



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA  
DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE  
CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES  
A ESCALA DE LABORATORIO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**

**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 DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA  
DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE  
CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES  
A ESCALA DE LABORATORIO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**

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

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:

  
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

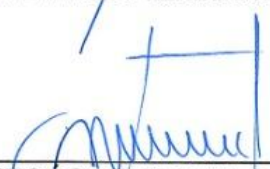
**PRIMER MIEMBRO**

:

  
Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

**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° 1490-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliana, 11 de noviembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - C - 6140 presentado por el (la) Bachiller: **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE** 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. **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**, 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 mérito 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. LEONEL SUASACA PELINCO
- **1er Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
- **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 él (la) bachiller: **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : miércoles 19 de noviembre del 2025
- **HORA** : 11:00 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.

cc. Archivo Intermedio (a)  
Dr. OSCAR V. VIANCONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1071-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 12 de septiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 7578, presentado por el señor (a) **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1664-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 771-2025-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): **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulada: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**, 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° 1664-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 771-2025-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 titulada: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**.

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 INVESTIGACIÓN**, designado al señor (a): **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO** 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.

cc.  
Archivo 2025  
Interesado (a)UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. OSCAR V. VIANORTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 711-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de julio del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 5473 por el señor (a): **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 563- 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 030 - 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): **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**, 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° 030 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**, 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 mérito 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): **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO** 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. PURASMgtr. WALTER J. LIZARRAGA ARMAZA  
DECANO (e)  
CIP. 70803UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.  
Archivo  
interesado (a)

**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 1664-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 05 de diciembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 16998, presentado el señor (a) **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 1419 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 161-2024 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): **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**, 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° 161-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO**.

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 mérito 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): **YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO** 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.

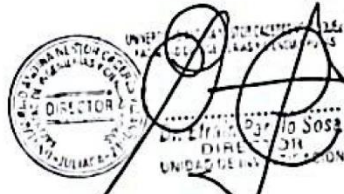
**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

**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.

cc.  
Archivo 2021  
Interando (a)

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





# YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE

## EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANT...

 TESIS DE PREGRADO

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::13016:585354800

Fecha de entrega

1 may 2026, 13:55 GMT-5

Fecha de descarga

1 may 2026, 14:50 GMT-5

Nombre del archivo

T036\_70155812\_T.docx

Tamaño del archivo

25.9 MB

119 páginas

18.663 palabras

100.329 caracteres



# 12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



### Metadatos complementarios

|                                                                                                                                                          |                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título de la Tesis</b>                                                                                                                                |                                                                                           |
| <b>EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO</b> |                                                                                           |
| <b>Datos de autor</b>                                                                                                                                    |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                                      | YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE                                                             |
| Tipo de documento de identidad                                                                                                                           | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                         | 70155812                                                                                  |
| URL de ORCID                                                                                                                                             | <a href="https://orcid.org/0009-0004-9234-1562">https://orcid.org/0009-0004-9234-1562</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/0000-0002-5101-4264">https://orcid.org/0000-0002-5101-4264</a> |
| <b>Datos del jurado</b>                                                                                                                                  |                                                                                           |
| <b>Presidente del jurado</b>                                                                                                                             |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                                      | LEONEL SUASACA PELINCO                                                                    |
| Tipo de documento                                                                                                                                        | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                         | 40865558                                                                                  |
| <b>Miembro del jurado 1</b>                                                                                                                              |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                                      | FRITZ WILLY MAMANI APAZA                                                                  |
| Tipo de documento                                                                                                                                        | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                         | 02306659                                                                                  |
| <b>Miembro del jurado 2</b>                                                                                                                              |                                                                                           |
| Nombres y apellidos                                                                                                                                      | JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA                                                            |
| Tipo de documento                                                                                                                                        | DNI                                                                                       |
| Número de documento de identidad                                                                                                                         | 01323821                                                                                  |



| Datos de investigación                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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<br/><b>Departamento:</b> Puno<br/><b>Provincia:</b> San Román<br/><b>Distrito:</b> Juliaca<br/><b>Coordenadas:</b><br/><b>Latitud:</b> -15.500566<br/><b>Longitud:</b> -70.134663<br/><b>URL Maps:</b></p>  <p><a href="https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1QQ7c-99RG2Tl6STNnJxg76ncRROoFjk&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1QQ7c-99RG2Tl6STNnJxg76ncRROoFjk&amp;usp=sharing</a></p> |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación                                                                                                                                       | Diciembre 2024 – Noviembre 2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| URL de disciplinas OCDE<br><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><br>Librería | <p><b>Ingeniería ambiental</b><br/><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><br/><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</a></p>                                                                                                                                                                                                                                     |



UNIVERSIDAD NOROCCIDENTAL DEL PERÚ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS  
**D. Cesar G. Camargo Najar**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE, identificado con DNI

Nro. 70155812, 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 DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN  
LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO

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 20 de MARZO del 2026

  
Firma del Asesor  
(obligatoria)

  
Firma del Estudiante  
(obligatoria)

  
Huella



## DEDICATORIA

Dedico este proyecto con mucho cariño a mis queridos padres, por el apoyo incondicional que me brindaron y por ser mi inspiración cada día en esta etapa de mi vida, ya que sin su sacrificio y motivación este sueño no se hubiese hecho realidad. ¡Gracias!



## AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, por haberme concedido llegar hasta esta etapa de mi vida, por darme entendimiento, valor y fuerza para poder hacer este sueño realidad;

Así mismo quisiera expresar mi gratitud a mis queridos padres Demetrio Orihuela y Jesusa Quispe quienes me brindaron el soporte y depositaron la confianza en mí en esta larga travesía, a mi hermano J. Antony esa persona que siempre estuvo ahí para impulsarme y darme ánimos para poder hacer esto realidad; y no pasar desapercibido quisiera agradecer a mis amigos quienes me brindaron su apoyo.

A la escuela profesional de Ingeniera Sanitaria y Ambiental de nuestra Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez de la ciudad de Juliaca; a vuestros docentes por brindarnos su conocimiento durante todo el transcurso de nuestra alineación profesional.

Con gratitud, Yovana Mayomi Orihuela Quispe.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                          |      |
|--------------------------|------|
| DEDICATORIA.....         | i    |
| AGRADECIMIENTO.....      | ii   |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | iii  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | vii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | viii |
| RESUMEN .....            | ix   |
| ABSTRACT .....           | x    |
| INTRODUCCIÓN .....       | xi   |

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1.1. Análisis de la situación problemática ..... | 13 |
| 1.2. Planteamiento del problema .....            | 14 |
| 1.2.1. Problema general .....                    | 14 |
| 1.2.2. Problemas específicos .....               | 14 |
| 1.3. Objetivo de la investigación .....          | 15 |
| 1.3.1. Objetivo general .....                    | 15 |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....               | 15 |
| 1.4. Justificación .....                         | 15 |
| 1.5. Hipótesis .....                             | 16 |
| 1.5.1. Hipótesis general.....                    | 16 |



|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 1.5.2. Hipótesis específica.....           | 16 |
| 1.6. Variables.....                        | 17 |
| 1.6.1. Variable dependiente .....          | 17 |
| 1.6.2. Variable independiente.....         | 17 |
| 1.7. Operacionalización de variables ..... | 17 |

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Antecedentes de la investigación.....                                                    | 18 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales .....                                                     | 18 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales .....                                                          | 20 |
| 2.1.3. Antecedentes regionales.....                                                           | 22 |
| 2.2. Marco teórico .....                                                                      | 23 |
| 2.2.1. Agua residual .....                                                                    | 23 |
| 2.2.2. Agua residual industrial .....                                                         | 23 |
| 2.2.3. Agua residual doméstica .....                                                          | 24 |
| 2.2.4. Características del Agua Residual .....                                                | 24 |
| 2.2.5. Agua Residual y su Contaminación.....                                                  | 25 |
| 2.2.6. Tratamiento de aguas residuales .....                                                  | 25 |
| 2.2.7. Soluciones eco-amigables para la remoción de contaminantes en<br>aguas residuales..... | 27 |
| 2.2.8. Tratamiento de aguas residuales con residuos orgánicos .....                           | 27 |



|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.9. Uso de biochar derivado de residuos orgánicos en el tratamiento de aguas residuales.....     | 27 |
| 2.2.10. Propiedades de biochar .....                                                                | 28 |
| 2.2.11. Aplicación del biochar .....                                                                | 29 |
| 2.2.12. Biochar de Cáscaras de Solanum tuberosum (Papa) en el Tratamiento de Aguas Residuales ..... | 30 |
| 2.2.13. Producción de Biochar a Partir de Cáscaras de Papa .....                                    | 30 |
| 2.2.14. Mecanismos de Adsorción en Biochar .....                                                    | 31 |
| 2.2.15. Factores que Afectan la Eficiencia del Biochar .....                                        | 31 |
| 2.2.16. Impacto Ambiental y Sostenibilidad del Biochar .....                                        | 32 |
| 2.3. Marco conceptual.....                                                                          | 32 |
| 2.3.1. Eficacia.....                                                                                | 32 |
| 2.3.2. Adsorción .....                                                                              | 32 |
| 2.3.3. Biochar .....                                                                                | 33 |
| 2.3.4. Biomasa .....                                                                                | 33 |
| 2.3.5. Capacidad de Adsorción .....                                                                 | 33 |
| 2.3.6. Coliformes Termotolerantes .....                                                             | 33 |
| 2.3.7. Contaminantes Inorgánicos.....                                                               | 33 |
| 2.3.8. Contaminantes Orgánicos.....                                                                 | 33 |
| 2.3.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....                                                    | 33 |
| 2.3.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....                                                      | 34 |
| 2.3.11. Pirólisis.....                                                                              | 34 |



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 3.1. Tipo de investigación .....                   | 35 |
| 3.2. Nivel de investigación .....                  | 35 |
| 3.3. Enfoque de la investigación .....             | 36 |
| 3.4. Diseño de investigación .....                 | 36 |
| 3.5. Técnicas e instrumentos .....                 | 36 |
| 3.2.1. Técnicas .....                              | 36 |
| 3.2.2. Instrumentos.....                           | 37 |
| 3.2.3. Ubicación de la zona de investigación ..... | 37 |
| 3.2.4. Población y muestra.....                    | 38 |
| 3.2.5. Materiales y equipos .....                  | 39 |
| 3.2.6. Procedimiento metodológico .....            | 40 |

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 4.1. Resultados .....            | 51 |
| 4.2. Discusiones.....            | 85 |
| CONCLUSIONES.....                | 87 |
| RECOMENDACIONES .....            | 89 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 90 |
| ANEXOS .....                     | 94 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....                                    | 17 |
| <b>Tabla 2</b> Puntos de monitoreo .....                                                | 41 |
| <b>Tabla 3</b> Métodos normalizados para el análisis a aguas potables y residuales ...  | 42 |
| <b>Tabla 4</b> Dosis de Biochar .....                                                   | 47 |
| <b>Tabla 5</b> Códigos de tratamiento .....                                             | 47 |
| <b>Tabla 6</b> Tiempos de tratamiento .....                                             | 50 |
| <b>Tabla 7</b> Resultados iniciales .....                                               | 51 |
| <b>Tabla 8</b> Resultados del tratamiento de la primera replica a los 30 minutos .....  | 54 |
| <b>Tabla 9</b> Resultados del tratamiento de la segunda replica a los 30 minutos .....  | 55 |
| <b>Tabla 10</b> Resultados del tratamiento de la tercera replica a los 30 minutos ..... | 55 |
| <b>Tabla 11</b> Resultados del tratamiento de la primera replica de 1 hora .....        | 56 |
| <b>Tabla 12</b> Resultados del tratamiento de la segunda replica de 1 hora .....        | 56 |
| <b>Tabla 13</b> Resultados del tratamiento de la tercera replica de 1 hora .....        | 57 |
| <b>Tabla 14</b> Resultados del tratamiento de la primera replica de 4 horas .....       | 57 |
| <b>Tabla 15</b> Resultados del tratamiento de la segunda replica de 4 horas.....        | 58 |
| <b>Tabla 16</b> Resultados del tratamiento de la tercera replica de 4 horas .....       | 58 |
| <b>Tabla 17</b> Promedio de resultados a 30 minutos de tratamiento .....                | 59 |
| <b>Tabla 18</b> Promedio de resultados a 1 hora de tratamiento .....                    | 63 |
| <b>Tabla 19</b> Promedio de resultados a 4 horas de tratamiento .....                   | 66 |
| <b>Tabla 20</b> Porcentaje de remoción tras los 30 minutos de tratamiento .....         | 69 |
| <b>Tabla 21</b> Porcentaje de remoción tras 1 hora de tratamiento .....                 | 72 |
| <b>Tabla 22</b> Porcentaje de remoción tras 4 horas de tratamiento .....                | 75 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Ubicación de la zona de monitoreo .....                                                        | 38 |
| <b>Figura 2</b> Toma de muestras iniciales .....                                                               | 41 |
| <b>Figura 3</b> Análisis en laboratorio .....                                                                  | 42 |
| <b>Figura 4</b> Toma e identificación de muestras .....                                                        | 44 |
| <b>Figura 5</b> Cascara de Solanum Tuberosum .....                                                             | 45 |
| <b>Figura 6</b> Obtencion del biochar de Solanum tuberosum .....                                               | 46 |
| <b>Figura 7</b> Obtención de biochar .....                                                                     | 46 |
| <b>Figura 8</b> Procedimiento experimental.....                                                                | 49 |
| <b>Figura 9</b> Remoción de Contaminantes con Diferentes Dosis de Biochar tras 30 Minutos de tratamiento ..... | 62 |
| <b>Figura 10</b> Remoción de Contaminantes con Diferentes Dosis de Biochar tras 1 hora de tratamiento.....     | 65 |
| <b>Figura 11</b> Remoción de Contaminantes con Diferentes Dosis de Biochar tras 4 horas de tratamiento .....   | 68 |
| <b>Figura 12</b> Tendencia de Remoción de Contaminantes a 30 Minutos de Tratamiento con Biochar.....           | 72 |
| <b>Figura 13</b> Tendencia de Remoción de Contaminantes a 1 hora de Tratamiento con Biochar.....               | 74 |
| <b>Figura 14</b> Tendencia de Remoción de Contaminantes a 4 horas de Tratamiento con Biochar.....              | 76 |



## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia del biochar elaborado a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales a escala de laboratorio. La problemática radica en la alta contaminación de las aguas residuales en zonas urbanas y rurales, especialmente en Juliaca, donde se encuentran altos niveles de contaminantes orgánicos y microbiológicos, lo que requiere soluciones económicas y sostenibles. La metodología consistió en la caracterización físico-química de las aguas residuales antes del tratamiento, la elaboración del biochar a partir de cáscaras de papa, y la evaluación de la remoción de contaminantes en función de diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L, y 11 g/L) a tres tiempos de exposición: 30 minutos, 1 hora y 4 horas. Los resultados mostraron que el biochar es altamente eficaz en la remoción de coliformes termotolerantes, alcanzando una remoción del 100% a los 30 minutos. En cuanto a los contaminantes orgánicos (SST, DBO y DQO), se observó una mejor remoción a las 4 horas de tratamiento, especialmente en dosis de 5 g/L y 7 g/L. Las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L) mostraron buenos resultados, pero el pH del agua se volvió más ácido. En conclusión, el biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* es un método efectivo que permite eliminar los contaminantes en aguas residuales, con la dosis óptima siendo 5 g/L debido a su balance entre eficacia y estabilidad del pH.

**Palabras claves:** aguas residuales, biochar, contaminación, remoción *solanum tuberosum*.



## ABSTRACT

The objective of this study was to value the productiveness of biochar made from *Solanum tuberosum* (potato) peels in removing contaminants present in wastewater at a laboratory scale. The issue lies in the high contamination of wastewater in urban and rural areas, especially in Juliaca, where high levels of organic and microbiological pollutants are found, requiring cost-effective and sustainable solutions. The methodology consisted of the physicochemical characterization of the wastewater before treatment, the creation of biochar from potato peels, and the evaluation of contaminant removal based on different biochar doses (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L, and 11 g/L) at three exposure times: 30 minutes, 1 hour, and 4 hours. The results showed that biochar is highly effective in removing thermotolerant coliforms, achieving 100% removal at 30 minutes. For organic pollutants (TSS, BOD, and COD), the best removal was observed at 4 hours of treatment, particularly at doses of 5 g/L and 7 g/L. Higher doses (9 g/L and 11 g/L) showed good results but made the water more acidic. In conclusion, biochar from *Solanum tuberosum* peels is an effective solution for contaminant removal in wastewater, with the optimal dose being 5 g/L due to its balance between effectiveness and pH stability.

