.7
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	24000000	11000	100.0	110	99.0

*Nota.* M1-AF → Afluente, M4-LP1I → Laguna Primaria 1 Inferior, M5-LS2I → Laguna Secundaria 2 Inferior.

La tabla 13, muestra las concentraciones y eficiencias de eliminación de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el tren inferior del sistema de lagunas facultativas. Este tren está compuesto por la Laguna Primaria 1 Inferior (LP1I) y la Laguna Secundaria 2 Inferior (LS2I), operando en configuración en paralelo y en serie.



Respecto al potencial de hidrógeno (pH), al igual que en el tren superior, no se calcula una eficiencia por tratarse de un parámetro cualitativo. No obstante, se evidencia una leve disminución desde 7.9 (afluente) hasta 7.5 (LS2I), manteniéndose dentro del intervalo óptimo para procesos biológicos aeróbicos y facultativos.

Para los STS, el sistema parte de una manifestación de 428.0 mg/L en el afluente, reduciéndose a 138 mg/L en la LP1I, lo que representa una eficiencia de remoción del 67.8 %. Luego, en la LS2I se llega a 92 mg/L, con una eficiencia adicional del 33.3 %. Estos resultados reflejan una buena capacidad de sedimentación de sólidos en ambas etapas del tren inferior.

En cuanto a la DBO<sub>5</sub>, se observa una concentración inicial de 389.9 mg/L, que se reduce a 199.0 mg/L en la LP1I (49.0 %) y a 72.0 mg/L en la LS2I (63.8 %), lo que evidencia una degradación progresiva de la materia orgánica biodegradable.

Respecto a la DQO, se registra una disminución de 595.0 mg/L a 421.0 mg/L en la LP1I (29.2 %) y a 125.0 mg/L en la LS2I (70.3 %). Estos valores reflejan una remoción eficiente de materia orgánica, tanto biodegradable como refractaria, siendo el tren inferior ligeramente más eficiente que el tren superior en este parámetro.

En el caso de los nitratos, la concentración inicial de 13.2 mg/L disminuye a 10.1 mg/L en la LP1I (23.5 %) y luego a 7.0 mg/L en la LS2I (30.7 %). Aunque las eficiencias no son altas, indican procesos activos de absorción por biomasa o desnitrificación parcial en condiciones favorables.

Finalmente, los coliformes termotolerantes presentan una drástica reducción, desde 24,000,000 NMP/100 mL en el afluente a 11,000 en la LP1I

(100.0 %), y posteriormente a 110 en la LS2I (99.0 %). Este comportamiento demuestra una excelente eficiencia microbiológica del tren inferior, cumpliendo los límites normativos y destacándose como una etapa crítica en la desinfección del efluente.

**Tabla 14**

*Eficiencia de remoción del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en el distrito de Santa Lucía.*

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente	Eficiencia de remoción (%)
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.9	7.4	No aplica por ser parámetro cualitativo.
Sólidos totales en suspensión	mg/L	428.0	85	80.1
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	389.9	77.0	80.3
Demanda química de oxígeno	mg/L	595.0	114.0	80.8
Nitratos	mg/L	13.2	6.8	48.5
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	24000000	110	99.9995

La tabla 13, manifiesta la eficiencia global del sistema de lagunas facultativas en la eliminación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, considerando el valor del afluente y el efluente final. Se observa que el sistema logra altas eficiencias de remoción para los principales contaminantes:

- Sólidos totales en suspensión: presentan una reducción del 80.1 %, reflejando una buena capacidad de sedimentación.
- Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y demanda química de oxígeno (DQO) muestran eficiencias de remoción del 80.3 % y 80.8 %, respectivamente.

respectivamente, indicando una degradación eficiente de la materia orgánica.

- En el caso de los nitratos, la remoción alcanzó el 48.5 %, lo cual revela una eficiencia moderada, posiblemente limitada por las condiciones para procesos de desnitrificación.
- Finalmente, la remoción de coliformes termotolerantes fue de 99.9995 %, destacando una alta capacidad del sistema para la desinfección microbiológica.

Estos resultados evidencian que el sistema de tratamiento mediante lagunas facultativas en Santa Lucía es altamente eficaz en la remoción en su mayoría de los contaminantes analizados, cumpliendo con los objetivos ambientales de saneamiento.

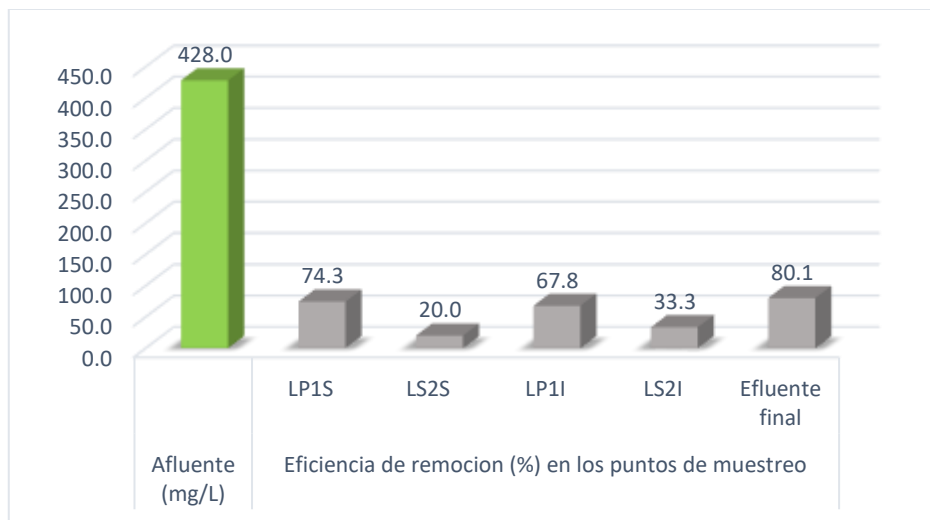
A continuación, se presentan las figuras correspondientes a la eficiencia de remoción (%) de cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el sistema de lagunas. Estas representaciones gráficas permiten visualizar de forma clara y comparativa el comportamiento del sistema en términos de tratamiento, destacando el rendimiento de cada etapa del proceso para los distintos contaminantes analizados.

#### ❖ **Eficiencia de remoción (%) de los sólidos totales en suspensión**

En esta sección se presenta la eficiencia de remoción de los STS a lo largo del sistema de lagunas facultativas. Esta evaluación permite conocer el rendimiento de cada una de las unidades que conforman el sistema en paralelo y en serie, con respecto a su capacidad de reducir la carga contaminante inicial del afluente.

**Figura 19**

*Eficiencia de remoción (%) de los sólidos totales en suspensión en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 19 manifiesta el rendimiento de eliminación (%) de SST en el sistema de lagunas facultativas. El afluente inicial (M1-AF) presenta una concentración elevada de sólidos (428.0 mg/L), reflejando una alta carga contaminante.

En la primera etapa, las lagunas primarias superior e inferior (LP1S y LP1I), que operan en paralelo, logran una eficiencia de remoción del 74.3 % y 67.8 % respectivamente, lo que evidencia una significativa sedimentación de partículas suspendidas. Posteriormente, los efluentes de las lagunas primarias se dirigen a las lagunas secundarias superior e inferior (LS2S y LS2I), dispuestas en serie, donde la eficiencia adicional de remoción es del 20.0 % y 33.3 %. Esta reducción menor respecto a las lagunas primarias indica que la mayor parte de los sólidos ya fueron eliminados en la primera etapa, mientras que la segunda etapa actúa como un proceso de pulimiento.

Finalmente, al comparar el efluente final con el afluente inicial, se observa una eficiencia global del 80.1 %, lo cual manifiesta que el sistema en su

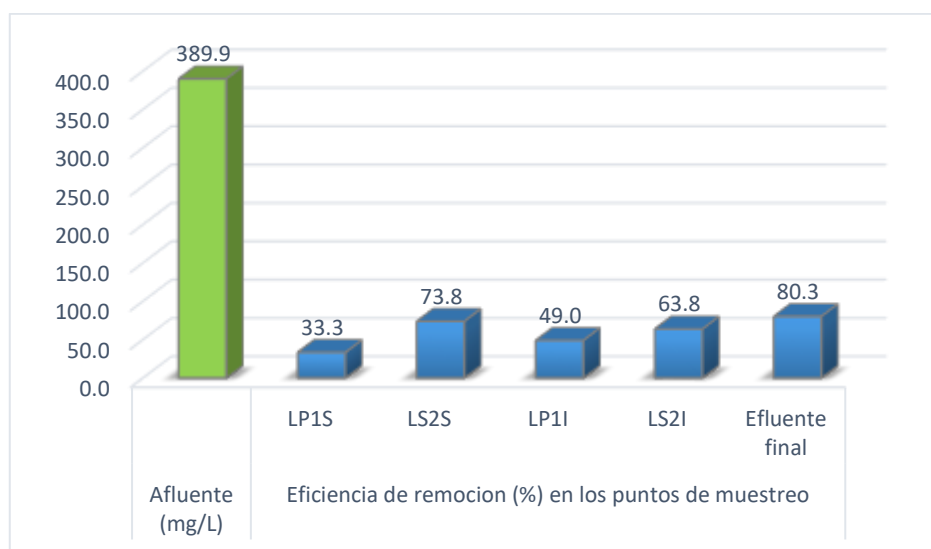
conjunto es eficaz en la remoción de STS, mejorando notablemente la condición del agua previo a su descarga definitiva.

#### ❖ Eficiencia de remoción (%) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

A continuación, se analiza la eficiencia de remoción de la  $DBO_5$  en el sistema de tratamiento, considerando cada una de las lagunas facultativas dispuestas en paralelo y en serie, con el objetivo de evaluar el rendimiento del proceso en la mitigación de materia orgánica biodegradable.

#### Figura 20

*Eficiencia de remoción (%) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 20, manifiesta la eficiencia de remoción (%) de la  $DBO_5$  en el sistema de lagunas facultativas. El afluente inicial (M1-AF) presenta una concentración elevada de  $DBO_5$  (389.9 mg/L), demostrando una alta presencia de compuestos orgánicos biodegradables.

En la primera fase del tratamiento, la Laguna Primaria 1 Superior (LP1S) logra una remoción del 33.3 %, mientras que la Laguna Primaria 1 Inferior (LP1I) alcanza un 49.0 %. Estos resultados sugieren que ambas lagunas



primarias contribuyen significativamente a la degradación inicial de materia orgánica, aunque con diferente eficiencia, posiblemente por diferencias en carga hidráulica, tiempo de retención o condiciones internas. En la segunda etapa, las lagunas secundarias (LS2S y LS2I), conectadas en serie con las primarias, logran eficiencias adicionales de 73.8 % y 63.8 %, respectivamente. Estas lagunas desempeñan un papel importante en la estabilización y reducción final de la materia orgánica remanente, gracias a la acción de microorganismos en condiciones más estabilizadas.

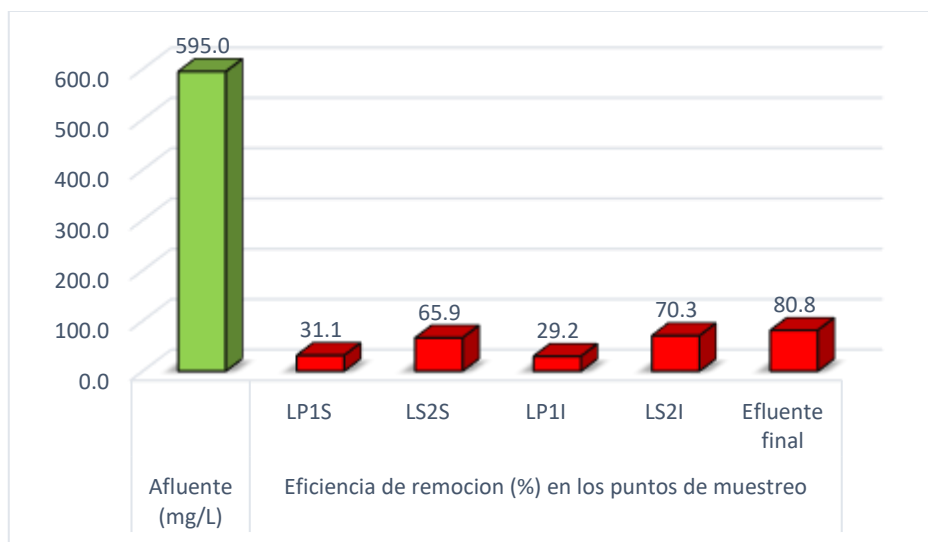
Finalmente, el sistema completo alcanza una eficiencia global del 80.3 % al comparar la  $DBO_5$  del efluente final con el afluente inicial, lo cual evidencia que el sistema de lagunas facultativas opera con un buen rendimiento en la remoción de materia orgánica biodegradable, dentro de los márgenes aceptables para sistemas de tratamiento por lagunas en regiones altoandinas.

### ❖ **Eficiencia de remoción (%) de la Demanda Química de Oxígeno**

A continuación, se detalla el estudio de la efectividad en la reducción de la DQO en el sistema de tratamiento mediante lagunas facultativas, evaluando el comportamiento de las lagunas primarias y secundarias dispuestas en paralelo y en serie en relación con la carga orgánica inicial.

**Figura 21**

*Eficiencia de remoción (%) de la Demanda Química de Oxígeno en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 21, manifiesta la eficiencia de remoción (%) de la DQO en el sistema de lagunas facultativas. El afluente inicial (M1-AF) presenta una elevada carga orgánica química, con una concentración de 595.0 mg/L, lo cual evidencia un significativo nivel de materia orgánica oxidizable.

En la primera etapa del tratamiento, la Laguna Primaria 1 Superior (LP1S) alcanza una eficiencia de remoción de 31.1 %, mientras que la Laguna Primaria 1 Inferior (LP1I) remueve un 29.2 %. Estas eficiencias, aunque moderadas, reflejan la acción inicial del proceso de degradación de compuestos orgánicos por mecanismos físico-químicos y biológicos. Posteriormente, las lagunas secundarias conectadas en serie registran una mejora significativa: la LS2S alcanza una remoción del 65.9 %, y la LS2I logra 70.3 %, demostrando una acción más eficiente en la oxidación de la materia orgánica remanente. Esta mejora puede atribuirse al mayor tiempo de retención, mayor estabilización de las condiciones aerobias y mayor actividad biológica.