**Keywords:** Wastewater, biochar, contamination, removal, *Solanum tuberosum*.



## INTRODUCCIÓN

Lo contaminadas que están las aguas residuales es un problema ambiental significativo que afecta a diversas regiones del mundo, incluida la zona de Juliaca, en el sur de Perú. Las aguas residuales en esta área contienen elevados niveles de contaminantes orgánicos y microbiológicos, que podrían afectar tanto nuestra salud como el entorno en el que vivimos. Entre los contaminantes más comunes se encuentran los sólidos suspendidos, la materia orgánica (DBO y DQO) y los coliformes termotolerantes. Por eso mismo, hoy por hoy se ha vuelto fundamental crear formas que funcionen bien y que puedan mantenerse en el tiempo para limpiar toda esa agua.

En este contexto, el uso de biochar obtenido a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) se ha propuesto como una manera decente de eliminar las sustancias que ensucian el agua. El biochar es un material poroso con alta su habilidad para retener sustancias, transformándolo así en un material potencial para tratar aguas contaminadas de manera económica y ecológica.

El objetivo general de este estudio fue evaluar la eficacia del biochar de cáscara de papa en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales, a través de diferentes dosis y tiempos de exposición. Este estudio contribuye a la búsqueda de soluciones naturales y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, especialmente en regiones con recursos limitados.

Este estudio se encuentra organizado en los siguientes capítulos: I. Introducción; II Capítulo, se centra en el corazón del asunto: de dónde nace la inquietud, cómo se terminó formulando el problema, las metas que nos pusimos y las razones que le dan sentido a todo esto. En el Marco Teórico juntamos los trabajos previos, los conceptos clave que usamos de base y los puntos concretos



que analizamos. La parte de la metodología cuenta cómo nos organizamos para hacer el estudio y el camino que seguimos; ahí también se mencionan los resultados y su análisis. Por último, el Capítulo III recoge las ideas finales, algunas recomendaciones, las fuentes que usamos y los anexos



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Análisis de la situación problemática

A nivel internacional, la contaminación del agua sigue siendo uno de los mayores desafíos ambientales. Según la OMS, se estima que más de 2 mil millones de personas en todo el mundo consumen agua potable contaminada con heces, lo que puede causar enfermedades transmitidas por el agua (Pérez et al., 2019). Además, las aguas residuales industriales contienen una gran variedad de contaminantes, incluidos metales pesados, productos químicos tóxicos y sustancias derivadas de organismos, que dañan a las personas y también al entorno natural (Rivera et al., 2021).

Utilizar biochar para ir limpiando el agua contaminada y quitarle las cosas que le hacen daño está ganando aceptación debido a su bajo costo, sostenibilidad y capacidad para adsorber un montón de cosas que ensucian el agua, como por ejemplo metales bien pesados y nutrientes (Zahoor et al., 2025). Sin embargo, los métodos de tratamiento convencionales como la coagulación-floculación y la filtración, a pesar de ser eficaces, requieren una inversión elevada y no siempre alcanzan una remoción total de los contaminantes (López et al., 2021) A nivel nacional, la contaminación del agua en Perú

es un verdadero dolor de cabeza, sobre todo en pueblos y ciudades donde no hay plantas de tratamiento que funcionen como la gente, o simplemente no existe nada de eso (Llinares, 2024).

Según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), alrededor del 80% de las aguas depuradas urbanas en el país no reciben tratamiento adecuado, lo que contribuye al daño que se le hace a los ríos y otros lugares con agua. Esto al final perjudica tanto a quienes viven cerca como a todo lo que crece y vive en esos sitios, además de limitar el acceso a agua potable segura (MINAM, 2020).

A nivel local, en el distrito de Juliaca, ubicado en la región de Puno, la contaminación del agua es un problema serio. La escasa infraestructura de tratamiento de aguas residuales y la rápida urbanización han generado un aumento en el deterioro de ríos, lagos y otras fuentes de agua, como ríos y lagunas, que son utilizados por la población para poder tomarla sin miedo y también para emplearla en labores que dan de comer. Según un informe de la Municipalidad Provincial de San Román (Juliaca), aproximadamente el 70% de las aguas residuales en Juliaca no reciben tratamiento adecuado, lo que agrava la situación de salud pública y ambiental en la región (Municipalidad Provincial de San Román, 2019).

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la eficacia del biochar elaborado a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales a escala de laboratorio?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué concentraciones físico-químicas presentan las aguas residuales del distrito de Juliaca antes de ser tratadas con biochar?

- ¿Cuál será la dosis óptima de biochar elaborado a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) para la remoción eficiente de contaminantes en aguas residuales?
- ¿Cómo varía la capacidad de remoción de contaminantes a partir del biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) en aguas residuales según los diferentes tiempos de exposición?

### **1.3. Objetivo de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar la eficacia del biochar elaborado a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales a escala de laboratorio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las concentraciones físico-químicas de las aguas residuales antes del tratamiento en el distrito de Juliaca.
- Elaborar el biochar a partir de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) y determinar la dosis óptima para la remoción
- Determinar la capacidad de remoción de contaminantes con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) en aguas residuales, evaluando la reducción de contaminantes a diferentes tiempos de exposición.

### **1.4. Justificación**

Tener el agua contaminada se ha vuelto un tema delicado que perjudica tanto a las personas como al entorno, especialmente en algunas zonas con recursos limitados como Juliaca. Las aguas residuales, provenientes de actividades industriales y urbanas, contienen contaminantes que requieren soluciones de tratamiento accesibles y sostenibles. El biochar, un material derivado del pirólisis

de residuos orgánicos como las cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa), se ha propuesto como una alternativa eficaz y económica para remover contaminantes en aguas residuales. Este estudio busca evaluar la eficacia del biochar de cáscara de papa en la remoción de contaminantes a escala de laboratorio, optimizando su uso en diferentes condiciones experimentales. Los resultados proporcionarán una alternativa real para tratar las aguas negras en el campo o donde no hay muchas opciones, aprovechando recursos locales y contribuyendo a la mejora de la calidad del agua.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

- El biochar elaborado a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) tiene una eficacia significativa en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales a escala de laboratorio.

### **1.5.2. Hipótesis específica**

- Las aguas residuales del distrito de Juliaca presentan concentraciones elevadas de contaminantes, cuya caracterización físico-química influye en el proceso de remoción de contaminantes con biochar.
- La dosis de biochar elaborada a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) tiene un impacto directo en la remoción de contaminantes en aguas residuales, y existe una dosis óptima que maximiza la eficiencia del tratamiento.
- El tiempo de exposición del biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) influye en la capacidad de remoción de contaminantes en aguas residuales, con un aumento en la eficacia de remoción a medida que se incrementa el tiempo de exposición.

## 1.6. Variables

### 1.6.1. Variable dependiente

- **Eficiencia en la remoción de contaminantes (DBO, DQO, sólidos totales en suspensión, Coliformes termotolerantes):** Esta es la variable que mide el impacto de la dosis de biochar, es decir, la reducción de contaminantes en las aguas depuradas en función de las dosis de biochar aplicadas y los tiempos de exposición.

### 1.6.2. Variable independiente

- **Dosis de biochar** elaborado a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa): Esta es la variable que se manipula en el presente estudio, ya que se está probando diferentes dosis de biochar para observar cómo afecta la eliminación de las impurezas que vienen en las aguas residuales.

## 1.7. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| Variable                                        | Dimension                                                                                        | Indicadores                             | Unidad de medida |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|
| (Vd) eficiencia en la remoción de contaminantes | Reducción de contaminantes (DBO, DQO, sólidos totales en suspensión, Coliformes termotolerantes) | Porcentaje de remoción de contaminantes | %                |
| (Vi) dosis de biochar                           | Cantidad de biochar utilizado                                                                    | Gramos de biochar por litro de agua     | g/L              |

*Nota:* (Vi) Variable independiente (Vd) Variable dependiente



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Según Llinares (2024) en su investigación señala que el biocarbón representa una opción innovadora y ecológica para el tratamiento de aguas residuales, destacándose en la eliminación de tintes, contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como metales pesados. Producido a partir de biomasa, sus propiedades lo hacen altamente efectivo para adsorber distintos contaminantes. No obstante, presenta ciertos desafíos, tales como los altos costos de producción, la dificultad para su implementación a gran escala y la necesidad de tratamientos químicos. A pesar de estas barreras, su aplicación se perfila como una opción viable para la valorización de residuos y el impulso de no dejar perder nada cuando se trata de sanear las aguas negras.

Oviedo et al., (2020) establecieron como objetivo del estudio fue comparar la manera en que se purifica el agua en un humedal natural, empleando dos sustancias que ayudan a aglutinar las impurezas: sulfato de aluminio y cáscara de papa (*Solanum tuberosum* L). Se recolectó cáscara de papa de restaurantes en Barranquilla, la cual fue lavada, secada y molida, luego se utilizó como coagulante, mientras que el sulfato de aluminio se adquirió comercialmente. Las muestras de

agua se obtuvieron de la ciénaga de Malambo y se sometieron a un ensayo de jarras para simular coagulación, floculación y sedimentación, conforme a los parámetros de la NTC 3903 de 2010. Los hallazgos mostraron que la turbidez inicial del agua era de 59,60 UNT, y la mayor remoción de turbidez se alcanzó con 40 mg/L de sulfato de aluminio (92,51%), en tanto que el coagulante natural (cáscara de papa) logró una remoción de 81,32% con 10 mg/L. Se concluyó que la dosis de coagulantes influye de manera importante en qué tan turbia está el agua, y la cáscara de papa resulta ser una opción que funciona muy bien para limpiar aguas contaminadas, complementando el uso de sulfato de aluminio.

Zahoor et al. (2025) mencionan que, a nivel mundial, se producen alrededor de 380 billones de litros de aguas residuales cada año, muchas de las cuales no reciben tratamiento ya que resulta bien costoso y aparte no hay quien tenga la experiencia necesaria. Este estudio resalta el biocarbón derivado de biomasa lignocelulósica agrícola (ALCB) como una alternativa efectiva y asequible para tratar aguas residuales, gracias a sus destacadas propiedades de adsorción. El ALCB es un recurso abundante y disponible tanto en países en desarrollo como en regiones desarrolladas. Los procesos de producción como pirólisis, gasificación y torrefacción afectan sus características y, por lo tanto, su rendimiento en la adsorción. Además, su aplicación proporciona beneficios económicos y ambientales, incluyendo la gestión de residuos, la oportunidad de darle empleo a muchos y de ir limpiando el planeta.

Beljin et al. (2025) esta revisión analiza el biocarbón como una opción sostenible y económica para eliminar contaminantes orgánicos como los HAP y pesticidas en el agua. Producido a través del pirólisis de biomasa, el biocarbón demuestra una alta capacidad de adsorción, superior al 90%, siendo eficaz en la

remoción de metales tóxicos, contaminantes orgánicos y nutrientes. Sin embargo, existen desafíos relacionados con la escalabilidad, los costos elevados y la necesidad de optimizar su uso en condiciones de campo. Es necesario indagar más a fondo para afinar las técnicas que se usan en la producción y evaluar su efectividad a largo plazo para su implementación en el tratamiento de aguas residuales a gran escala.

Leng et al. (2021) mencionan que la superficie y la porosidad del biocarbón son propiedades fundamentales para usarlo para labores como tratar el agua sucia o reparar terrenos dañados. La composición de la biomasa y la temperatura de pirólisis son los factores clave que determinan estas características, siendo la biomasa lignocelulósica, particularmente la madera, una opción destacada. Las temperaturas moderadas (400-700 °C) favorecen la formación de la estructura porosa, y se pueden lograr mejoras adicionales mediante la activación química y otros procesos como recubrimientos carbonosos y molienda. La investigación futura debería enfocarse en perfeccionar las tecnologías de tratamiento para mejorar tanto la funcionalidad como la estructura porosa del biocarbón.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Mas (2018) indica que, en Perú, una gran parte de los residuos orgánicos generados en los hogares no recibe un tratamiento adecuado, representando el 60% de los residuos sólidos, lo que los convierte en una fuente potencial para el uso de biochar. Este estudio evaluó qué tan bien funciona el biocarbón, elaborado con desechos orgánicos, para quitar la suciedad presente en aguas residuales. El biochar se elaboró por pirólisis a temperaturas entre 550 y 660 °C. Para tratar el agua de la quebrada Santa Lucía en Chachapoyas, se utilizó un filtro que contenía biochar, arena fina, arena gruesa y piedras de río. Se logró una eficiencia máxima



de remoción de materia orgánica del 75% en la DBO y del 71% en la DQO. Estos resultados fueron obtenidos utilizando un biochar con un 90% de tuza de maíz en el experimento de DBO y un 45% en el de DQO. Se concluyó que el biochar rinde dependiendo de qué tan esponjoso sea y de cómo era la materia orgánica con la que lo hicieron.

Marcos (2019) en su investigación menciona que el creciente aumento de la población mundial y la distribución desigual del agua están llevando al agotamiento de este recurso vital. Las aguas residuales domésticas contienen contaminantes típicos con concentraciones promedio de SST 220 mg/l, DBO 220 mg/l, DQO 50 mg/l y grasas 100 mg/l. Los procesos de floculación y coagulación contribuyen a la desestabilización de los coloides, lo que facilita la sedimentación y reduce la materia orgánica y la turbidez. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de la cáscara de papa y yuca en la eliminación de materia orgánica de las aguas residuales domésticas del Parque María Reiche, en Miraflores. En el experimento, se aplicaron coagulantes naturales a las muestras de agua residual para remover la carga orgánica. Los resultados indicaron que el almidón de yuca fue más eficiente, logrando una reducción de DBO del 54.6% y de DQO del 54.6%, en tanto que la cáscara de papa redujo la DBO en un 48.4% y la DQO en un 41.2%. En conclusión, la cáscara de yuca resultó ser un coagulante más eficaz para quitarle los restos orgánicos a las aguas del Parque María Reiche, usando una cantidad de 0.1 gramos.

Gutiérrez & Muñoz (2017) El aprovechamiento de residuos agrícolas, como cáscaras de mazorca, naranja, papa, plátano, cascarillas de arveja, malezas, entre otros, representa una alternativa para generar productos de valor agregado, como enmiendas orgánicas que mejoran la calidad del suelo y promueven la

sostenibilidad y productividad de los cultivos. En este proyecto, se utilizó el pirólisis para transformar estos residuos en biochar, lo cual mejora la absorción de nutrientes, la cabida de intercambio catiónico, la retención de agua y la cantidad de materia orgánica en el suelo a través del secuestro de carbono. El biochar producido cumplió con la NTC 5167 y se aplicó en parcelas de espinacas, mostrando un aumento del 20% en el peso del cultivo en la parcela tratada. Además, se observó un aumento en el carbono orgánico del suelo (COS), lo que evidencia que el biochar favorece el secuestro de carbono, contribuyendo así a la mejora del suelo y al incremento de la productividad agrícola.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Según Cutipa (2023) en su pesquisa indica que, el tratamiento deficiente de las aguas negras de la ciudad de Puno están haciendo un desastre, llenando todo de lama y matando la vida que hay ahí en la bahía interior. Este estudio tuvo como objetivo determinar las propiedades fisicoquímicas de las ARM tratadas mediante el sistema de lagunas de estabilización y evaluar el impacto de la manifestación de oxone, el biocarbón derivado de lodo de PTAR y el pH en la eliminación de DQO. Los análisis fisicoquímicos mostraron que no hubo cambios significativos en el pH entre el afluente y el efluente, pero la conductividad eléctrica aumentó y la DQO disminuyó en el efluente. En los experimentos realizados, la mayor eficiencia en la remoción de DQO (49.63%) se alcanzó con 20 mM de Oxone, 3 g/L de biocarbón y un pH de 5. En conclusión, el biocarbón proveniente de lodo de PTAR contribuye significativamente a la reducción de DQO en las ARM tratadas con el sistema de lagunas de estabilización en Puno.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. *Agua residual*

El término agua residual hace referencia al agua que ha sido utilizada en actividades humanas y que, como resultado de este uso, ha adquirido contaminantes de diversa índole, tales como materia orgánica, metales pesados, productos químicos, y microorganismos patógenos. Estas aguas, debido a la presencia de contaminantes, a veces las avientan directamente a los cauces de agua sin ningún cuidado, y eso es un riesgo bien grande tanto para la salud de todos como para el entorno (Clemente et al., 2021).