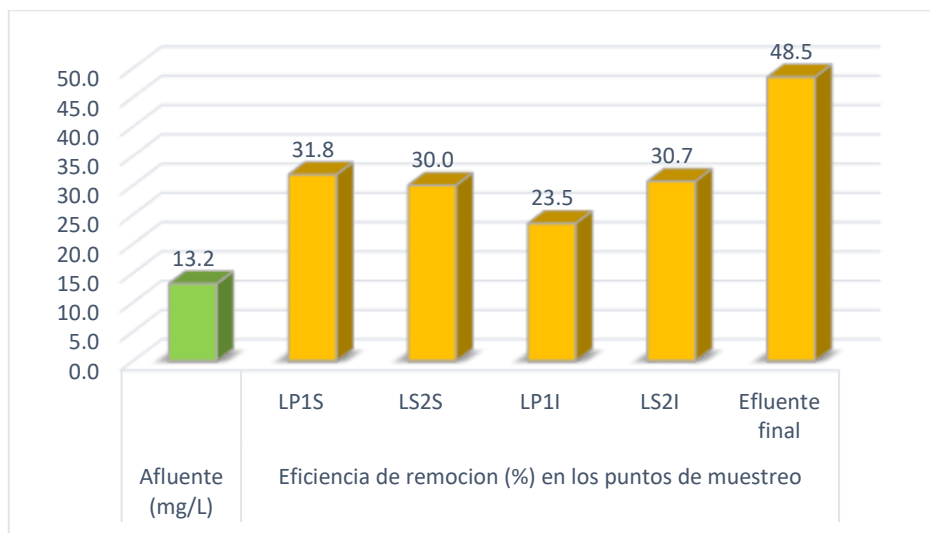
Finalmente, el sistema completo alcanza una eficiencia global del 80.8 % al comparar el afluente inicial con el efluente final, indicando que el sistema de tratamiento mediante lagunas facultativas presenta un buen desempeño en la remoción de DQO, siendo eficaz para reducir contaminantes orgánicos resistentes, siempre dentro del contexto de sistemas naturales de tratamiento.

### ❖ Eficiencia de remoción (%) de los nitratos

En esta sección se analizará la eficiencia de remoción de los nitratos en el sistema de lagunas facultativas, evaluando el desempeño individual de las lagunas primarias y secundarias en paralelo y en serie, así como la eficiencia global del sistema con respecto al afluente inicial.

### Figura 22

*Eficiencia de remoción (%) de los nitratos en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 22, manifiesta la eficiencia de remoción (%) de los nitratos a lo largo del sistema de tratamiento mediante lagunas facultativas. El afluente inicial (M1-AF) presenta una concentración de 13.2 mg/L, lo cual indica una carga significativa de nitrógeno en forma de nitrato, potencialmente derivada de materia orgánica nitrogenada y procesos de nitrificación previos.



Las lagunas primarias superior e inferior: LP1S y LP1I, presentan eficiencias de remoción de 31.8 % y 23.5 % respectivamente. Estos valores indican una reducción inicial moderada, probablemente debida a procesos de asimilación por biomasa microbiana, precipitación y sedimentación de compuestos nitrogenados. En las lagunas secundarias, se observa una eficiencia de 30.0 % en LS2S y 30.7 % en LS2I. Este desempeño es estable respecto a las lagunas primarias, lo que puede estar asociado con la continuidad de procesos biológicos como desnitrificación en condiciones anóxicas, así como asimilación por algas y otros microorganismos.

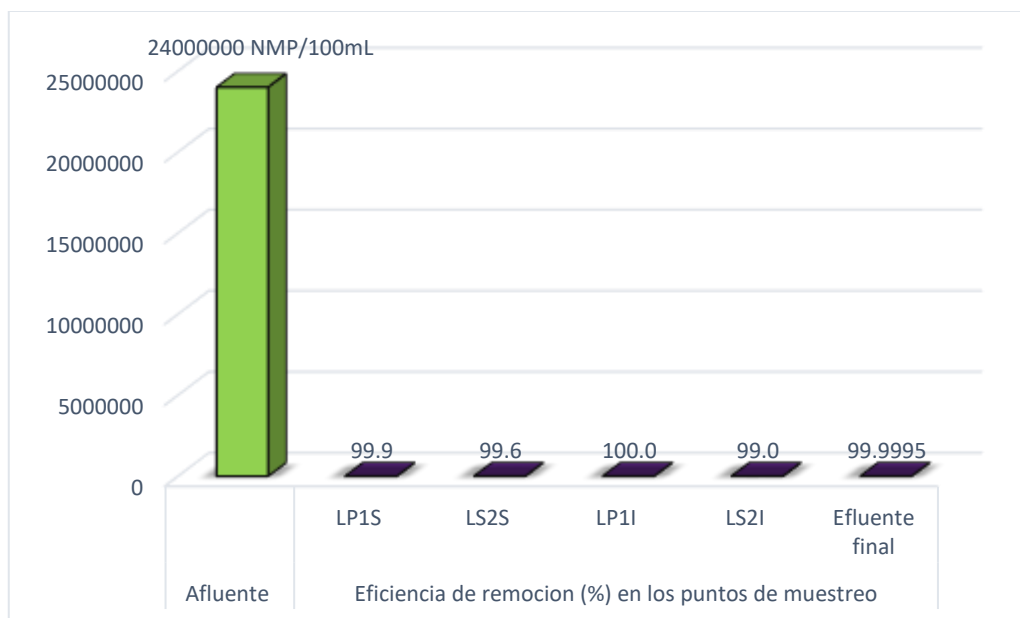
Finalmente, el sistema global alcanza una eficiencia de remoción de 48.5 %, evidenciando que, aunque el sistema logra reducir de manera considerable la concentración de nitratos, dicha remoción es menos eficiente comparada con otros parámetros como la DBO5 o los sólidos en suspensión. Esto es común en sistemas naturales, donde la remoción de nutrientes como el nitrógeno requiere condiciones específicas de redox y disponibilidad de carbono para su transformación biológica.

#### ❖ **Eficiencia de remoción (%) de los Coliformes Termotolerantes**

A continuación, se analiza la eficiencia de remoción de los coliformes termotolerantes a lo largo del sistema de lagunas, considerando cada etapa del tratamiento desde el afluente hasta el efluente final. Este parámetro microbiológico constituye un criterio fundamental para valorar la salubridad del agua tratada.

**Figura 23**

*Eficiencia de remoción (%) de los coliformes termotolerantes en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*



La figura 23, manifiesta la efectividad de remoción (%) de los coli termotolerantes en el sistema de tratamiento. El afluyente (M1-AF) presenta una altísima carga microbiológica inicial, con una manifestación de  $2.4 \times 10^7$  NMP/100mL, lo cual indica una fuerte contaminación fecal.

En las lagunas primarias, se observa una remoción de 99.9 % en la LP1S y de 100 % en la LP1I, lo que demuestra una alta capacidad de estas unidades para reducir la carga bacteriana, atribuida principalmente a la acción conjunta de la radiación solar, sedimentación, competencia microbiana, y predación por protozoarios y rotíferos. En las lagunas secundarias, se mantiene una remoción muy elevada: 99.6 % en LS2S y 99.9 % en LS2I. Este comportamiento sugiere que el sistema continúa eliminando eficazmente los microorganismos patógenos, alcanzando en el efluente final una eficiencia total de 99.9 %, lo cual cumple con los estándares microbiológicos exigidos por la normativa ambiental vigente para vertimiento o reúso.

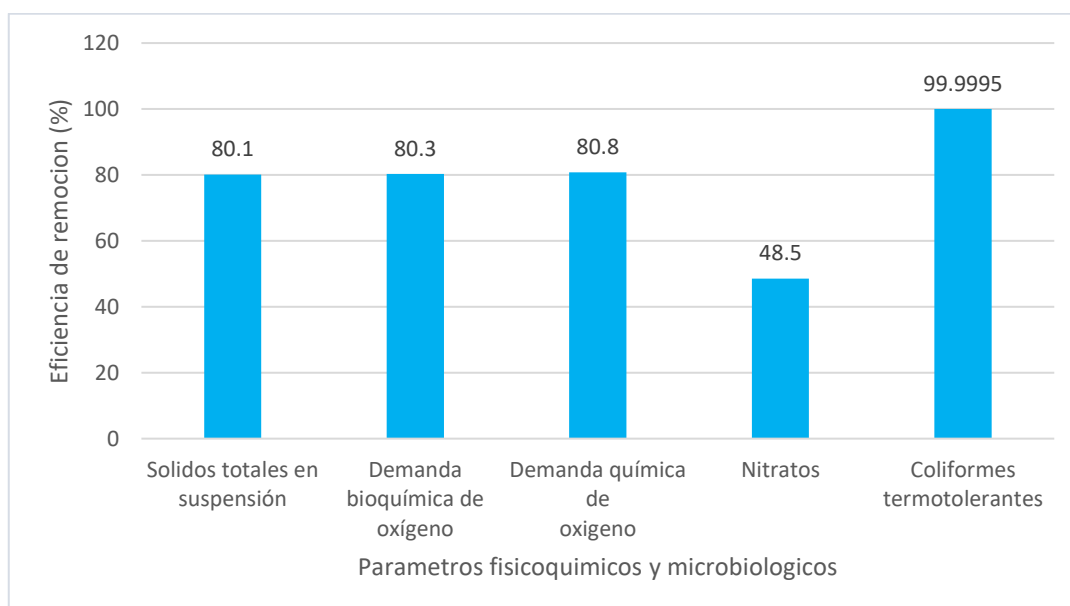
Este resultado evidencia que el sistema de lagunas facultativas, dispuesto en paralelo y en serie, es altamente eficaz para la remoción de coli termotolerantes, representando una estrategia adecuada y sostenible para el tratamiento de aguas depuradas domésticas en zonas rurales.

✓ **Eficiencia de remoción (%) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

Con el propósito de evaluar de manera global la eficacia del sistema de lagunas facultativas, se presenta a continuación un resumen gráfico con los % de remoción logrados para los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, hay que tener en cuenta que no se aplica para el potencial de hidrogeno por ser un parámetro cualitativo. Esta visión consolidada permite identificar qué parámetros presentan mayor eficiencia de tratamiento y cuáles requieren atención técnica.

**Figura 24**

*Eficiencia de remoción (%) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.*





La figura 24, manifiesta la eficiencia global de remoción (%) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el sistema de lagunas facultativas. Se observa que el sistema ostenta una alta eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes, alcanzando un 99.9995 %, lo cual indica un excelente desempeño en el tratamiento microbiológico, probablemente debido a la radiación solar, sedimentación y condiciones anaerobias que afectan negativamente la supervivencia de bacterias patógenas.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos:

- Sólidos totales en suspensión muestran una eficiencia de 80.1 %, lo que evidencia una buena capacidad del sistema para remover materia particulada, favorecida por la sedimentación en las lagunas.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO) presentan eficiencias similares de 80.3 % y 80.8 %, respectivamente. Esto refleja una adecuada degradación de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable por acción de los microorganismos aeróbicos y anaeróbicos presentes en el sistema.
- Por otro lado, los nitratos alcanzan una eficiencia de remoción relativamente baja (48.5 %), lo cual podría deberse a una limitada desnitrificación en las condiciones actuales del sistema, dado que este proceso requiere ambientes anóxicos sostenidos y disponibilidad de carbono.

En conjunto, la figura permite concluir que el sistema de tratamiento mediante lagunas facultativas es efectivo para la remoción de la carga orgánica y bacteriana, aunque presenta ciertas limitaciones en la remoción de

nutrientes como los nitratos, lo cual representa una oportunidad de mejora operativa o de diseño si se busca cumplir con estándares más estrictos en cuerpos receptores sensibles.

### **Comparación del efluente con los Límites Máximos Permisible del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM:**

Con el propósito de evaluar el cumplimiento normativo del sistema de tratamiento de aguas depuradas mediante lagunas facultativas, se realizó la comparación de las concentraciones obtenidas en el efluente final con los LMP fijados en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, normativa que regula los valores máximos de descarga para efluentes provenientes de fuentes domésticas en cuerpos de agua receptores. Esta comparación permite determinar si el sistema de tratamiento es eficiente no solo desde el punto de vista técnico, pero igualmente en el ámbito normativo y ambiental, asegurando la protección de la salud pública y de los ecosistemas acuáticos.

#### **Tabla 15**

*Comparación del efluente con los Límites Máximos Permisible del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.*

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente	Límites Máximos Permisibles (N° 003-2010-MINAM)	Nivel de contaminación
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.9	7.4	6.5-8.5	Aceptable
Solidos totales en suspensión	mg/L	428.0	85	150	Aceptable
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	389.9	77.0	100	Aceptable
Demanda química de oxígeno	mg/L	595.0	114.0	200	Aceptable



Nitratos	mg/L	13.2	6.8	≤ 10 mg/L (OMS sugerido)	Aceptable
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	2400000 0	110	10000	Aceptable

La tabla 15, presenta la comparación entre los valores del efluente tratado en el sistema de lagunas facultativas y los LMP adheridos por el D.S. N° 003-2010-MINAM. Esta comparación permite evaluar si el agua residual tratada satisface los criterios establecidos exigidos para su descarga en masas de agua, garantizando que no represente un riesgo ambiental ni sanitario.

En donde, se observa que todos los parámetros analizados: potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales en suspensión, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos y coli termotolerantes se sitúan bajo los umbrales autorizados por la legislación ambiental peruana vigente. Esto demuestra que el agua tratada satisface los criterios de calidad establecidos, evidenciando la eficacia del tratamiento con lagunas facultativas.

En particular:

- El pH se mantiene dentro del rango 6.5–8.5.
- La DBO<sub>5</sub> (77 mg/L) y la DQO (114 mg/L) están por debajo de sus respectivos límites (100 mg/L y 200 mg/L), lo que señala una remoción efectiva de materia orgánica.
- La concentración de nitratos (6.8 mg/L) cumple con el límite sugerido por la OMS (≤10 mg/L).
- Los coliformes termotolerantes se reducen significativamente (de 24 millones a 110 NMP/100 mL), evidenciando una remoción microbiológica eficiente.