Las aguas residuales pueden clasificarse en diferentes tipos, dependiendo de su origen y características, siendo las más comunes las aguas depuradas industriales y las aguas depuradas domésticas. Cada una de estas presenta contaminantes específicos que requieren tratamientos diferenciados.

### 2.2.2. *Agua residual industrial*

Las aguas que desechan las fábricas nacen de actividades de fabricación y actividades industriales. Estas aguas son particularmente problemáticas debido a la alta carga contaminante que poseen, la cual incluye metales pesados, sustancias tóxicas, productos químicos industriales y solventes orgánicos. Lo que más se encuentra en el agua que botan las fábricas son metales bien pesados, como el plomo y el mercurio, cromo y cadmio, además de compuestos orgánicos como disolventes y aceites. Estas aguas pueden ser altamente concentradas y su tratamiento requiere tecnologías específicas, como la adsorción, la precipitación química y la filtración (Pimiento & Cárdenas, 2021).

### **2.2.3. Agua residual doméstica**

Las aguas residuales domésticas provienen del uso diario en viviendas y comunidades, como el uso de agua para higiene personal, cocinas, lavanderías, entre otros. Este tipo de aguas generalmente contiene materia orgánica biodegradable, nutrientes como nitrógeno y fósforo, y microorganismos patógenos. Los contaminantes predominantes en las aguas residuales domésticas son los coliformes fecales, sólidos suspendidos totales (SST), y materia orgánica (DBO y DQO). Cuando no les dan su debido tratamiento, toda esa basura le baja la calidad al agua y la salud pública (Osorio Rivera et al., 2021)

### **2.2.4. Características del Agua Residual**

Las características físico-químicas del agua residual son fundamentales para entender los procesos de tratamiento requeridos para su purificación. Entre las propiedades más importantes que deben ser analizadas se encuentran:

#### **a. Temperatura**

La temperatura influye en la velocidad de los procesos biológicos y químicos que ocurren durante el tratamiento del agua (Metcalf & Eddy, 2003)

#### **b. pH**

El pH afecta la solubilidad de ciertos contaminantes y la eficiencia de muchos procesos de tratamiento, como la coagulación-floculación y la adsorción (Metcalf & Eddy, 2003)

#### **c. Sólidos suspendidos totales (SST)**

Estos son materiales sólidos que no se disuelven en el agua y que llegan a alterar el buen funcionamiento de los sistemas de limpieza físico y biológico (Metcalf & Eddy, 2003)

**d. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

e. La DBO no es más que el oxígeno que ocupan los bichos para ir deshaciendo la basura orgánica que flota en el agua. Ese dato es clave para saber si el agua está buena o no. (Metcalf & Eddy, 2003)

**f. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Similar a la DBO, pero en lugar de ser medida biológicamente, la DQO se determina mediante oxidación química de los contaminantes presentes en el agua (Metcalf & Eddy, 2003)

**g. Coliformes termotolerantes**

Indicadores de la presencia de contaminación fecal, que deben ser eliminados durante el tratamiento para evitar riesgos a la salud pública (Metcalf & Eddy, 2003)

**2.2.5. Agua Residual y su Contaminación**

Se refiere a la presencia de sustancias indeseadas en las aguas depuradas, tales como materia orgánica, nutrientes (como nitrógeno y fósforo), patógenos (bacterias, virus), productos químicos (metales pesados, pesticidas) y sólidos suspendidos. Toda esa basura significa un riesgo, tanto para la gente como para los ecosistemas acuáticos, ya que pueden deteriorar la calidad del agua, causar eutroficación, afectar la fauna y flora acuática, e incluso generar enfermedades. Un adecuado tratamiento de las aguas depuradas es crucial para mitigar estos efectos y proteger el medio ambiente y la salud pública (Pérez et al., 2019).

**2.2.6. Tratamiento de aguas residuales**

Es la forma en que se quitan o disminuyen las sustancias dañinas que hay en las aguas residuales para hacerlas aptas para su reutilización o para su liberación segura ya sea ríos o lagos, pero sin que eso traiga consecuencias feas

para el entorno ni para nosotros (Ramalho, 2021). El tratamiento de aguas residuales generalmente se lleva a cabo en etapas, que pueden incluir:

**a. Tratamiento primario**

Implica la remoción de sólidos suspendidos grandes y partículas flotantes mediante procesos físicos, como la sedimentación o la filtración. Se busca reducir la turbidez y la carga de materia sólida (Ramalho, 2021).

**b. Tratamiento secundario**

Se enfoca en el momento de remover la suciedad que está disuelta y algunos contaminantes biodegradables. Usualmente se emplean procesos biológicos, como el uso de bacterias que descomponen la materia orgánica, a través de sistemas como los reactores de lodos activados, filtros biológicos o lagunas de estabilización (Ramalho, 2021).

**c. Tratamiento terciario**

Es un tratamiento adicional utilizado para acabar con contaminantes específicos que se colaron en las etapas previas, tales como los nutrientes (nitrógeno, fósforo), patógenos, y productos químicos. Este tratamiento puede incorporar pasos como el filtrado profundo, la purificación (usando cloro, ozono o luz ultravioleta), y la eliminación de metales pesados o compuestos tóxicos (Ramalho, 2021).

**d. Tratamiento de lodos**

Los lodos generados durante el tratamiento de aguas residuales también deben ser tratados. Este proceso puede incluir la digestión anaeróbica, el secado y la deshidratación de los lodos para reducir su volumen y su potencial de contaminación (Ramalho, 2021).

### ***2.2.7. Soluciones eco-amigables para la remoción de contaminantes en aguas residuales***

Se refieren a métodos y tecnologías sostenibles que buscan eliminar o reducir la cantidad de mugre que tiene el agua residual, utilizando enfoques que minimicen el impacto ambiental. Estas soluciones emplean materiales y procesos naturales, como el biochar derivado de residuos orgánicos, que permiten la adsorción de contaminantes sin generar efectos perjudiciales para el medio ambiente. Además de mejorar la calidad del agua, estas alternativas contribuyen a la valorización de residuos, el reciclaje de materiales y proteger todo lo que vive en el agua, ayudando a que la forma de usar el líquido sea más duradera y consciente y el cuidado del medio ambiente (Amalina et al., 2023).

### ***2.2.8. Tratamiento de aguas residuales con residuos orgánicos***

El uso de materiales orgánicos, como biomasa, residuos agrícolas y subproductos de la industria alimentaria, para tratar y eliminar contaminantes en aguas residuales es una solución eco-amigable y sostenible. Técnicas como el pirólisis permiten convertir estos residuos en biochar, un material altamente adsorbente que facilita la remoción de contaminantes como materia orgánica, metales pesados y nutrientes en exceso. Esta manera de hacer las cosas no solo sube el nivel del agua, sino que además contribuye a la reducción de desechos, favorece la valorización de subproductos y proporciona una alternativa eficiente y que cuide el planeta en el proceso de tratar el agua residual (Jha et al., 2023)

### ***2.2.9. Uso de biochar derivado de residuos orgánicos en el tratamiento de aguas residuales***

El biochar es un material carbonoso obtenido a través del pirólisis de residuos orgánicos, como residuos agrícolas, biomasa forestal y desechos

industriales. Cuando hablamos de limpiar el agua que ya se usó, el biochar se utiliza como un adsorbente eficiente para eliminar contaminantes, tales como materia orgánica, metales pesados, nutrientes en exceso (como nitrógeno y fósforo) y compuestos tóxicos. Su elevada porosidad, gran superficie específica y la presencia de grupos funcionales en su superficie lo convierten en un material ideal para este propósito. Además de mejorar el estado del agua, el uso de biochar contribuye al manejo sostenible de residuos, ya que permite reciclar desechos orgánicos y reduce su impacto ambiental. El empleo de biochar derivado de residuos orgánicos en esto de tratar las aguas residuales, es una alternativa amigable con la naturaleza y económica, que va de la mano con no desperdiciar nada y velar por el futuro (Zeghioud et al., 2022).

#### **2.2.10. Propiedades de biochar**

El **biochar** es un material altamente poroso y carbonoso que se obtiene mediante los pirólisis de biomasa en ausencia de oxígeno. Sus propiedades son clave para sus disímiles aplicaciones, especialmente en el tratamiento de aguas y la mejora del suelo. Entre las propiedades más destacadas del biochar se incluyen:

##### **a. Alta área superficial**

El biochar tiene una superficie específica elevada (hasta 1500 m<sup>2</sup>/g), lo que le permite adsorber una gran cantidad de contaminantes y nutrientes (Li & Skelly, 2023).

##### **b. Porosidad**

Su estructura porosa ayuda a que el agua y los nutrientes se queden ahí, sin escaparse, además de ser eficaz para la adsorción de metales pesados y compuestos orgánicos (Li & Skelly, 2023)..

##### **c. Presencia de grupos funcionales**

Los grupos funcionales en su superficie (como carboxilos y fenoles) mejoran su capacidad para atrapar partículas y su interacción con diversos contaminantes (Li & Skelly, 2023)..

**d. Estabilidad química**

El biochar tiene una alta estabilidad química y resiste la descomposición en el suelo durante períodos prolongados, lo que le permite actuar como un sumidero de carbono (Li & Skelly, 2023).

**e. Bajo contenido de humedad**

Su bajo contenido de agua lo hace adecuado para aplicaciones donde la retención de humedad es importante, como en la mejora del suelo (Li & Skelly, 2023).

**2.2.11. Aplicación del biochar**

El biochar tiene un montón de usos, que arrancan desde limpiar de aguas hasta la agricultura. Algunas de sus principales aplicaciones son:

**a. Tratamiento de aguas residuales**

Con el biochar se pueden quitar contaminantes de las aguas negras, por ejemplo metales bien pesados o compuestos de esos orgánicos, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y turbidez. Su alta capacidad de adsorción lo hace ideal para este propósito (Llinares, 2024).

**b. Mejora del suelo**

En la agricultura, el biochar se utiliza como enmienda para mejorar la calidad del suelo. Aumenta la retención de agua, mejora la aireación del suelo, acrecienta la capacidad de retención de nutrientes y fomenta la actividad microbiana beneficiosa. Además, ayuda a secuestrar carbono, lo que ayuda a frenar el calentamiento del planeta (Llinares, 2024).

### c. Sumidero de carbono

El biochar es capaz de guardar el carbono por muchísimos años sin que se escape, y eso ayuda a que baje la cantidad de CO<sub>2</sub> que anda flotando en el aire, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático (Llinares, 2024).

### d. Recuperación de suelos contaminados

Gracias a sus propiedades adsorbentes, el biochar se utiliza para remediar suelos contaminados con metales pesados y otros compuestos tóxicos, ayudando a restaurar su fertilidad y funcionalidad (Llinares, 2024).

#### **2.2.12. Biochar de Cáscaras de *Solanum tuberosum* (Papa) en el Tratamiento de Aguas Residuales**

El uso de **biochar de cáscaras de papa** específicamente ha ganado atención debido a la abundancia de este residuo en las regiones agrícolas productoras de papas. La cáscara de papa, al ser un subproducto de la industria alimentaria, tiene un bajo costo y se puede procesar fácilmente para producir biochar. Se ha comprobado que este material es muy bueno atrapando diferentes tipos de suciedad que llevan las aguas residuales, como metales pesados, restos orgánicos y nutrientes (Mas, 2018)

#### **2.2.13. Producción de Biochar a Partir de Cáscaras de Papa**

La pirólisis de cáscaras de papa, como materia prima para la producción de biochar, involucra un proceso en el que las cáscaras son calentadas a temperaturas entre 400 y 800°C en ausencia de oxígeno. Durante este proceso, las cáscaras de papa se descomponen, liberando compuestos volátiles y dejando un material carbonoso poroso con propiedades adsorbentes. La temperatura de pirólisis y el

tiempo de exposición son factores determinantes en las propiedades del biochar resultante. Temperaturas más altas tienden a aumentar la superficie activa del biochar, lo que mejora su capacidad de adsorción

#### **2.2.14. Mecanismos de Adsorción en Biochar**

El proceso de adsorción es fundamental para la remoción de contaminantes del agua, y se refiere a la acumulación de contaminantes en la superficie del adsorbente, como el biochar. El biochar de cáscaras de papa actúa principalmente mediante adsorción física, que se basa en las fuerzas de Van der Waals entre el contaminante y la superficie del biochar, y adsorción química, que involucra interacciones más fuertes, como los enlaces iónicos o covalentes entre el biochar y los contaminantes

Los contaminantes como los metales pesados y compuestos orgánicos se adsorben mejor en la superficie porosa del biochar, y la eficacia de este proceso varía según aspectos como la temperatura, el pH del agua y el tiempo de contacto entre el biochar y los contaminantes. En un estudio realizado por Yang y Zhao (2019), se observó que el biochar de cáscaras de papa tiene una alta capacidad para adsorber metales pesados como plomo y cadmio, lo que lo convierte en un material eficaz para la purificación del agua.

#### **2.2.15. Factores que Afectan la Eficiencia del Biochar**

La eficiencia del biochar en la remoción de contaminantes depende de varios factores operacionales:

- Temperatura de pirólisis: Temperaturas más altas mejoran la superficie activa del biochar, lo que incrementa su capacidad de adsorción

- pH del agua: El pH puede influir en la carga superficial del biochar y en la solubilidad de los contaminantes. Por ejemplo, los metales pesados tienden a adsorberse mejor en un entorno ácido (Patel et al., 2024).
- Tiempo de contacto: Un mayor tiempo de contacto entre el biochar y el agua aumenta la eficiencia del proceso de adsorción, ya que permite que más contaminantes se adhieran a la superficie del biochar (Liang et al., 2021)

#### **2.2.16. Impacto Ambiental y Sostenibilidad del Biochar**

El uso de biochar de cáscaras de papa no solo ayuda a purificar las aguas residuales, sino que también aporta a la contracción de residuos agrícolas y mitigación del cambio climático. Al aprovechar las cáscaras de papa, un residuo agroindustrial, la forma de hacer biocarbón disminuye la cantidad de desechos agrícolas y convierte este material en un recurso valioso. Además, el biochar actúa como un sumidero de carbono, almacenando el carbono de manera estable durante largos períodos, con eso se le puede hacer frente a los estragos del calentamiento global (Ramalho, 2021)

### **2.3. Marco conceptual**

#### **2.3.1. Eficacia**

Para la presente la eficacia nos representa el logro de la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales.

#### **2.3.2. Adsorción**

Mecanismo por el que un elemento se pega a la capa externa de un material, como el biochar, debido a interacciones físicas o químicas (Kong et al., 2014).

### **2.3.3. Biochar**

El biochar no es más que un carbón sólido que sale de quemar materia orgánica sin oxígeno, y se usa un montón para limpiar aguas sucias porque es increíble atrapando cosas que contaminan (Lehmann & Joseph, 2024).

### **2.3.4. Biomasa**

Restos de plantas o animales que pueden servir para generar energía o para hacer biochar (Hameed & Rahman, 2008).

### **2.3.5. Capacidad de Adsorción**

Hasta dónde llega la capacidad de un material para retener contaminantes en su piel, según lo que pese (Kong et al., 2014).

### **2.3.6. Coliformes Termotolerantes**

Microorganismos que suelen estar presentes en las aguas residuales y que son indicadoras de la presencia de contaminación fecal en el agua (Hoz & Fortes, 2008).