En resumen, el sistema de lagunas facultativas ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de aguas depuradas, produciendo un efluente que se ajusta a la regulación vigente y es adecuado para su disposición final.

### Prueba de hipótesis

#### Planteamiento de la hipótesis

Ho: Las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, son significativas no supera los LMP.

Ha: Las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, son significativas superando los LMP.

#### Tabla 16

*Prueba T para Muestras Apareadas, concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente en contraste con los LMP*

		Estadístico	gl	p
pH (Afluente)	pH (LMP)	-10.4	2.00	0.009
pH (Efluente)	pH (LMP)	-19.1	2.00	0.003
STS (Afluente)	STS (LMP)	48.5	2.00	0.001
STS (Efluente)	STS (LMP)	-11.6	2.00	0.100
DBO (Afluente)	DBO (LMP)	66.0	2.00	0.001
DBO (Efluente)	DBO (LMP)	-39.8	2.00	0.100
DQO (Afluente)	DQO (LMP)	42.0	2.00	0.001
DQO (Efluente)	DQO (LMP)	-14.0	2.00	0.101
Col termotolerantes (Afluente)	Col termotolerantes (LMP)	7.20	2.00	0.001
Col termotolerantes (Efluente)	Col termotolerantes (LMP)	-7.13	2.00	0.102



La tabla 16, manifiesta los resultados de la prueba T para muestras apareadas revelan un panorama mixto respecto al cumplimiento de los LMP en el sistema de lagunas facultativas. Utilizando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  como criterio de decisión, se manifiesta que para el parámetro pH, tanto en el afluente ( $p = 0.009$ ) como en el efluente ( $p = 0.003$ ), los valores p son menores a 0.05, lo que evidencia que se refuta la  $H_0$  y se admite la  $H_a$ . En contraste, para los STS, la DBO y la DQO, se presenta un comportamiento diferenciado entre el afluente y el efluente: en el afluente, estos tres parámetros muestran valores p menores a 0.05 (STS:  $p = 0.001$ , DBO:  $p = 0.001$ , DQO:  $p = 0.001$ ), indicando que superan los LMP, mientras que en el efluente presentan valores p mayores a 0.05 (STS:  $p = 0.100$ , DBO:  $p = 0.100$ , DQO:  $p = 0.101$ ), lo que significa que no se rechaza la  $H_0$  y por tanto estos parámetros no superan los LMP, cumpliendo con la normativa. Para los coliformes termotolerantes, el afluente presenta un valor  $p = 0.001 < 0.05$ , confirmando que supera los LMP, mientras que el efluente muestra un valor  $p = 0.102 > 0.05$ , indicando que no supera los límites normativos. Esta evidencia estadística demuestra que el sistema de lagunas facultativas logra una eficacia significativa en la remoción de materia orgánica (DBO, DQO, STS) y coliformes termotolerantes, reduciendo sus concentraciones desde niveles que exceden los LMP en el afluente hasta niveles que cumplen con la normativa en el efluente, lo que refleja la capacidad del sistema para realizar procesos de sedimentación, digestión anaerobia y aerobia, y desinfección natural.

### Planteamiento de la hipótesis

Ho: La eficiencia no es moderada en el sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

Ha: La eficiencia es moderada en el sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

### Tabla 17

*Prueba T para Muestras Apareadas, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el afluente y efluente*

		Estadístico	gl	p
pH (Afluente)	pH (Efluente)	6.93	2.00	0.020
STS (Afluente)	STS (Efluente)	78.62	2.00	0.000
DBO (Afluente)	DBO (Efluente)	190.00	2.00	0.000
DQO (Afluente)	DQO (Efluente)	166.28	2.00	0.000
Nitrógeno (Afluente)	Nitrógeno (Efluente)	62.00	2.00	0.005
Col termotolerantes (Afluente)	Col termotolerantes (Efluente)	170.00	2.00	0.002

La Tabla 17, manifiesta la prueba T para muestras apareadas aplicada a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas evidencia que todos los valores de p obtenidos son menores a 0.05 (pH: 0.020; STS: 0.000; DBO: 0.000; DQO: 0.000; Nitrógeno: 0.005; Coliformes termotolerantes: 0.002). Este resultado indica que se refuta Ho y se admite la Ha, lo que significa se confirma heterogeneidad significativa en las concentraciones de los parámetros monitoreados pre y post-tratamiento. En términos prácticos, esto demuestra



que el sistema de lagunas facultativas está logrando una remoción moderada y efectiva de los contaminantes evaluados, ya que las concentraciones en el efluente son significativamente menores que en el afluente. Este comportamiento refleja una adecuada eficiencia del sistema en el tratamiento de aguas depuradas, cumpliendo con los criterios de remoción exigidos por la normativa ambiental vigente.



## 4.2. DISCUSIONES

Con respecto al proceso de tratamiento de aguas depuradas domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, en nuestra investigación se identificó un sistema estructurado en dos trenes de tratamiento dispuestos en paralelo, cada uno conformado por una laguna primaria y una secundaria en serie. Esta configuración hidráulica permite un flujo equilibrado y un tiempo de retención adecuado para favorecer la remoción de sólidos y la estabilización de materia orgánica. El sistema incluye una etapa de pretratamiento (cámara de rejillas) y estructuras de distribución del caudal, lo que demuestra un diseño técnico funcional que prioriza la eficiencia y simplicidad operativa. Este enfoque coincide con lo planteado por Mendivelso y Tapiero (2023) en Colombia, quienes destacaron que la correcta distribución hidráulica y el control del tiempo de retención son factores determinantes en la eficiencia de las lagunas facultativas. A diferencia de lo reportado por Sánchez (2016) en Brasil, donde se identificó una sobreacumulación de lodos que afectaba el desempeño del sistema, en Santa Lucía se observaron condiciones estructurales relativamente estables, aunque con oportunidades de mejora en el mantenimiento de las cámaras de reparto y la gestión de sólidos extraídos.

Desde el ámbito nacional, los hallazgos de esta investigación difieren positivamente de los reportados por Palacios Oblitas (2020) en San Martín, donde se evidenció una disposición deficiente del sistema, con mezcla de aguas entre unidades y filtraciones por falta de impermeabilización. En Santa Lucía, el proceso de tratamiento se desarrolla con una secuencia bien definida: recepción del caudal, remoción de sólidos gruesos, distribución en lagunas facultativas primarias, tratamiento biológico en condiciones aeróbicas



y anaeróbicas, y descarga final al río Cabanillas. Esta secuencia refleja una mejor planificación y operación en comparación con los antecedentes regionales como el de Fernández (2020) en Taraco, donde la falta de mantenimiento y deficiencias hidráulicas comprometieron el proceso. Además, el diseño observado en Santa Lucía se alinea con lo recomendado por Quispe Humire (2013) en Azángaro, quien propuso como criterio técnico clave mantener una organización funcional de los componentes del sistema para garantizar un flujo continuo, homogéneo y eficiente. En conjunto, el sistema del distrito de Santa Lucía representa un modelo funcional de depuración de efluentes tratados mediante sistemas lagunares facultativos, aunque su sostenibilidad a largo plazo dependerá del fortalecimiento de las rutinas de mantenimiento y del monitoreo operativo.

Con relación a la determinación de las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, se evidenció que el sistema recibe una carga orgánica elevada, reflejada en concentraciones iniciales de pH igual a 7.9, DBO<sub>5</sub> (389.9 mg/L), DQO (595.0 mg/L), SST (428.0 mg/L) nitratos (13.2 mg/L) y col termotolerantes ( $2.4 \times 10^7$  NMP/100 mL). Sin embargo, tras el proceso de tratamiento, estos valores se redujeron significativamente, alcanzando en el efluente final 77.0 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 114.0 mg/L de DQO, 85.0 mg/L de SST y 110 NMP/100 mL de col termotolerantes. Estos resultados muestran un desempeño superior al reportado por Cruz Ortiz (2022) en Huánuco, donde el sistema de laguna facultativa solo logró reducir la DBO<sub>5</sub> en un 37.5 % y presentó coliformes muy por encima de los límites permisibles. Asimismo, a diferencia del estudio de Dávila Hanco (2024) en Juli, donde las concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO del efluente incluso



aumentaron, en Santa Lucía el sistema logra reducir de forma efectiva la carga contaminante, reflejando una operación estable y controlada.

En cuanto al análisis comparativo internacional, los resultados de Santa Lucía son similares o incluso superiores a los alcanzados por Fernández et al. (2023) en Ecuador, donde la DBO<sub>5</sub> final fue de 50 mg/L, la DQO de 106 mg/L y los col fecales de  $3.6 \times 10^3$  NMP/100 mL. Si bien Santa Lucía presenta valores levemente superiores en DBO<sub>5</sub>, muestra una remoción mucho más eficiente de coliformes termotolerantes. En el plano regional, el trabajo de Condori Mamani (2022) en Sallaconi mostró valores inconsistentes para SST y coliformes, lo que evidenció deficiencias operativas. En contraste, en Santa Lucía los valores finales se ubicaron dentro de rangos aceptables, lo cual puede atribuirse a una mejor secuencia operativa y a condiciones climáticas más favorables. Así, el monitoreo realizado en este estudio confirma que el sistema de tratamiento posee un comportamiento eficiente en términos de reducción de contaminantes, tanto orgánicos como microbiológicos, y evidencia una mejora frente a experiencias similares en el contexto nacional y regional.

Respecto a la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el distrito de Santa Lucía, se evidenció que el tratamiento alcanzó eficiencias globales destacables: 80.1 % para STS, 80.3 % para DBO<sub>5</sub>, 80.8 % para DQO, 48.5 % para nitratos y 99.9995 % para coliformes termotolerantes. Estos resultados reflejan un buen rendimiento técnico del sistema, principalmente en la remoción de materia orgánica y carga microbiológica, aspectos clave en el tratamiento de aguas servidas. Al contrastar estos datos con los LMP fijados por el D.S. N.º 003-2010-MINAM, se comprobó que todos los parámetros del efluente final



cumplen con la normativa, confirmando que el sistema opera de forma eficiente y legalmente conforme. Esta situación difiere notablemente de los hallazgos de Palacios Oblitas (2020) en Uchiza y de Pacori (2023) en Pucará, donde las lagunas no lograron cumplir los límites normativos, debido a deficiencias estructurales y operativas que afectaron la calidad del efluente tratado.

Comparando los resultados con experiencias internacionales, el presente estudio destaca frente a casos como el de Humanante Cabrera et al. (2022) en Ecuador, donde a pesar de alcanzar buena remoción de DBO y SST, el efluente final no fue apto para reúso agrícola debido a la alta carga de coliformes fecales. En contraste, el sistema de Santa Lucía logró reducir estos microorganismos a niveles mínimos (110 NMP/100 mL), asegurando un efluente apto para vertimiento y potencialmente para reúso no restrictivo. Por otro lado, el desempeño observado también se alinea con lo reportado por Matsumoto (2013) en Brasil, donde se alcanzaron eficiencias altas de remoción de DBO (73.9 %) y SST (49 %), aunque con problemas de acumulación de lodos que redujeron la eficiencia hidráulica. En Santa Lucía, el sistema mostró eficiencia sin requerir etapas adicionales de postratamiento, aunque se recomienda fortalecer el mantenimiento preventivo para conservar estos niveles de rendimiento a largo plazo. En resumen, el sistema evaluado ha demostrado una capacidad técnica sólida para cumplir con los estándares ambientales vigentes, posicionándose como una solución viable y replicable para contextos similares.



## CONCLUSIONES

En función del objetivo general de la presente investigación, que fue evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas depuradas domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, 2024, se realizaron análisis técnicos, operativos y normativos que permitieron comprender a profundidad el comportamiento del sistema. A partir de los resultados obtenidos y su contrastación con estudios previos, se presentan a continuación las conclusiones que se alinean con cada objetivo específico establecido.

**PRIMERA:** Respecto al proceso de tratamiento de aguas depuradas domésticas en Santa Lucía, se concluye que el sistema de lagunas facultativas está conformado por un diseño en paralelo y en serie, con dos lagunas primarias y dos secundarias, las cuales operan con un caudal promedio de 1,054.2 m<sup>3</sup>/día. Esta configuración permite un adecuado tiempo de retención hidráulica y un flujo balanceado, favoreciendo la remoción progresiva de contaminantes mediante procesos físicos (sedimentación) y biológicos (actividad microbiana), en concordancia con criterios técnicos establecidos para sistemas de tratamiento natural.

**SEGUNDA:** En cuanto a las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los resultados muestran que el afluente presenta elevadas cargas contaminantes iniciales (DBO<sub>5</sub>: 389.9 mg/L; DQO: 595.0 mg/L, SST: 428 mg/L; Coli termotolerantes:  $2.4 \times 10^7$  NMP/100 mL), las cuales fueron reducidas significativamente en el efluente final (DBO<sub>5</sub>: 77 mg/L; DQO: 144.0 mg/L, SST: 85 mg/L; Coli: 110 NMP/100 mL). Esto



evidencia que el sistema tiene un buen desempeño en términos de depuración, especialmente en los parámetros orgánicos y bacteriológicos, superando incluso los resultados de sistemas similares en otros distritos evaluados en antecedentes nacionales.

**TERCERA:** En relación con la eficiencia del sistema y su cumplimiento normativo, se concluye que el tratamiento mediante lagunas facultativas alcanzó eficiencias de remoción superiores al 80%, en donde los SST obtuvo un 80.1%, DBO<sub>5</sub> obtuvo un 80.3%, DQO obtuvo un 80.8% y de 99.9995 % en coliformes termotolerantes. Además, las concentraciones del efluente cumplen con los LMP adheridos por el D.S. N.º 003-2010-MINAM para todos los parámetros evaluados, lo que confirma que el sistema es ambientalmente viable y funcional para la descarga segura en cuerpos de agua. No obstante, la remoción de nitratos (48.5 %) fue la menos eficiente.