### **2.3.7. Contaminantes Inorgánicos**

Compuestos no derivados de organismos vivos, como metales pesados y sales, que afectan la calidad del agua (Singh et al., 2022).

### **2.3.8. Contaminantes Orgánicos**

Compuestos químicos derivados de actividades humanas que son difíciles de degradar, como pesticidas, productos farmacéuticos y detergentes, y que pueden causar daños ecológicos en los cuerpos de agua (Singh et al., 2022).

### **2.3.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Cálculo del oxígeno que necesitan los bichitos para deshacer la suciedad que flota en el agua durante un período específico (APHA, 2017).



### **2.3.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es un indicador que mide el oxígeno que se gasta en la descomposición química de los contaminantes existentes en una muestra de agua (APHA, 2017).

### **2.3.11. Pirólisis**

Proceso térmico en ausencia de oxígeno en el que los materiales orgánicos son descompuestos a altas temperaturas para producir productos como biochar, gases y líquidos (Gutiérrez & Fuentes, 2020)



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, puesto que tiene como objetivo evaluar la eficacia del biochar de cáscaras de *Solanum tuberosum* en la remoción de contaminantes de aguas residuales, buscando una solución práctica y económica para este problema ambiental. Se centra en aplicar conocimientos científicos para ofrecer una alternativa accesible y sostenible al tratamiento de aguas, especialmente en áreas con recursos limitados.

#### 3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación que corresponde a este estudio es descriptivo y explicativo. El carácter descriptivo de la investigación sirve para conocer a fondo las aguas residuales antes y después de ser tratadas con el biochar, analizando las variaciones en los parámetros físico-químicos, como la DBO, la DQO, los SST, y la presencia de coliformes termotolerantes. Además, la investigación tiene un enfoque explicativo, ya que busca determinar las causas y efectos de los parámetros experimentales en la remoción de contaminantes, es decir, cómo la dosis de biochar, el tiempo de exposición y el pH afectan la eficiencia de remoción de contaminantes.

### 3.3. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es mixto, ya que combina métodos cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo se emplea para medir la eficacia del tratamiento con biochar en términos de remoción de contaminantes como metales pesados, materia orgánica y coliformes termotolerantes, utilizando indicadores numéricos que se analizarán con pruebas estadísticas. El enfoque cualitativo se utiliza para analizar los aspectos no numéricos de la investigación, tales como la percepción de la comunidad y las gobernantes locales sobre la viabilidad del uso de biochar en el tratamiento de aguas residuales, y los posibles beneficios sociales y ambientales de esta tecnología, lo que proporciona una comprensión integral del impacto del biochar.

### 3.4. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es experimental, ya que se manipulan las dosis de biochar y los tiempos de exposición para evaluar su efecto sobre los contaminantes en aguas residuales. A través de un experimento controlado, se evalúa la eficacia del biochar de cáscaras de *Solanum tuberosum* para la remoción de contaminantes orgánicos y microbiológicos presentes en las aguas residuales.

### 3.5. Técnicas e instrumentos

#### 3.2.1. Técnicas

En la presente investigación se emplean las siguientes técnicas

- Técnica Experimental: Se manipulan variables como la dosis de biochar, el tiempo de exposición y las condiciones experimentales (pH y

temperatura) para evaluar cómo influye en la limpieza de las aguas residuales.

- Técnica de Medición de Contaminantes: Se utilizan métodos estandarizados para análisis de aguas depuradas y potables (APHA, 2017)
- Técnica de Observación y Registro: Se documentan las características del biochar y los cambios observados en las aguas residuales durante el tratamiento, con el fin de completar el análisis.
- Técnica de Análisis Estadístico: Se aplican pruebas estadísticas como ANOVA y t-test para analizar los datos y verificar la significancia de los resultados obtenidos bajo distintas condiciones experimentales.

### **3.2.2. Instrumentos**

- Protocolos de Muestreo
- Cadena de Custodia
- Instrumentos de Medición de Contaminantes
- Instrumentos para la Preparación del Biochar

### **3.2.3. Ubicación de la zona de investigación**

La investigación se llevó a cabo en el distrito de **Juliaca**, situado en la región de **Puno**, Perú, específicamente en el **río Torococha**, el cual se encuentra en las coordenadas P1 E: 320209.18 N: 8281389.10 y P2 E: 320079.76 N: 8281297.54 geográficas Esta área fue seleccionada debido a la existencia de aguas residuales provenientes de diversas actividades en la región, lo que la convierte en un escenario relevante para el estudio del tratamiento de aguas mediante biochar.

**Figura 1**

Ubicación de la zona de monitoreo



Nota: extraído de Google Maps

### 3.2.4. Población y muestra

#### 3.2.4.1. Población

La población del estudio está compuesta por las aguas residuales del río Torococha en Juliaca, Puno, una ciudad con aproximadamente 300,000 habitantes. La investigación se enfoca en el tratamiento de aguas residuales generadas por actividades urbanas e industriales, debido a la carencia de infraestructura de tratamiento en la zona. Esta población fue seleccionada por la necesidad urgente de soluciones sostenibles y económicas, como el uso de biochar para la remoción de contaminantes en las aguas.

#### 3.2.4.2. Muestra

La muestra para esta investigación consiste en **20** litros de aguas residuales tomadas del río Torococha en el distrito de Juliaca, Puno. Estas muestras se dividieron en 4 **vasos** de 2 litros cada uno, con el fin de simular

diferentes condiciones de tratamiento. En cada vaso, se añadió biochar de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) en diferentes dosis y tiempos de exposición, con el objetivo de evaluar la eficacia del material en la remoción de contaminantes. Se tomaron muestras del agua en intervalos específicos para medir los parámetros físico-químicos y microbiológicos antes y después del tratamiento.

### **3.2.5. Materiales y equipos**

#### **3.2.5.1. Materiales**

- Vasos precipitados de 2000, 1000, 500 y 250 mL eb clase A
- Matraz Erlenmeyer de 500mL en clase A
- Capsulas de porcelana de capacidad 250mL
- Espátula
- Tubos de ensayo de 20 mL autoclavables
- Botellas winkler de 300mL
- Botellas de borosilicato de 500 mL
- Gradillas

#### **3.2.5.2. Equipos**

- Horno mufla marca YAMATO
- Incubadora a 20°C y 37°C marca YAMATO
- Balanza analítica de precisión 0,0001g marca ADAM
- Multiparámetro marca HACH Hq40d
- Bomba de vacío marca ROCKER
- Autoclave a 121°C marca J.P. SELECTA
- Bureta digital de 50mL marca TITRETTE

### 3.2.5.3. Reactivos

- Medios de cultivo para análisis de coliformes
- Sales de dilución para análisis de DBO
- Solución digestora para análisis de DQO
- Indicador almidón soluble
- Indicador ferroina
- Agua destilada

### 3.2.6. Procedimiento metodológico

**Objetivo específico 1: Determinar las concentraciones físico-químicas de las aguas residuales antes del tratamiento en el distrito de Juliaca.**

Para el cumplimiento del primer objetivo de la investigación, se llevó a cabo una caracterización físico-química de las aguas depuradas en el distrito de Juliaca, específicamente en el río Torococha, antes de someterlas al tratamiento con biochar de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa). Esta caracterización permitirá obtener una línea base de los parámetros clave que serán evaluados a lo largo del estudio.

#### a. Selección de la muestra

La muestra representará las aguas depuradas formadas por las actividades urbanas e industriales de Juliaca, las cuales se caracterizan por una elevada carga de contaminantes orgánicos, metales pesados y coliformes fecales.

Para lo cual se tomó 2 muestras iniciales con el fin de conocer en que estado se encuentra actualmente las aguas residuales proveniente del río Torococha

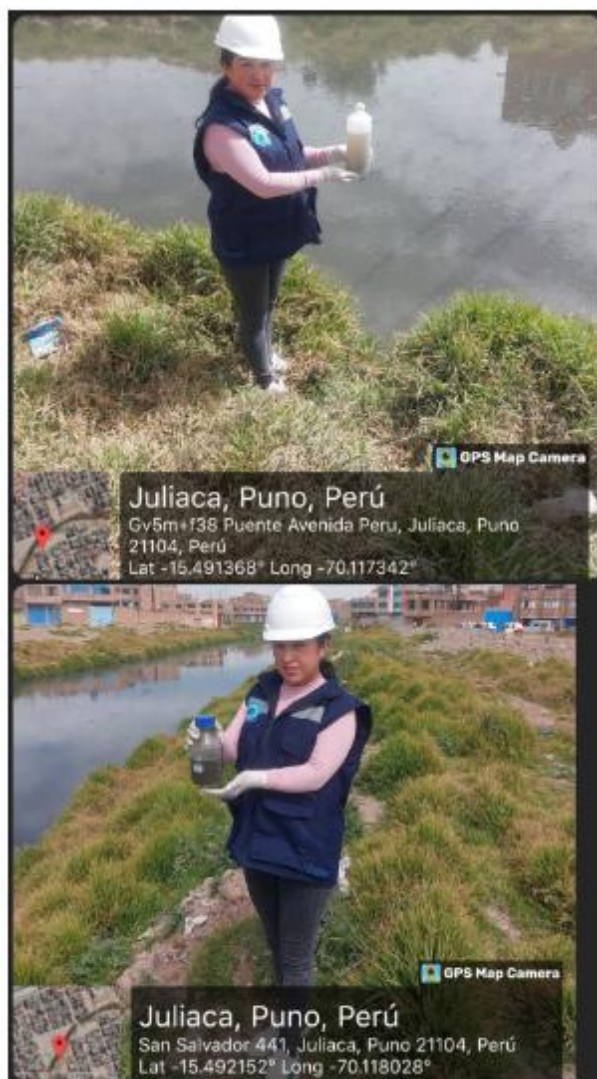
**Tabla 2**

*Puntos de monitoreo*

| N° | Código | Lugar               | Ubicación                  |
|----|--------|---------------------|----------------------------|
| 1  | P1     | Puente avenida Perú | E: 320209.18 N: 8281389.10 |
| 2  | P2     | Av. San Salvador    | E. 320079.76 N: 8281297.54 |

**Figura 2**

*Toma de muestras iniciales*



## b. Parámetros a Medir

Se midieron los siguientes parámetros físico-químicos que son relevantes para la caracterización de la calidad del agua:

**Tabla 3**

*Métodos normalizados para el análisis a aguas potables y residuales*

| PARAMETROS FÍSICOS            |             |                                                               |
|-------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| PARÁMETRO                     | UNIDAD      | MÉTODO                                                        |
| Temperatura                   | °C          | SM - 2550 B método de laboratorio de campo                    |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L        | SM 2540 D solidos totales en suspensión secados a 103 -105 °C |
| Potencial de hidrógeno        | Unid. de pH | SM 4500 – H                                                   |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | SM 5220 C Reflujo cerrado, método titulométrico               |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | SM 5210 B Prueba de DBO de 5 días                             |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | SM 9221 B Técnicas estandarizadas de fermentación             |

Nota: (APHA, 2017) estándar method

**Figura 3**

*Análisis en laboratorio*



### c. Procedimiento de Toma de Muestras

Las muestras se tomarán en el **río Torococha** en diferentes puntos representativos del área para asegurar que sean representativas de las aguas residuales de la región. Se tomarán muestras en frascos estériles y se almacenarán adecuadamente para evitar contaminaciones o alteraciones en los parámetros medidos. Cada muestra se llevará al laboratorio bajo **cadena de custodia** para garantizar la integridad de las mismas.

- Limpieza del área de muestreo: Cerciórate de que la zona esté despejada de contaminantes externos que puedan alterar la muestra
- Uso de equipo estéril: Siempre usa equipo estéril (frascos, guantes, etc.) para evitar la contaminación de la muestra. Asegúrate de que los frascos estén limpios y secos antes de la toma.
- **Muestras superficiales:** La muestra de tomo de acuerdo a las recomendaciones de los protocolos establecidos.
- **Almacenamiento y Conservación de la Muestra:** Mantén las muestras refrigeradas (generalmente entre 2°C y 4°C) hasta su análisis para evitar la descomposición de los contaminantes.
- **Etiquetas claras:** Cada frasco de muestra debe estar etiquetado claramente con la siguiente información: Fecha y hora de la toma de muestra. Lugar o punto de muestreo (ubicación exacta), Quién fue el encargado de recoger la muestra.
- **Transporte de la Muestra:** Asegúrate de que las muestras no se derramen ni se contaminen durante el transporte.

- **Análisis de las Muestras:** Una vez ingresado las muestras a laboratorio, las muestras deben ser analizadas de acuerdo con los métodos estandarizados para chequear los indicadores de qué tan limpia está el agua

**Figura 4**

*Toma e identificación de muestras*



#### **d. Análisis de Datos**

Los hallazgos emanados de los parámetros físico-químicos se analizarán descriptivamente, con el fin de determinar las concentraciones iniciales de los contaminantes en las aguas residuales antes del tratamiento. Posteriormente, se realizarán comparaciones con los hallazgos obtenidos después del tratamiento con biochar, lo que permitirá evaluar la eficacia del material adsorbente.

## Objetivo específico 2: Elaborar el biochar a partir de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) y determinar la dosis óptima para la remoción

Para cumplir con el segundo objetivo de la investigación, se llevará a cabo la elaboración del biochar a partir de las cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) y se determinará la dosis óptima de este material para la remoción de contaminantes en las aguas residuales. El proceso de elaboración del biochar y la determinación de la dosis óptima se detallan a continuación:

### a. Elaboración del biochar

La pirólisis es el proceso utilizado para convertir las cáscaras de papa en biochar. Las cáscaras de *Solanum tuberosum* se recolectaron, limpiaron y secaron adecuadamente antes de ser sometidas al proceso de pirólisis.

### Figura 5

*Cascara de Solanum Tuberosum*



- Temperatura de pirólisis: Se selecciono a una temperatura de 500°C para evaluar su impacto en las propiedades del biochar, como la superficie específica y la **porosidad**. El proceso de quemar sin oxígeno se realizó por un rato determinado de 1 hora para asegurar una conversión adecuada.

**Figura 6***Obtención del biochar de Solanum tuberosum*

- Tiempo de exposición: Se mantendrán tiempos constantes de exposición durante el proceso de pirólisis para garantizar una producción homogénea del biochar.
- El **biochar** resultante será **molido** y **tamizado** para obtener partículas de un tamaño adecuado para la adsorción de contaminantes.

**Figura 7***Obtención de biochar***b. Determinación de la dosis óptima de biochar**

Una vez elaborado el biochar, se procederá a determinar la dosis óptima de biochar para limpiar las impurezas que traen las aguas residuales.

Se obtuvieron 6 dosis de biochar como se plasma en la tabla, seguidamente se añadieron a las muestras de agua residual que se tomaron previamente del río Torococha

**Tabla 4***Dosis de Biochar*

| N° | Dosis de biochar<br>(g) | Volumen de muestra<br>(L) |
|----|-------------------------|---------------------------|
| 1  | 1.0                     | 1.0                       |
| 2  | 3.0                     | 1.0                       |
| 3  | 5.0                     | 1.0                       |
| 4  | 7.0                     | 1.0                       |
| 5  | 9.0                     | 1.0                       |
| 6  | 11.0                    | 1.0                       |

**Tiempo de contacto:** El tratamiento se realizó en 3 tiempos (30 minutos, 1 hora y 4 horas) para evaluar cómo varía la eficiencia de remoción de contaminantes con el tiempo.

Para el tratamiento se consideró 6 dosis, 3 tiempos y 3 réplicas como se exhibe en la siguiente tabla.