## RECOMENDACIONES

En función de los resultados obtenidos y del análisis crítico realizado a lo largo de esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones

**PRIMERA:** A los futuros investigadores se les recomienda profundizar el monitoreo temporal del sistema, realizando evaluaciones en diferentes épocas del año (estiaje y lluvias), a fin de identificar el impacto de las variaciones climáticas y estacionales sobre la eficiencia de remoción de contaminantes en las lagunas facultativas.

**SEGUNDA:** A los futuros estudiantes se les recomienda realizar proyectos en donde incluyan los análisis de carga hidráulica y acumulación de lodos, mediante estudios batimétricos o medición de sólidos sedimentados, lo que permitiría estimar la pérdida de capacidad útil de las lagunas y definir el momento óptimo para intervenciones de limpieza o mantenimiento.

**TERCERA:** Para los futuros estudios de investigación se recomienda ampliar el análisis a otros parámetros relevantes, como fósforo total, aceites y grasas, metales pesados o sólidos disueltos totales, para evaluar de manera más integral la calidad del efluente tratado y su aptitud para diferentes tipos de reúso o vertimiento.

**CUARTA:** A los futuros investigadores se les recomienda comparar el rendimiento de diversas tecnologías de depuración en entornos rurales y urbanos, como lagunas facultativas, biodiscos, humedales o reactores anaerobios, con el fin de identificar tecnologías apropiadas según las características socioambientales de cada localidad y proponer soluciones sostenibles y replicables a nivel regional.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Albarracín Heredia, E. O. (2018). *Sistema de tratamiento de agua residual Autolavado Samiwall*. Francisco Jose de Caldas. Obtenido de <https://n9.cl/ydzgj>
- Arce, P., Vega-Morales, S., & López, J. (2022). *Costos operativos de sistemas de tratamiento natural en zonas altoandinas*. Revista de Ingeniería Sanitaria.
- Ccallohuanca Atamari, R., Condori Olave, G., Sánchez Viguria, J., & Rodríguez Bravo, H. (2019). *Propuesta de implementación de lagunas de estabilización como tratamiento de aguas residuales para el distrito de Lucre, Cusco*. Cusco.
- Cisneros, M., & Paredes, F. (2023). *Acceso a saneamiento y brechas sociales en el Perú rural*.
- Cruz Ortiz, J. (2022). *Evaluación del tratamiento de aguas residuales (laguna facultativa) en el Hospital Regional de Huánuco*. Universidad de Huánuco. Huánuco: Repositorio Alicia – CONCYTEC.
- Espinosa, R., Méndez, F., & López, J. (2023). *Retos en la gestión de lagunas facultativas en América Latina: entre el diseño y la operación*. Revista de Saneamiento Ambiental.
- Espitia Antonio, F. G. (2017). *Diagnóstico, y protocolo de optimización de los elementos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Buenavista Boyacá*. Bogotá.
- Fernandez Sila, G. N. (2020). *Evaluación y plan de optimización de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Taraco, provincia de Huancané - Puno*. Huancané - Puno.



- Fernández, M., Huinil, D., Mayta, J., Limache-Quispe, M., & Tirado-Rebaza, A. (2023). *Reutilización de aguas residuales urbanas tratadas para fines de riego de Lagunas de Estabilización*. Redalyc.
- Gonzales, M., & Paredes, F. (2023). *Evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en zonas altoandinas del Perú*. Revista de Ingeniería Ambiental.
- Hernández, R., & Fernández, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <https://shre.ink/xxDr>
- Mendivelso Pérez, M. A., & Tapiero Gallo, L. F. (2023). *Optimización de lagunas facultativas para el tratamiento de aguas residuales: un enfoque integral*. Universidad Santo Tomás, Tunja.
- Menéndez Gutiérrez, C., Ángel, M., & Marrero, D. (2009). *Lagunas diseño, operación y control*.
- MINAM. (2010). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. Lima - Perú.
- MINAM. (2021). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial*. Lima.
- MINAM. (2023). *Informe nacional sobre el cumplimiento de los ECA en zonas rurales*. Ministerio del Ambiente, Perú.
- Municipalidad Distrital de Santa Lucía. (2023). *Informe técnico del sistema de tratamiento de aguas residuales*. Oficina de Gestión Ambiental., Santa Lucía.
- OMS. (2023). *Directrices sobre saneamiento y salud en entornos rurales*. Organización Mundial de la Salud.



- OPS. (2005). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de estabilización*. Lima.
- Orozco , A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales, teoría y diseño*. Colombia.
- Pacori Pacori, J. (2023). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales y propuesta de solución en la localidad de Pucara - 2023*. Pucara. Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/24161>
- Palacios Oblitas, J. A. (2020). *Diagnóstico funcional de las lagunas de estabilización en Uchiza, San Martín*. Universidad Nacional de San Martín, San Martín.
- Quispe, L., & Mamani, J. (2024). *Eficiencia de tratamiento en sistemas naturales del altiplano puneño*. Ciencia y Tecnología en el Sur.
- Ramos, C., & Huamán, J. (2024). *Factores que afectan la eficiencia de las lagunas facultativas en la región altiplánica*. Ciencia y Tecnología en el Sur.
- Requena Maldonado, D. G. (2023). *Evaluación de los peligros ambientales de los estanques facultativos de efluentes en el distrito de Santa Rosa de Ocopa-Concepción 2021*. Huancayo. Obtenido de <https://shre.ink/xxDI>
- Saadat, S., & Kianmehr, M. (2021). *Interacción de algas y bacterias en estanques de aguas residuales facultativas: implicaciones para el rendimiento del proceso*. Ingeniería Ecológica.
- SUNASS. (2023). *Diagnóstico nacional del tratamiento de aguas residuales*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento., Lima.



UNESCO. (2023). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2023: Alianzas y cooperación en materia de agua.*

Vega-Morales, S., Arce, P., & Torres, L. (2022). *tratamiento de aguas residuales mediante lagunas facultativas: caso de estudio en comunidades rurales.* Ingeniería Sanitaria.

Von Sperling, M. (2016). *Características, tratamiento y eliminación de aguas residuales.*

Von Sperling, M. (2016). *Características, tratamiento y eliminación de aguas residuales (2ª ed.).* IWA Publishing.



# ANEXOS



### ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<p>¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia, 2024?</p> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Cuál es el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía?</p> <p>¿Cuáles son las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía?</p> <p>¿Cuál es la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente?</p>	<p>Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia, 2024.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Describir el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.</p> <p>Determinar las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.</p> <p>Determinar la eficiencia del sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.</p>	<p>La eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucia, es deficiente.</p> <p><b>Hipótesis Específica</b></p> <p>El proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas que se lleva a cabo en las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, se realiza mediante una secuencia técnica que incluye el pretratamiento.</p> <p>Las concentraciones de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente del sistema de lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía, son significativas superando los LMP.</p> <p>La eficiencia es moderada en el sistema de lagunas facultativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Proceso de tratamiento de aguas residuales.</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Eficiencia del tratamiento de las lagunas facultativas</p>	<p><b>Tipo de investigación.</b></p> <p>La investigación es de tipo aplicada, dado cuyo fin es generar conocimientos con utilidad práctica para mejorar el funcionamiento o la gestión de las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía</p> <p><b>Enfoque de la investigación</b></p> <p>El enfoque es cuantitativo, debido a que se utilizarán técnicas de medición numérica para determinar las concentraciones de los parámetros de calidad de agua y calcular los porcentajes de remoción, aplicando posteriormente análisis estadístico para interpretar los resultados.</p> <p><b>Diseño de la investigación</b></p> <p>La investigación presenta un diseño no experimental, ya que no se manipularán deliberadamente las variables independientes</p>