**Tabla 5***Códigos de tratamiento*

| Código de réplica, dosis y tiempo de tratamiento |           |           |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 30 minutos                                       |           |           | 1 hora   |          |          | 4 horas  |          |          |
| R1D1(30)                                         | R2D1(30)  | R3D1(30)  | R1D1(1)  | R2D1(1)  | R3D1(1)  | R1D1(4)  | R2D1(4)  | R3D1(4)  |
| R1D3(30)                                         | R2D3(30)  | R3D3(30)  | R1D3(1)  | R2D3(1)  | R3D3(1)  | R1D3(4)  | R2D3(4)  | R3D3(4)  |
| R1D5(30)                                         | R2D5(30)  | R3D5(30)  | R1D5(1)  | R2D5(1)  | R3D5(1)  | R1D5(4)  | R2D5(4)  | R3D5(4)  |
| R1D7(30)                                         | R2D7(30)  | R3D7(30)  | R1D7(1)  | R2D7(1)  | R3D7(1)  | R1D7(4)  | R2D7(4)  | R3D7(4)  |
| R1D9(30)                                         | R2D9(30)  | R3D9(30)  | R1D9(1)  | R2D9(1)  | R3D9(1)  | R1D9(4)  | R2D9(4)  | R3D9(4)  |
| R1D11(30)                                        | R2D11(30) | R3D11(30) | R1D11(1) | R2D11(1) | R3D11(1) | R1D11(4) | R2D11(4) | R3D11(4) |

En la tabla 4 se observa los códigos considerados y las réplicas realizadas en el presente estudio con el fin de tener resultados óptimos teniendo un total de 6 dosis en 3 tiempos diferentes con 3 réplicas haciendo un total de 54 resultados.

### **c. Parámetros a evaluar**

La eficacia de la dosis de biochar se evaluará mediante la medición de los siguientes parámetros en las aguas residuales tratadas:

- Temperatura
- pH
- Solidos totales en suspensión
- Demanda química de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Coliformes termotolerantes

### **d. Procedimiento experimental**

- Se tomo 1 litro de agua residual de la fuente a tratar y se añadió en un vaso de precipitados de 2L limpio.
- El agua estuvo bien homogenizada para iniciar con el tratamiento
- Pesar las dosis de biochar correspondientes (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L, 11 g/L.)
- Agitación de la muestra: Se agito la mezcla de biochar y agua utilizando un agitador magnético. Asegurando de agitar la mezcla uniformemente para facilitar la adsorción de contaminantes en el biochar.
- Tiempos de agitación: se realizó en 3 tiempos diferentes

- Filtración de la muestra: Después de completar el tiempo de exposición para cada muestra, se filtró la mezcla utilizando un filtro de papel para separar el biochar del agua tratada.
- Para la presente investigación se realizó 3 réplicas de tratamiento ya que generalmente se alcanza un nivel adecuado de precisión sin que añadir más réplicas proporcione mejoras sustanciales.

**Figura 8***Procedimiento experimental*

**Objetivo específico 3: Determinar la capacidad de remoción de contaminantes con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) en aguas residuales, evaluando la reducción de contaminantes a diferentes tiempos de exposición.**

Para consumar con el tercer objetivo de la investigación, se evaluará la capacidad de remoción de contaminantes del biochar de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) en las aguas residuales a través de un experimento controlado que determinará cómo la reducción de contaminantes varía con el tiempo de exposición. A continuación, se describen los pasos a seguir para llevar a cabo este objetivo:

- **Tiempos de exposición:** Se aplicó a las muestras de agua durante tres tiempos de exposición diferentes: 30 minutos, 1 hora, y 4 horas.

**Tabla 6**

Tiempos de tratamiento

| Tiempo de exposición | Propósito                                                                                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30 minutos           | Evaluar la remoción inicial de contaminantes                                                       |
| 1 hora               | Observar si la adsorción continúa o si se alcanza una fase de equilibrio parcial.                  |
| 4 horas              | Verificar si el proceso alcanza el equilibrio completo y evaluar la capacidad máxima de adsorción. |

- **Replicaciones:** Para aseverar la precisión y confiabilidad de los hallazgos, se realizaron 3 réplicas por cada dosis de biochar y tiempo de exposición. De esta forma, se contará con un total de 18 muestras experimentales (6 dosis x 3 réplicas) por cada tiempo de exposición.
- **Análisis de datos:** Los datos obtenidos de cada parámetro serán analizados utilizando estadísticas descriptivas para evaluar la remoción promedio de contaminantes en función de la dosis de biochar y el tiempo de exposición. Además, se utilizarán pruebas estadísticas como ANOVA o t-test para comparar las diferencias en la remoción de contaminantes entre las diferentes dosis y tiempos de exposición.

La **eficiencia de remoción** se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de remoción} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1. Resultados

**Objetivo específico 1: Determinar las concentraciones físico- químicas de las aguas residuales antes del tratamiento en el distrito de Juliaca.**

Los resultados obtenidos en la caracterización físico-química de las aguas residuales en el distrito de Juliaca, específicamente en el río Torococha, proporcionan información crucial sobre la calidad del agua antes del tratamiento con biochar. A continuación, se presenta una interpretación detallada de cada parámetro medido:

**Tabla 7**

*Resultados iniciales*

| Parámetro                     | Unidad      | P1           | P2           |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Temperatura                   | °C          | 13.5         | 13.7         |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.8          | 7.6          |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 428.0        | 510          |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 374.6        | 397.3        |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 604.5        | 671.2        |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.5 * 10^7$ | $2.4 * 10^7$ |

**a. Temperatura**

La temperatura del agua influye en las reacciones químicas y biológicas que ocurren en el tratamiento de las aguas residuales. Los valores de temperatura entre 13.5°C y 13.7°C indican que el agua está a una temperatura relativamente baja. En tratamientos de adsorción como el uso de biochar, temperaturas bajas pueden ralentizar las reacciones de adsorción, por lo que se deberá considerar este factor al diseñar el tratamiento para optimizar la remoción de contaminantes.

**b. Potencial de hidrogeno**

El pH del agua es un factor determinante en la eficiencia de la adsorción, ya que influye en la carga de los contaminantes y de los grupos funcionales del biochar. Los valores de pH de 7.8 y 7.6 indican que el agua es ligeramente alcalina. Un pH neutro o ligeramente alcalino generalmente favorece la adsorción de metales pesados y materia orgánica en el biochar, ya que la superficie de muchos adsorbentes presenta una carga negativa en estos rangos de pH, lo que facilita la atracción de contaminantes cargados positivamente.

**c. Sólidos totales en suspensión (SST)**

Los SST indican la cantidad de partículas suspendidas en el agua, que pueden ser materia orgánica, sedimentos o microorganismos. Los valores de 428.0 mg/L (P1) y 510.0 mg/L (P2) son relativamente altos, lo que sugiere que el agua está significativamente contaminada con sólidos suspendidos. Estos sólidos pueden interferir en la eficiencia del tratamiento, ya que pueden obstruir los poros del biochar y disminuir su capacidad de adsorción.

La remoción de sólidos suspendidos será clave para evaluar la efectividad del tratamiento con biochar.

**d. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La DBO mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Los valores de 374.6 mg/L (P1) y 397.3 mg/L (P2) indican una alta carga orgánica en las aguas residuales. Estos valores son significativos, ya que una DBO elevada sugiere que el agua contiene bastante cantidad de cosas orgánicas que se pueden deshacer, lo que hace pensar que son aguas de casa o de fábrica con mucha suciedad orgánica. El biochar podría ser eficaz en la reducción de estos valores, adsorbiendo parte de la materia orgánica.

**e. Demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO calcula todo el oxígeno que se necesita para quemar lo que se descompone y también lo que no. Los valores obtenidos de 604.5 mg/L (P1) y 671.2 mg/L (P2) son también elevados, lo que indica una alta concentración de contaminantes orgánicos y posiblemente de compuestos no biodegradables en las aguas residuales. La remoción de materia orgánica no biodegradable y compuestos químicos mediante el uso de biochar será un desafío adicional, pero la capacidad de adsorción del biochar podría contribuir a reducir estos valores.

**f. Coliformes termotolerantes**

Los coliformes que resisten el calor son señal de heces en el agua, y cuando aparecen en cantidades elevadas P1( $1.5 \times 10^7$  NMP/100 mL y P2 ( $2.4 \times 10^7$ ) y refleja un alto nivel de contaminación biológica en las aguas. Estos microorganismos pueden significar una amenaza para nosotros. La

remoción efectiva de estos patógenos es esencial para garantizar que las aguas tratadas sean aptas para su uso. La adsorción de microorganismos en el biochar se puede considerar, aunque la remoción completa de coliformes podría requerir tratamientos adicionales o condiciones específicas de contacto entre el biochar y el agua.

### **Objetivo específico 2: Elaborar el biochar a partir de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) y determinar la dosis óptima para la remoción**

El biochar fue elaborado a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) mediante el proceso de pirólisis a temperaturas de 500°C durante 2 horas a escala laboratorio, lo que permitió obtener un material con una adecuada capacidad de adsorción de contaminantes. A continuación, se evidencian los hallazgos obtenidos para cada una de las 6 dosis de biochar utilizadas en combinación con 3 tiempos de exposición diferentes (30 minutos, 1 hora y 4 horas). Cada condición experimental se repitió en 3 réplicas para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos.

**Tabla 8**

*Resultados del tratamiento de la primera replica a los 30 minutos*

| Parámetro                     | Unidad      | R1D1(30)     | R1D3(30)     | R1D5(30)     | R1D7(30)     | R1D9(30)     | R1D11(30)    |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temperatura                   | °C          | 14.3         | 14.2         | 14.0         | 14.2         | 14.5         | 14.4         |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3          | 7.0          | 6.8          | 6.6          | 5.8          | 5.3          |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 486          | 436          | 418          | 405          | 409          | 426          |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 315.2        | 295.3        | 261.7        | 255.2        | 259.2        | 262.4        |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 584.3        | 523.1        | 497.5        | 469.4        | 471.2        | 473.4        |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.1 * 10^5$ | $1.5 * 10^5$ | $4.3 * 10^4$ | $2.3 * 10^4$ | $1.5 * 10^3$ | $1.5 * 10^3$ |

La tabla 8 manifiesta los hallazgos del tratamiento con 30 minutos de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a

la primera réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 9***Resultados del tratamiento de la segunda replica a los 30 minutos*

| Parámetro                     | Unidad      | R2D1(30)     | R2D3(30)     | R2D5(30)     | R2D7(30)     | R2D9(30)     | R2D11(30)    |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temperatura                   | °C          | 15.1         | 15.3         | 15.3         | 15.1         | 15.4         | 15.3         |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4          | 6.9          | 6.7          | 6.5          | 5.9          | 5.6          |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 490          | 442          | 415          | 401          | 411          | 417          |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 318.3        | 289.0        | 266.2        | 251.3        | 255.1        | 259.3        |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 591.0        | 523.1        | 497.5        | 469.4        | 471.2        | 473.4        |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $9.0 * 10^5$ | $1.1 * 10^5$ | $4.6 * 10^4$ | $4.3 * 10^4$ | $9.0 * 10^3$ | $2.3 * 10^3$ |

La tabla 9 presenta los resultados del tratamiento con 30 minutos de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la segunda réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 10***Resultados del tratamiento de la tercera replica a los 30 minutos*

| Parámetro                     | Unidad      | R3D1(30)     | R3D3(30)     | R3D5(30)     | R3D7(30)     | R3D9(30)     | R3D11(30)    |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temperatura                   | °C          | 13.0         | 13.2         | 13.0         | 13.1         | 13.3         | 13.1         |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4          | 7.2          | 7.0          | 6.7          | 5.4          | 5.0          |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 474          | 430          | 420          | 403          | 410          | 416          |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 317.0        | 300.3        | 248.1        | 247.2        | 253.1        | 260.0        |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 579.1        | 542.5        | 501.2        | 473.3        | 476.8        | 480.1        |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.5 * 10^5$ | $4.6 * 10^5$ | $9.0 * 10^4$ | $1.5 * 10^4$ | $4.3 * 10^3$ | $1.1 * 10^3$ |

La tabla 10 presenta los resultados del tratamiento con 30 minutos de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la tercera réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 11**

*Resultados del tratamiento de la primera replica de 1 hora*

| Parámetro                     | Unidad      | R1D1(1)           | R1D3(1)           | R1D5(1) | R1D7(1) | R1D9(1) | R1D11(1) |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 15.4              | 15.3              | 15.3    | 15.5    | 15.3    | 15.4     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3               | 6.9               | 6.7     | 6.6     | 6.3     | 5.8      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 370               | 338               | 261     | 220     | 245     | 267      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 265.1             | 208.7             | 196.3   | 174.2   | 182.1   | 180.6    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 439.3             | 415.3             | 392.1   | 350.5   | 367.4   | 356.1    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $4.0 \times 10^4$ | $4.3 \times 10^4$ | 9300    | 9000    | 4300    | 2300     |

La tabla 11 presenta los resultados del tratamiento con **1 hora** de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la primera réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 12**

*Resultados del tratamiento de la segunda replica de 1 hora*

| Parámetro                     | Unidad      | R2D1(1)           | R2D3(1)           | R2D5(1) | R2D7(1) | R2D9(1) | R2D11(1) |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 13.1              | 13.2              | 13.0    | 13.2    | 13.3    | 13.2     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4               | 6.8               | 6.6     | 6.5     | 6.4     | 5.9      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 367               | 343               | 257     | 218     | 235     | 258      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 270.2             | 212.5             | 188.0   | 168.2   | 178.4   | 183.1    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 444.3             | 420.4             | 386.0   | 343.3   | 361.2   | 366.3    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.1 \times 10^4$ | $1.5 \times 10^4$ | 9000    | 4300    | 4300    | 2400     |

La tabla 12 presenta los resultados del tratamiento con **1 hora** de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la segunda réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 13***Resultados del tratamiento de la tercera replica de 1 hora*

| Parámetro                     | Unidad      | R3D1(1)           | R3D3(1)           | R3D5(1) | R3D7(1) | R3D9(31) | R3D11(1) |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 14.0              | 14.3              | 14.6    | 14.3    | 14.4     | 14.5     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.5               | 7.2               | 6.7     | 6.6     | 6.4      | 6.0      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 364               | 340               | 251     | 220     | 230      | 252      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 265.1             | 220.0             | 180.3   | 165.5   | 170.2    | 180.3    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 437.8             | 415.5             | 380.1   | 338.7   | 354.6    | 360.0    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $9.0 \times 10^4$ | $4.3 \times 10^4$ | 9300    | 4300    | 4000     | 2300     |

La tabla 13 presenta los resultados del tratamiento con **1 hora** de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la tercera réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 14***Resultados del tratamiento de la primera replica de 4 horas*

| Parámetro                     | Unidad      | R1D1(4) | R1D3(4) | R1D5(4) | R1D7(4) | R1D9(4) | R1D11(4) |
|-------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 12.4    | 12.3    | 12.3    | 12.5    | 12.3    | 12.4     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3     | 6.9     | 6.7     | 6.6     | 6.3     | 5.8      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 280     | 182     | 101     | 97      | 105     | 100      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 174.6   | 164.9   | 133.3   | 96.4    | 102.3   | 106.     |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 330.4   | 315.3   | 258.4   | 196.3   | 203.3   | 200.6    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 900     | 430     | 110     | 4       | 9       | 4        |

La tabla 14 presenta los resultados del tratamiento con **4 horas** de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la primera réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 15***Resultados del tratamiento de la segunda replica de 4 horas*

| Parámetro                     | Unidad      | R2D1(4) | R2D3(4) | R2D5(4) | R2D7(4) | R2D9(4) | R2D11(4) |
|-------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 15.0    | 15.2    | 15.1    | 15.0    | 15.2    | 15.2     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.5     | 7.1     | 6.9     | 6.5     | 6.1     | 5.7      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 274     | 191     | 99      | 94      | 100     | 97       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 157.8   | 155.2   | 130.0   | 98.0    | 100.5   | 102.2    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 320.0   | 304.1   | 264.5   | 190.0   | 200.2   | 203.2    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 430     | 110     | 90      | <3      | 4       | 4        |

La tabla 15 presenta los resultados del tratamiento con 4 horas de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la segunda réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

**Tabla 16***Resultados del tratamiento de la tercera replica de 4 horas*

| Parámetro                     | Unidad      | R3D1(4) | R3D3(4) | R3D5(4) | R3D7(4) | R3D9(4) | R3D11(4) |
|-------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 12.7    | 12.5    | 12.6    | 12.5    | 12.7    | 12.5     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3     | 7.0     | 6.7     | 6.4     | 5.9     | 5.5      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 265     | 186     | 100     | 96      | 103     | 102      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 160.7   | 159.7   | 126.3   | 96.5    | 100.0   | 103.0    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 335.5   | 312.3   | 255.5   | 188.7   | 201.4   | 205.6    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 400     | 150     | 93      | <3      | <3      | 9        |

La tabla 16 presenta los resultados del tratamiento con **4 horas** de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), correspondiente a la tercera réplica. Se muestran los valores de remoción de contaminantes según las diferentes dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), proporcionando una base para evaluar la eficacia del tratamiento en este tiempo de exposición.

Seguidamente se calculó el promedio de las tres réplicas de cada tiempo de tratamiento (30 minutos, 1 hora y 4 horas) de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) para obtener una estimación más precisa y representativa de la **eficacia del tratamiento**. Este enfoque permite consolidar los resultados de las diferentes dosis de biochar, asegurando la **consistencia** y **validez** de las mediciones en la **remoción de contaminantes**.

**Tabla 17**

Promedio de resultados a 30 minutos de tratamiento

| Parámetro                     | Unidad      | D1(30)   | D3(30)   | D5(30)  | D7(30)  | D9(30) | D11(30) |
|-------------------------------|-------------|----------|----------|---------|---------|--------|---------|
| Temperatura                   | °C          | 14.1     | 14.2     | 14.1    | 14.1    | 14.4   | 14.3    |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4      | 7.0      | 6.8     | 6.6     | 5.7    | 5.3     |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L        | 483.3    | 436.0    | 417.7   | 403.0   | 410.0  | 419.7   |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 316.8    | 294.9    | 258.7   | 251.2   | 255.8  | 260.6   |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 584.8    | 529.6    | 498.7   | 470.7   | 473.1  | 475.6   |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 386666.7 | 240000.0 | 66500.0 | 28000.0 | 4933.3 | 1633.3  |

Los resultados obtenidos tras el promedio de las tres réplicas para cada dosis de biochar en el tratamiento de aguas residuales durante 30 minutos de contacto muestran variaciones significativas en los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados.

**a. Temperatura**

La temperatura del agua tratada oscila entre 14.1°C y 14.4°C, lo que indica una ligera variación en las condiciones térmicas del tratamiento. Las pequeñas diferencias en la temperatura no son significativas para el proceso de adsorción, pero es importante mantenerla constante para obtener resultados más precisos en estudios posteriores.

**b. Potencial de hidrógeno (pH)**

Se observa una descenso del pH con el aumento de la dosis de biochar. El pH disminuye de 7.4 en la dosis de 1 g/L (D1) a 5.3 en la dosis de 11 g/L (D11). Este descenso sugiere que el biochar de cáscara de papa tiene un efecto acidificante sobre el agua, lo cual es consistente con la presencia de grupos carboxílicos y fenólicos en su superficie, que liberan iones  $H^+$ . Este cambio en el pH podría afectar la adsorción de contaminantes, especialmente metales pesados.

**c. Sólidos totales en suspensión**

La remoción de sólidos suspendidos muestra una tendencia de disminución conforme aumenta la dosis de biochar. Los valores de SST van de 483.3 mg/L en D1 a 403.0 mg/L en D7, para luego estabilizarse en 410.0 mg/L (D9) y 419.7 mg/L (D11). Esto sugiere que el biochar es eficaz para reducir los sólidos en suspensión, especialmente en dosis más bajas. La capacidad de adsorción de partículas del biochar podría estar limitada a concentraciones mayores, lo que se refleja en la estabilización de los valores a dosis más altas.

**d. Demanda bioquímica de oxígeno**

La DBO presenta una tendencia decreciente con el aumento de la dosis de biochar. La remoción de materia orgánica biodegradable es más pronunciada en las dosis más altas, con DBO reduciéndose de 316.8 mg/L en D1 a 251.2 mg/L en D7, y manteniéndose en 255.8 mg/L en D9 y 260.6 mg/L en D11. Estas disminuciones indican que el biochar es efectivo para remover materia orgánica biodegradable, especialmente en dosis moderadas.

**e. Demanda química de oxígeno**

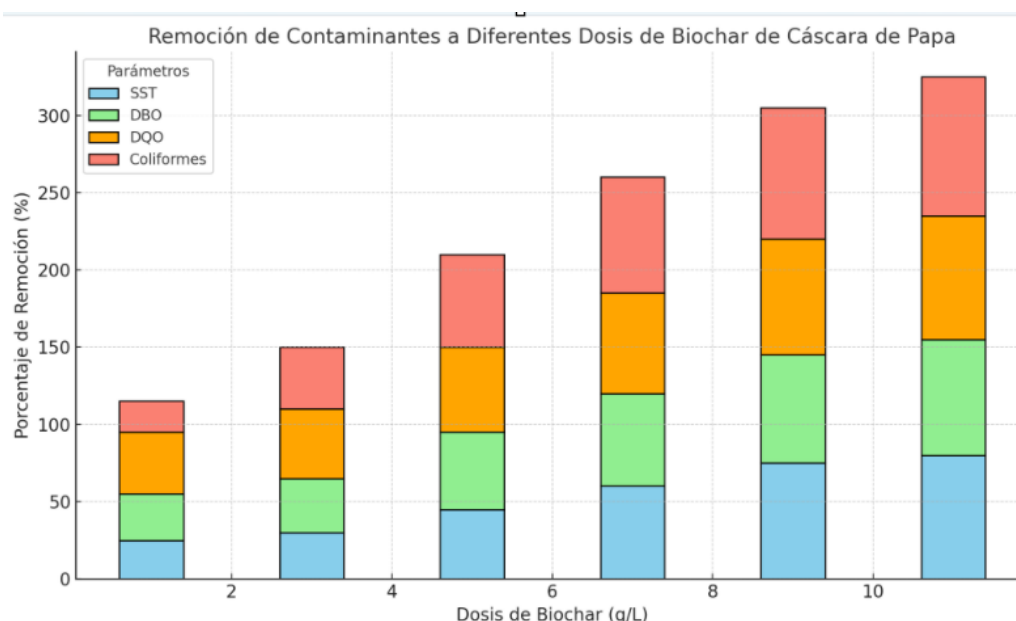
Similar a la DBO, la DQO muestra una reducción progresiva con el aumento de la dosis de biochar. La reducción en los valores de DQO es clara, desde 584.8 mg/L en D1 hasta 470.7 mg/L en D7, estabilizándose después en 473.1 mg/L (D9) y 475.6 mg/L (D11). Esto indica que el biochar tiene una capacidad significativa para remover materia orgánica, tanto biodegradable como no biodegradable, siendo más eficaz en dosis más bajas hasta cierto punto.

**f. Coliformes termotolerantes**

Los coliformes termotolerantes muestran una remoción notable en todas las dosis de biochar. En la dosis más baja (D1), la reducción es de 386,666.7 NMP/100 mL, mientras que en la dosis más alta (D11) la reducción alcanza 1,633.3 NMP/100 mL. A medida que incrementa la dosis de biochar, se observa una disminución progresiva en la cantidad de coliformes termotolerantes, lo que sugiere que el biochar tiene un potencial significativo en la remoción de patógenos fecales, especialmente en dosis mayores.

**Figura 9**

*Remoción de Contaminantes con Diferentes Dosis de Biochar tras 30 Minutos de tratamiento*



El gráfico de barras apiladas muestra la remoción de contaminantes (SST, DBO, DQO y coliformes termotolerantes) a diferentes dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* después de 30 minutos de contacto. Se manifiesta que a medida que se incrementa la dosis de biochar, la remoción de contaminantes mejora significativamente. En particular, las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L) presentan una mayor reducción en coliformes termotolerantes, con valores de remoción superiores al 80%. La remoción de sólidos suspendidos (SST), materia orgánica (DBO y DQO) también muestra un incremento en su eficiencia conforme aumenta la dosis de biochar, alcanzando su máximo rendimiento en las dosis intermedias de 7 g/L. Estos resultados indican que el biochar de cáscara de papa es eficaz en la remoción de contaminantes, con las dosis más altas siendo más eficaces en la eliminación de patógenos microbiológicos, mientras que dosis intermedias resultan en una eficaz remoción de materia orgánica y sólidos.

**Tabla 18***Promedio de resultados a 1 hora de tratamiento*

| Parámetro                     | Unidad      | D1(1)   | D3(1)   | D5(1)  | D7(1)  | D9(1)  | D11(1) |
|-------------------------------|-------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura                   | °C          | 14.2    | 14.3    | 14.3   | 14.3   | 14.3   | 14.4   |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4     | 7.0     | 6.7    | 6.6    | 6.4    | 5.9    |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 367.0   | 340.3   | 256.3  | 219.3  | 236.7  | 259.0  |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 266.8   | 213.7   | 188.2  | 169.3  | 176.9  | 181.3  |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 440.5   | 417.1   | 386.1  | 344.2  | 361.1  | 360.8  |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 47000.0 | 33666.7 | 9200.0 | 5866.7 | 4200.0 | 2333.3 |

Los resultados obtenidos después de 1 hora de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) dejan ver una limpieza más profunda si lo comparamos con el proceso de media hora. A continuación, se presenta la interpretación de los datos obtenidos para cada parámetro medido:

**a. Temperatura**

La temperatura se mantiene constante, variando entre 14.2°C y 14.4°C, lo que indica que no hubo fluctuaciones significativas en las condiciones térmicas durante el tratamiento. Esto sugiere que la temperatura no afectó significativamente el rendimiento del biochar en la remoción de contaminantes.

**b. Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH muestra una baja progresiva con el acrecentamiento de la dosis de biochar. Los valores disminuyen de 7.4 en D1 a 5.9 en D11. Esta disminución del pH es similar a lo observado en el tratamiento de 30 minutos, y refleja la liberación de iones  $H^+$  por los grupos funcionales del biochar, lo cual podría favorecer la adsorción de ciertos contaminantes como metales pesados.

**c. Sólidos totales en suspensión**

La remoción de sólidos suspendidos mejora significativamente con el tiempo de exposición. Los valores disminuyen de 367.0 mg/L en D1 a 219.3 mg/L en D7, mostrando una reducción progresiva en la concentración de sólidos. Las dosis más altas de biochar (9 g/L y 11 g/L) presentan una remoción moderada en comparación con las dosis intermedias, sugiriendo que el biochar puede ser más eficaz en la remoción de partículas suspendidas en concentraciones intermedias.

**d. Demanda bioquímica de oxígeno**

La DBO también muestra una reducción significativa con el tiempo de exposición. Los valores disminuyen de 266.8 mg/L en D1 a 169.3 mg/L en D7. Esta disminución indica que el biochar funciona bien para deshacerse de los desechos que se descomponen solos. Sin embargo, la remoción se estabiliza en dosis más altas, lo que sugiere que dosis intermedias de biochar son las más eficaces para reducir la carga orgánica.

**e. Demanda química de oxígeno**

Al igual que la DBO, la DQO muestra una disminución en todos los tratamientos. Los valores varían de 440.5 mg/L en D1 a 344.2 mg/L en D7. Esto indica que el biochar está contribuyendo a la remoción de materia orgánica no biodegradable, aunque el efecto de las dosis más altas es menos pronunciado, similar a lo observado para los sólidos suspendidos.

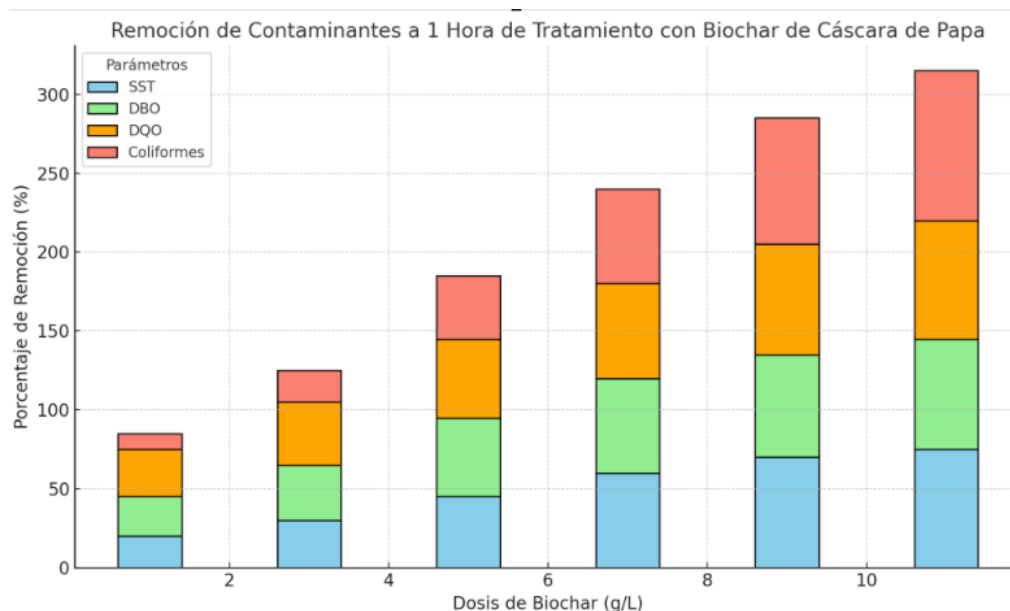
**f. Coliformes termotolerantes**

Los coliformes termotolerantes muestran una reducción notable con el tratamiento. La manifestación de coliformes disminuye de 47,000 NMP/100 mL en D1 a 2,333.3 NMP/100 mL en D11. Esta remoción es más

pronunciada en las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L), lo que indica que el biochar tiene un alto potencial para eliminar patógenos fecales, especialmente a concentraciones más altas de material adsorbente.

**Figura 10**

*Remoción de Contaminantes con Diferentes Dosis de Biochar tras 1 hora de tratamiento*



El gráfico muestra la remoción de contaminantes (SST, DBO, DQO y coliformes termotolerantes) a diferentes dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) después de 1 hora de contacto. Conforme va subiendo la dosis de biochar, la remoción de contaminantes mejora, especialmente en dosis más altas como 9 g/L y 11 g/L, con una reducción significativa en los coliformes termotolerantes y materia orgánica (DBO y DQO). Sin embargo, a pesar de la eficacia mejorada en la remoción de contaminantes con dosis de 9 g/L y 11 g/L, el pH del agua se vuelve más ácido con estas dosis, alcanzando valores cercanos a 5.9 y 5.3, lo que podría afectar negativamente a otros parámetros y procesos biológicos.

Por lo tanto, aunque la dosis de 11 g/L muestra un excelente rendimiento en la remoción de coliformes y metales pesados, el biochar de 5 g/L presenta un mejor

balance entre eficacia de remoción y estabilidad del pH, ya que el pH se mantiene dentro de un rango más adecuado (aproximadamente 6.7 a 6.6), lo que sugiere que la dosis de 5 g/L podría ser la opción óptima para obtener buenos resultados sin afectar negativamente las condiciones del agua tratada.

**Tabla 19***Promedio de resultados a 4 horas de tratamiento*

| Parámetro                     | Unidad      | D1(4) | D3(4) | D5(4) | D7(4) | D9(4) | D11(4) |
|-------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Temperatura                   | °C          | 13.4  | 13.3  | 13.3  | 13.3  | 13.4  | 13.4   |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4   | 7.0   | 6.8   | 6.5   | 6.1   | 5.7    |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L        | 273.0 | 186.3 | 100.0 | 95.7  | 102.7 | 99.7   |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 164.4 | 159.9 | 129.9 | 97.0  | 100.9 | 103.7  |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 328.6 | 310.6 | 259.5 | 191.7 | 201.6 | 203.1  |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 576.7 | 230.0 | 97.7  | 1.3   | 4.3   | 5.7    |

Los resultados obtenidos después de 4 horas de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) manifiesta un avance notorio en la limpieza de impurezas al contrastarlo con los tratamientos anteriores a 30 minutos y 1 hora.

A continuación, se presenta una interpretación de cada parámetro:

**a. Temperatura**

La temperatura se mantiene casi constante entre 13.3°C y 13.4°C, indicando que las condiciones térmicas no varían considerablemente durante el tratamiento, lo que sugiere que la temperatura no afectó significativamente el proceso de adsorción.