## ANEXO 2 RESULTADOS DEL LABORATORIO.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL  
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

### RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA154 - 2024

#### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI
- 1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024

#### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual – doméstica
- 2.2. Numero de muestras : 06
- 2.3. Muestreado por : Eisthen Meier Portillo Mamani
- 2.4. Fecha de ensayo : //2024
- 2.5. Departamento : Puno
- 2.6. Provincia : Lampa
- 2.7. Distrito : Santa Lucia
- 2.8. Código, ubicación, fecha y hora de muestreo

N°	Código	Coordenadas	Fecha	Hora
1	M1-AF	E: 328954.00 N: 8265009.00		9:00
2	M2-LP1S	E: 329127.00 N: 8265149.00		9:20
3	M3-LS2S	E: 329221.00 N: 8265194.00		9:40
4	M4-LP1I	E: 329165.00 N: 8265069.00		10:00
5	M5-LS2I	E: 329258.00 N: 8265110.00		10:20
6	M6-EF	E: 329287.00 N: 8265206.00		10:30



## III RESULTADOS

---

Parámetro	Unidad	M1-AF	M3-LP1S	M3-LS2S	M4-LP1I	M5-LS2I	M6-EF
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.9	7.5	7.4	7.3	7.5	7.4
Sólidos totales en suspensión	mg/L	428.0	110	88	138	92	85
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	389.9	260.0	68.0	199.0	72.0	77.0
Demanda química de oxígeno	mg/L	595.0	410.0	140.0	421.0	125.0	114.0
Nitratos	mg/L	13.2	9.0	6.3	10.1	7.0	6.8
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	$2.4 \times 10^7$	$2.3 \times 10^4$	93	$1.1 \times 10^4$	110	110

## IV. MÉTODO DE ENSAYO

---

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF 21th ed. 2005

Juliaca, del 2024

## ANEXO 3 PANEL FOTOGRÁFICO

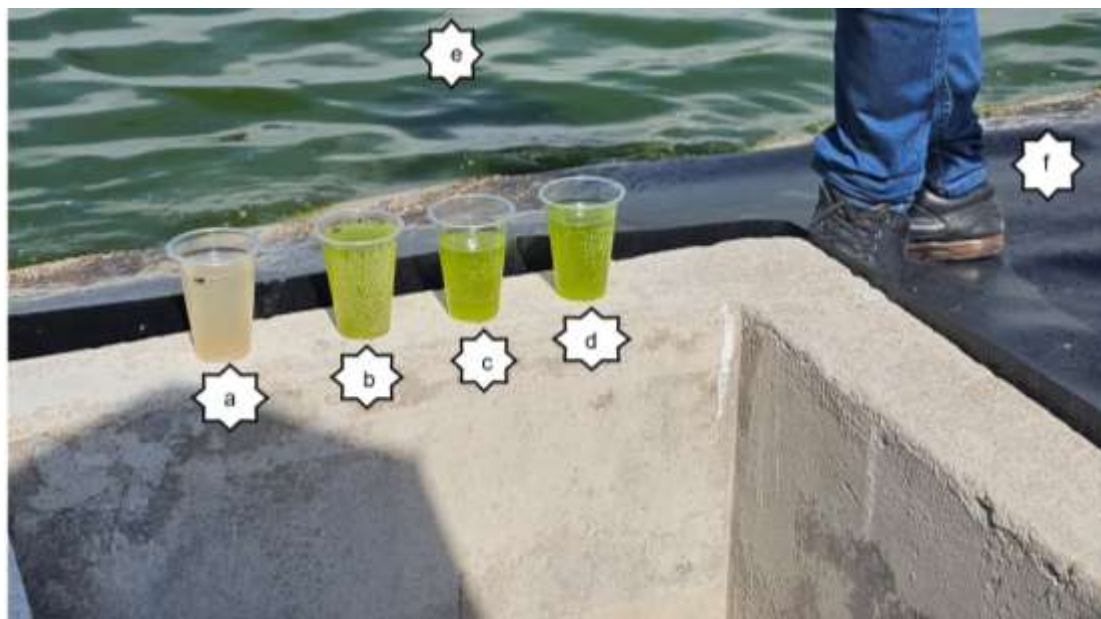
**Fotografía 1.** Unidad de pretratamiento de aguas residuales en la PTAR Santa Lucía.



**Fotografía 2.** Cámaras repartidoras de aguas residuales en la PTAR Santa Lucía.



**Fotografía 3.** Variación de la coloración del agua residual tratada mediante las lagunas facultativas del distrito de Santa Lucía.





## ANEXO 4

Normativa utilizada, Límites Máximos Permisibles del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.

### ANEXO

#### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

### ANEXO 5 VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### VALIDACION DE INSTRUMENTO

#### EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS

#### FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024

#### OPINIÓN DE EXPERTO

##### I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	ERIK RODRIGO QUISPELLANOS
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI

##### II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 - 20%	21 - 40%	41 - 60%	61 - 80%	81 - 100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

##### III. OPINION DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

##### IV. PROMEDIO DE VALORACION:

97.80%

Erik Rodrigo Quispe Llanos  
ING. SANITARIO Y AMBIENTAL  
CIP N° 346009

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS

#### FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024

#### OPINIÓN DE EXPERTO

##### I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	ERIKA YESABELLA USCAMAYTA PARICELA
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI

##### II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 - 20%	21 - 40%	41 - 60%	61 - 80%	81 - 100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

##### III. OPINION DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....

##### IV. PROMEDIO DE VALORACION:

93.60%

Erika Yesabella Usamayta Paricela  
Ingeniera Sanitaria y Ambiental  
Reg. CIP. 269742

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS

#### FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024

#### OPINIÓN DE EXPERTO

##### I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	FLOR DAYSI AQUINO CANSAYA
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI

##### II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 - 20%	21 - 40%	41 - 60%	61 - 80%	81 - 100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

##### III. OPINION DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

##### IV. PROMEDIO DE VALORACION:

91.40%

.....  
DGO. FLOR DAYSI AQUINO CANSAYA  
Ingeniera Sanitaria y Ambiental  
C.I. N° 293551



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 29 - 09 - 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: EISTHEN MEIER PORTILLO MAMANI  
Dirección: JR.20 DE ENERO URB. SANTO TOMAS MZ.K.LT.08  
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70155954  
Teléfono: 940108189 email: portillomeier@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_  
Dirección: \_\_\_\_\_  
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_  
Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL  
Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL  
Asesor: Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:  
Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico   
Título: EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAGUNAS  
FACULTATIVAS DEL DISTRITO DE SANTA LUCIA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): LAGUNAS FACULTATIVAS, NORMATIVA AMBIENTAL, AGUAS RESIDUALES  
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2</sup>?  
1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
- Nacional

Línea de investigación: SANEAMIENTO AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

29 - 09 - 2025

Fecha