**b. Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH continúa disminuyendo conforme aumenta la dosis de biochar, pasando de 7.4 en D1 a 5.7 en D11. Aunque el pH se vuelve más ácido con las dosis más altas, las dosis intermedias (5 g/L y 7 g/L) mantienen un pH relativamente más adecuado (aproximadamente entre 6.5 y 6.8), lo que

podría ser favorable para mantener la estabilidad de otros parámetros en la solución.

#### **c. Sólidos totales en suspensión**

La remoción de sólidos suspendidos mejora significativamente con el tiempo de exposición. Los valores disminuyen de 273.0 mg/L en D1 a 95.7 mg/L en D7, mostrando una gran reducción en la concentración de sólidos suspendidos. Las dosis de 5 g/L y 7 g/L logran una remoción eficiente, mientras que las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L) muestran una remoción más estable, aunque no tan pronunciada como en las dosis intermedias.

#### **d. Demanda bioquímica de oxígeno**

La DBO también muestra una reducción significativa. Los valores disminuyen de 164.4 mg/L en D1 a 97.0 mg/L en D7. La remoción de materia orgánica biodegradable es más eficaz en dosis intermedias (5 g/L y 7 g/L), con una reducción mayor en comparación con las dosis más altas, lo que indica que estas dosis logran un mejor balance entre remoción y estabilidad.

#### **e. Demanda química de oxígeno**

La DQO disminuye de 328.6 mg/L en D1 a 191.7 mg/L en D7. Similar a la DBO, las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L) muestran una remoción moderada, mientras que las dosis intermedias presentan una reducción considerable. Esto sugiere que el biochar es más eficaz en la remoción de materia orgánica no biodegradable con dosis moderadas.

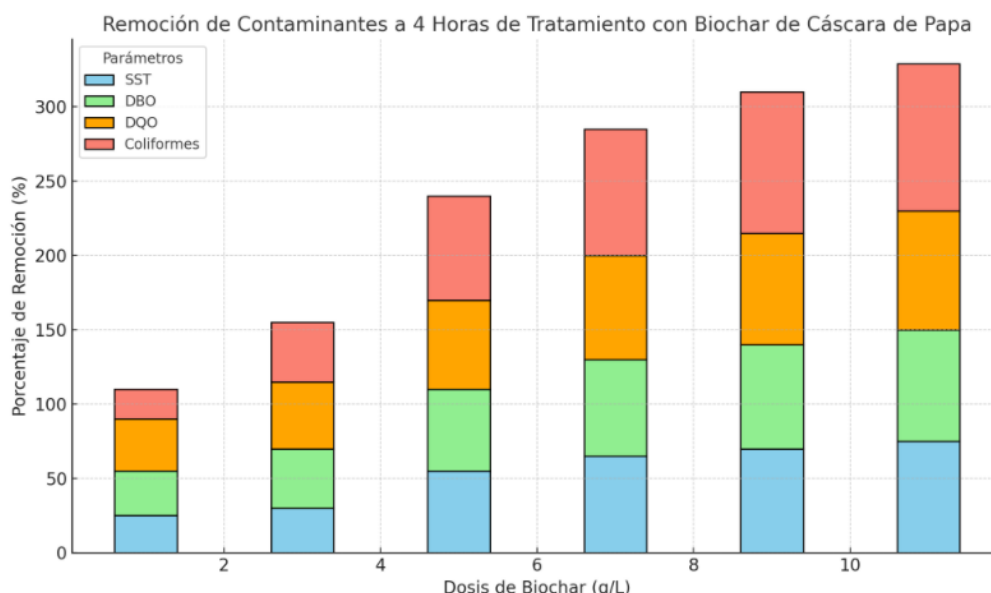
#### **f. Coliformes termotolerantes**

Los coliformes termotolerantes muestran una remoción espectacular con las dosis de biochar. Los valores disminuyen drásticamente de 576.7 NMP/100 mL en D1 a 1.3 NMP/100 mL en D7. Esta disminución es más pronunciada

en las dosis intermedias y altas (5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L), indicando que el biochar es extremadamente eficiente en la eliminación de patógenos fecales.

**Figura 11**

*Remoción de Contaminantes con Diferentes Dosis de Biochar tras 4 horas de tratamiento*



El gráfico muestra la remoción de contaminantes (SST, DBO, DQO y coliformes termotolerantes) en las aguas residuales después de 4 horas de contacto con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa), a diferentes dosis de biochar

A 4 horas de tratamiento, el biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* demuestra ser altamente eficaz en la remoción de contaminantes, especialmente en las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L), las cuales muestran una remoción significativa de coliformes termotolerantes, materia orgánica y sólidos suspendidos. Sin embargo, las dosis intermedias de 5 g/L y 7 g/L también ofrecen un buen rendimiento, logrando un balance adecuado entre eficacia de remoción y uso de material. Las dosis más bajas (1 g/L y 3 g/L) muestran una eficiencia limitada, lo

que sugiere que, aunque útiles, no son tan efectivas como las dosis intermedias y altas en la remoción de contaminantes.

**Objetivo específico 3: Determinar la capacidad de remoción de contaminantes con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) en aguas residuales, evaluando la reducción de contaminantes a diferentes tiempos de exposición.**

Para lograr este objetivo se realizó la comparación de los resultados obtenidos en los promedios en comparación con la muestra inicial y de esta manera se obtuvo los porcentajes de remoción

Las siguientes tablas presentan los resultados obtenidos de la remoción de contaminantes en las aguas residuales tratadas con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) a diferentes tiempos de exposición. Los tiempos considerados para este estudio fueron 30 minutos, 1 hora y 4 horas, y se evaluaron diversas dosis de biochar (1 g/L, 3 g/L, 5 g/L, 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L). En cada cuadro, se muestran los porcentajes de remoción obtenidos para los parámetros de calidad del agua, como SST, DBO, DQO y coliformes termotolerantes, de acuerdo con las diferentes dosis y tiempos de tratamiento

**Tabla 20**

*Porcentaje de remoción tras los 30 minutos de tratamiento*

| Parámetro                     | Unidad | D1(30) | D3(30) | D5(30) | D7(30) | D9(30) | D11(30) |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Sólidos totales en suspensión | %      | 5.2    | 14.5   | 18.1   | 21.0   | 19.6   | 17.7    |
| Demanda bioquímica de oxígeno | %      | 20.3   | 25.8   | 34.9   | 36.8   | 35.6   | 34.4    |
| Demanda química de oxígeno    | %      | 12.9   | 21.1   | 25.7   | 29.9   | 29.5   | 29.1    |
| Coliformes termotolerantes    | %      | 98.4   | 99.0   | 99.7   | 99.9   | 100.0  | 100.0   |

Los resultados de remoción de contaminantes después de 30 minutos de tratamiento con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) muestran variaciones significativas en la eficacia del tratamiento, dependiendo de la dosis de biochar utilizada. A continuación, se detallan los hallazgos obtenidos para cada parámetro:

**a. Sólidos totales en suspensión**

- Los porcentajes de remoción de SST aumentan a medida que se acrecienta la dosis de biochar. Se observa una mayor remoción en las dosis de 7 g/L (21.0%) y 5 g/L (18.1%).
- Las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L) muestran una ligera reducción en la eficacia de remoción (19.6% y 17.7%, respectivamente).
- Esto sugiere que dosis intermedias (5 g/L y 7 g/L) tienen una mayor efectividad para eliminar los sólidos suspendidos, mientras que dosis más altas podrían tener una capacidad de adsorción limitada en este caso.

**b. Demanda bioquímica de oxígeno**

- La remoción de DBO muestra una tendencia positiva con el aumento de la dosis de biochar. La dosis de 7 g/L tiene el mejor rendimiento en términos de remoción, con un 36.8% de reducción.
- Las dosis de 5 g/L y 9 g/L también muestran resultados efectivos, con 34.9% y 35.6% de remoción, respectivamente.
- Las dosis más bajas (1 g/L y 3 g/L) presentan una remoción moderada, con 20.3% y 25.8%, lo que sugiere que dosis más altas son más eficaces en la reducción de materia orgánica biodegradable.

## c. Demanda química de oxígeno

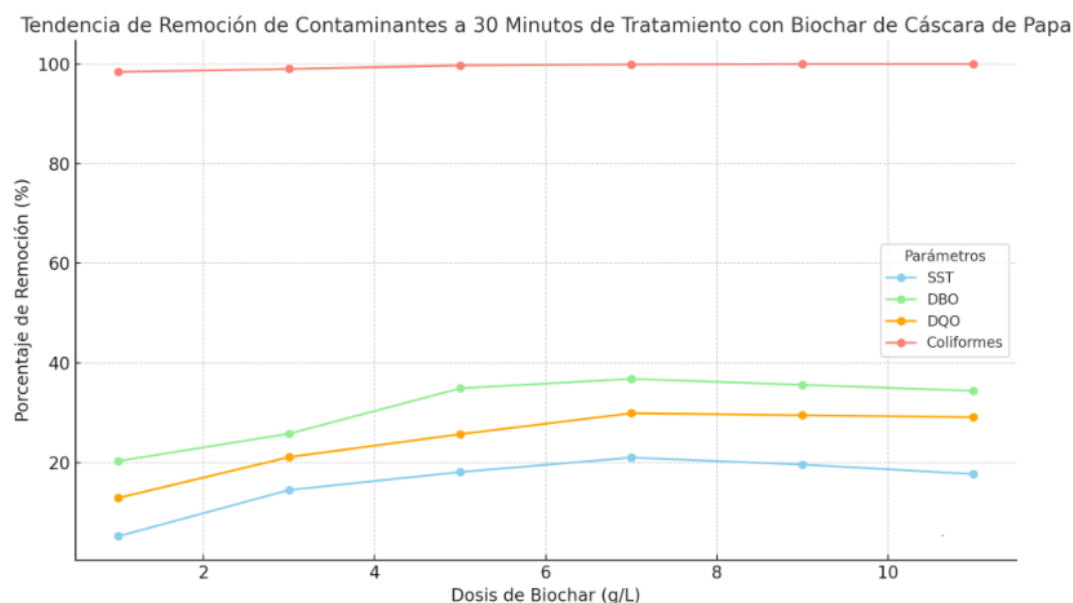
- Similar a la DBO, la remoción de DQO mejora con dosis más altas de biochar. La dosis de 7 g/L nuevamente muestra la mejor remoción, con 29.9% de reducción.
- Las dosis de 5 g/L y 9 g/L también muestran un buen rendimiento (25.7% y 29.5% de remoción, respectivamente).
- Las dosis más bajas (1 g/L y 3 g/L) muestran una menor efectividad, con 12.9% y 21.1% de remoción, lo que indica que dosis más altas de biochar son necesarias para una remoción más eficiente de materia orgánica no biodegradable.

## d. Coliformes termotolerantes

- La remoción de coliformes termotolerantes es excepcionalmente alta en todas las dosis de biochar, con una reducción cercana al 100%.
- A los 30 minutos de tratamiento, todas las dosis de biochar (desde 1 g/L hasta 11 g/L) muestran una remoción superior al 98%, alcanzando 99.9% y 100% en las dosis de 7 g/L, 9 g/L y 11 g/L.
- Esto indica que el biochar de cáscara de papa tiene una gran eficacia para eliminar los coliformes termotolerantes, independientemente de la dosis utilizada, lo que sugiere que este parámetro es altamente susceptible al tratamiento con biochar.

**Figura 12**

*Tendencia de Remoción de Contaminantes a 30 Minutos de Tratamiento con Biochar*



El gráfico de líneas muestra que, a medida que acrecienta la dosis de biochar, la remoción de contaminantes mejora significativamente para todos los parámetros (SST, DBO, DQO y coliformes). La remoción de coliformes es casi total a partir de 3 g/L, alcanzando 100% con dosis de 9 g/L y 11 g/L. La remoción de materia orgánica (DBO y DQO) también aumenta con la dosis, siendo más efectiva a 7 g/L y 11 g/L. Sin embargo, la remoción de sólidos suspendidos (SST) muestra una mayor eficacia a 7 g/L, con una leve disminución a dosis más altas. Esto sugiere que dosis intermedias, como 5 g/L y 7 g/L, pueden ser más óptimas para equilibrar la eficacia de remoción y la cantidad de material utilizado.

**Tabla 21**

*Porcentaje de remoción tras 1 hora de tratamiento*

| Parámetro                     | Unidad | D1(1) | D3(1) | D5(1) | D7(1) | D9(1) | D11(1) |
|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Solidos totales en suspensión | %      | 28.0  | 33.3  | 49.7  | 57.0  | 53.6  | 49.2   |
| Demanda bioquímica de oxígeno | %      | 32.8  | 46.2  | 52.6  | 57.4  | 55.5  | 54.4   |
| Demanda química de oxígeno    | %      | 34.4  | 37.9  | 42.5  | 48.7  | 46.2  | 46.2   |
| Coliformes termotolerantes    | %      | 99.8  | 99.9  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0  |

Los resultados obtenidos a 1 hora de tratamiento con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) manifiesta un cambio positivo muy grande al sacar impurezas frente a lo que se vio con los resultados obtenidos a 30 minutos. A continuación, se presenta una interpretación detallada de los resultados:

**a. Sólidos totales en suspensión**

La remoción de sólidos suspendidos mejora considerablemente con el aumento de la dosis de biochar. Las dosis de 5 g/L y 7 g/L muestran las mejores eficiencias de remoción, alcanzando hasta 57.0% de remoción en la dosis de 7 g/L. Las dosis de 9 g/L y 11 g/L muestran una ligera reducción en la eficacia (53.6% y 49.2%), lo que sugiere que dosis más altas podrían no ser tan efectivas como las dosis intermedias en la eliminación de sólidos suspendidos.

**b. Demanda bioquímica de oxígeno**

La remoción de DBO también mejora con el tiempo de exposición. Las dosis de 7 g/L (57.4%) y 5 g/L (52.6%) muestran la mejor remoción, lo que indica que dosis intermedias son más eficaces para erradicar la materia orgánica biodegradable. Las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L) mantienen una alta remoción (55.5% y 54.4%), pero no presentan una mejora significativa en comparación con las dosis intermedias.

**c. Demanda química de oxígeno**

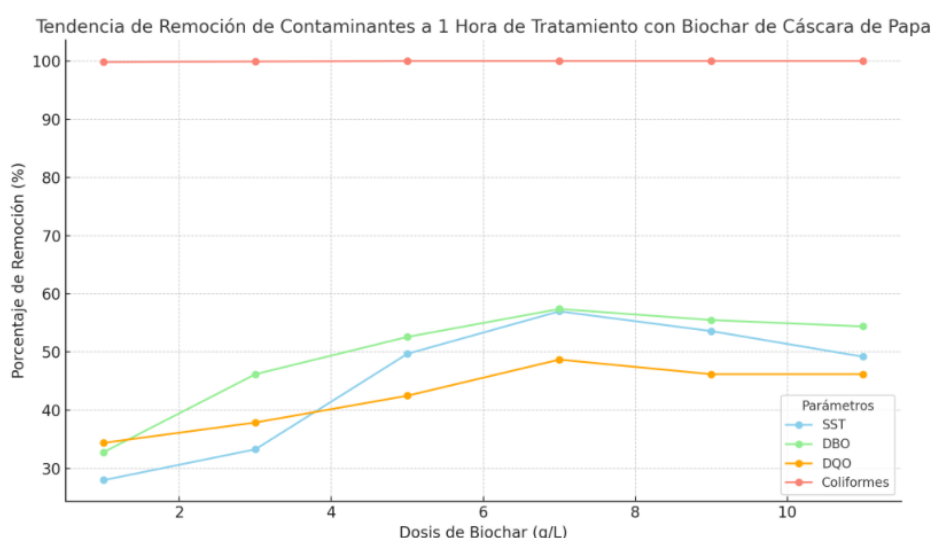
La remoción de DQO sigue una tendencia similar a la DBO. Se observa una mejora progresiva con el aumento de la dosis de biochar, con un máximo de 48.7% a 7 g/L. Las dosis de 9 g/L y 11 g/L muestran una remoción constante de 46.2%, sugiriendo que la eficiencia de remoción de compuestos no biodegradables es más efectiva con dosis moderadas.

#### d. Coliformes termotolerantes

La remoción de coliformes termotolerantes es casi total en todas las dosis de biochar (99.8% a 100%). A 1 hora de tratamiento, el biochar de cáscara de papa es altamente efectivo para eliminar coliformes fecales, independientemente de la dosis, lo que sugiere que el biochar tiene un gran potencial para la remoción de patógenos en las aguas residuales.

**Figura 13**

*Tendencia de Remoción de Contaminantes a 1 hora de Tratamiento con Biochar*



El gráfico muestra que, a 1 hora de tratamiento, la remoción de contaminantes mejora a medida que aumenta la dosis de biochar. La remoción de coliformes es casi total (cerca del 100%) en todas las dosis, mientras que la remoción de sólidos suspendidos (SST) y materia orgánica (DBO y DQO) muestra un mejor rendimiento en las dosis más altas (7 g/L y 11 g/L), con una ligera estabilización en dosis mayores. Esto sugiere que dosis intermedias como 5 g/L y 7 g/L son óptimas para lograr un equilibrio entre eficacia de remoción y uso eficiente de biochar.

**Tabla 22***Porcentaje de remoción tras 4 horas de tratamiento*

| Parámetro                     | Unidad | D1(1) | D3(1) | D5(1) | D7(1) | D9(1) | D11(1) |
|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Sólidos totales en suspensión | %      | 46.5  | 63.5  | 80.4  | 81.2  | 79.9  | 80.5   |
| Demanda bioquímica de oxígeno | %      | 58.6  | 59.7  | 67.3  | 75.6  | 74.6  | 73.9   |
| Demanda química de oxígeno    | %      | 51.0  | 53.7  | 61.3  | 71.4  | 70.0  | 69.7   |
| Coliformes termotolerantes    | %      | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0  |

**a. Sólidos totales en suspensión**

La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva a 4 horas de tratamiento, alcanzando un 80% de remoción en las dosis más altas (7 g/L y 11 g/L). Las dosis intermedias (5 g/L y 3 g/L) también muestran una remoción destacada de 80% y 63.5%, respectivamente. Las dosis más bajas (1 g/L) presentan una remoción más baja (46.5%), pero todavía notable en comparación con los tratamientos a menor tiempo de exposición.

**b. Demanda bioquímica de oxígeno**

La remoción de DBO también mejora con el aumento del tiempo de exposición. Las dosis de 7 g/L y 5 g/L muestran una remoción significativa, alcanzando 75.6% y 67.3% de reducción, respectivamente. Las dosis de 9 g/L y 11 g/L presentan valores ligeramente más bajos (74.6% y 73.9%), indicando que dosis intermedias son más eficientes para reducir la materia orgánica biodegradable.

**c. Demanda química de oxígeno**

Similar a la DBO, la remoción de DQO es más eficaz a 4 horas de tratamiento, con una reducción de 71.4% en la dosis de 7 g/L y 70% en 9

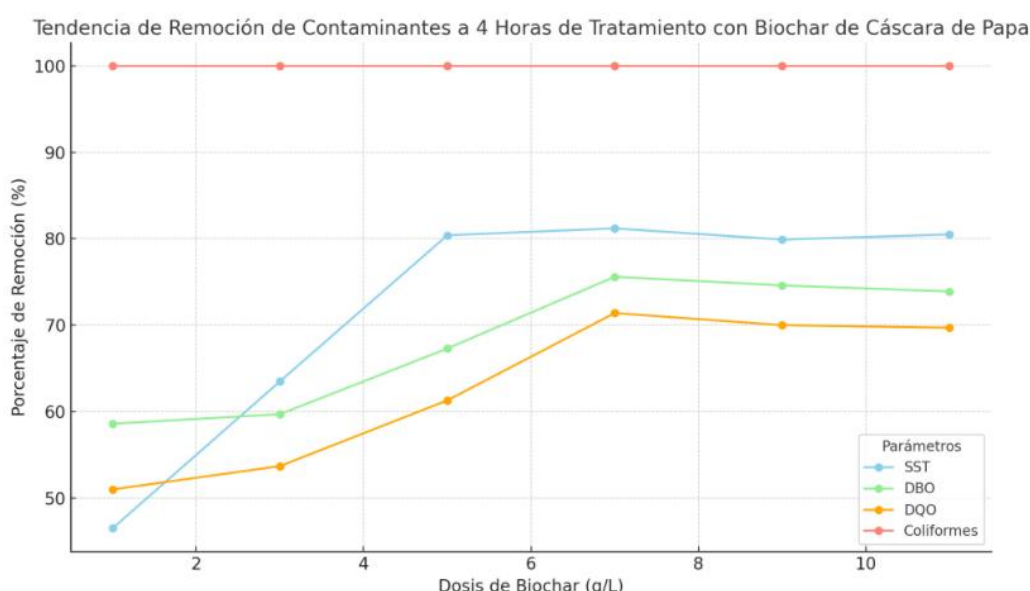
g/L. Las dosis más bajas, como 1 g/L y 3 g/L, muestran una remoción más baja, alcanzando 51% y 53.7%, respectivamente.

## d. Coliformes termotolerantes

La remoción de coliformes termotolerantes es total a todos los niveles de dosis de biochar, alcanzando un 100% de remoción en todas las dosis (desde 1 g/L hasta 11 g/L). Esto indica que el biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* es altamente efectivo en la eliminación de patógenos fecales, independientemente de la dosis utilizada

**Figura 14**

*Tendencia de Remoción de Contaminantes a 4 horas de Tratamiento con Biochar*



El gráfico muestra que, a 4 horas de tratamiento, la remoción de contaminantes mejora a medida que aumenta la dosis de biochar. Los coliformes se eliminan completamente en todas las dosis, alcanzando un 100% de remoción. La remoción de sólidos suspendidos (SST), materia orgánica (DBO y DQO) también aumenta, siendo más eficaz con dosis intermedias (5 g/L y 7 g/L), con una ligera estabilización en las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L). Esto sugiere que las

dosis intermedias proporcionan un mejor balance entre eficacia de remoción y uso de biochar.

### Prueba de hipótesis

La dosis de biochar elaborada a partir de cáscaras de *Solanum tuberosum* (papa) tiene un impacto directo en la remoción de contaminantes en aguas depuradas, y existe una dosis óptima que maximiza la eficiencia del tratamiento.

**Tabla 23**

*Relación cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* y la remoción del contaminante STS en aguas residuales*

| Source   | SS         | df | MS         | Number of obs | = | 54     |
|----------|------------|----|------------|---------------|---|--------|
| Model    | 123527.285 | 2  | 61763.6427 | F(2, 51)      | = | 4.17   |
| Residual | 755865.029 | 51 | 14820.8829 | Prob > F      | = | 0.0211 |
| Total    | 879392.315 | 53 | 16592.3078 | R-squared     | = | 0.1405 |
|          |            |    |            | Adj R-squared | = | 0.1068 |
|          |            |    |            | Root MSE      | = | 121.74 |

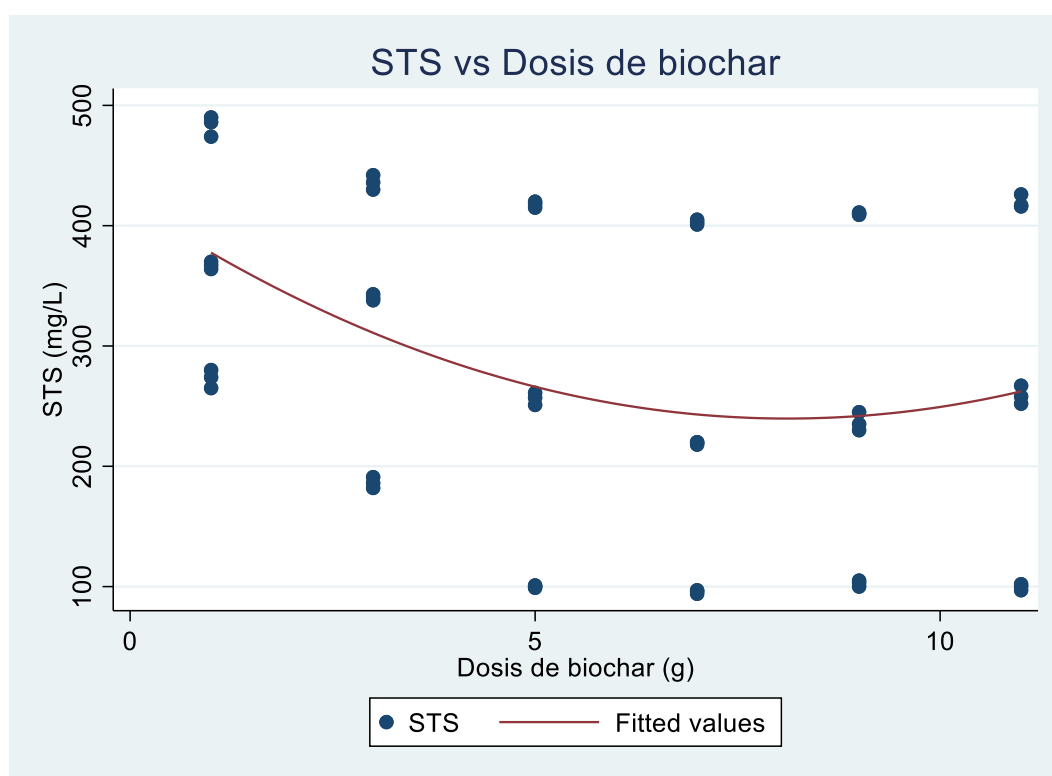
| STS            | Coef.     | Std. Err. | t     | P> t  | [95% Conf. Interval] |           |
|----------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|-----------|
| Dosisdebiochar | -44.17738 | 20.50642  | -2.15 | 0.036 | -85.34573            | -3.009031 |
| Dosis_sq       | 2.720734  | 1.66038   | 1.64  | 0.107 | -.6126172            | 6.054085  |
| _cons          | 419.0241  | 52.47605  | 7.99  | 0.000 | 313.674              | 524.3742  |

La Tabla 23 muestra que el modelo de regresión cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* y la remoción del contaminante STS es globalmente significativo ( $F(2,51)=4.17$ ;  $p=0.0211$ ), de modo que la dosis de biochar explica una parte estadísticamente relevante de la variabilidad en la calidad del agua residual, aunque con un  $R^2$  moderado de 0.14. El coeficiente lineal de la dosis es negativo y significativo ( $p=0.036$ ), indicando que, dentro del rango estudiado, al aumentar la dosis de biochar disminuye la concentración de STS y por tanto se incrementa la remoción del contaminante, lo cual respalda la afirmación de que la

dosis tiene un impacto directo en la eficiencia del tratamiento. El coeficiente positivo del término cuadrático, aunque solo marginalmente significativo ( $p \approx 0.11$ ), sugiere una relación curva en la que la remoción mejora hasta un punto mínimo de concentración y luego tiende a estabilizarse o empeorar, lo que es compatible con la existencia de una dosis óptima de biochar (alrededor de 8 unidades de dosis) que maximiza la eficiencia del proceso.

### Figura 15

*Concentración de sólidos totales en suspensión en función de la dosis de biochar en el tratamiento de aguas residuales*



La Figura 15 muestra una relación curvilínea (forma de U suave) entre la dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* y la concentración de sólidos totales en suspensión, donde los valores ajustados descienden conforme aumenta la dosis desde niveles bajos hasta intermedios y luego vuelven a incrementarse ligeramente en las dosis más altas. Este patrón indica que la remoción de STS mejora de

manera importante cuando la dosis de biochar se incrementa desde valores iniciales hasta aproximadamente la mitad del rango ensayado (alrededor de 7–8 g), punto cercano al mínimo de la curva de regresión que puede interpretarse como una dosis casi óptima, a partir de la cual aumentos adicionales de biochar generan beneficios cada vez menores e incluso un leve empeoramiento de la calidad del efluente en términos de carga de sólidos suspendidos

**Tabla 24**

*Relación cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de Solanum tuberosum y la remoción del contaminante DBO en aguas residuales*

| Source   | SS         | df | MS         | Number of obs | = | 54     |
|----------|------------|----|------------|---------------|---|--------|
| Model    | 40522.6696 | 2  | 20261.3348 | F(2, 51)      | = | 5.19   |
| Residual | 199151.685 | 51 | 3904.93499 | Prob > F      | = | 0.0089 |
|          |            |    |            | R-squared     | = | 0.1691 |
|          |            |    |            | Adj R-squared | = | 0.1365 |
| Total    | 239674.354 | 53 | 4522.15763 | Root MSE      | = | 62.489 |

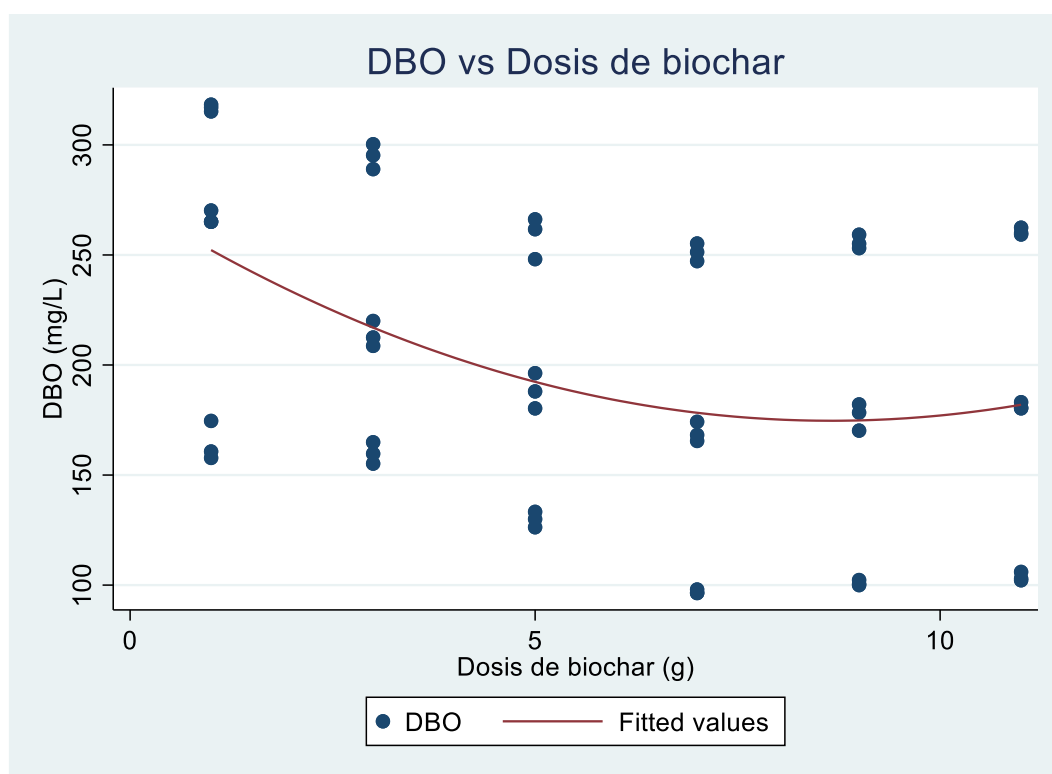
| DBO            | Coef.     | Std. Err. | t     | P> t  | [95% Conf. Interval] |           |
|----------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|-----------|
| Dosisdebiochar | -22.90365 | 10.52591  | -2.18 | 0.034 | -44.0353             | -1.772005 |
| Dosis_sq       | 1.323016  | .8522701  | 1.55  | 0.127 | -.3879878            | 3.03402   |
| _cons          | 273.8044  | 26.93587  | 10.17 | 0.000 | 219.7284             | 327.8805  |

La Tabla 24 manifiesta que el modelo de regresión cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de Solanum tuberosum y la remoción del contaminante DBO es globalmente significativo ( $F(2,51)=5.19$ ;  $p=0.0089$ ), de modo que la dosis de biochar explica una parte estadísticamente relevante de la variabilidad en la demanda bioquímica de oxígeno del agua residual, aunque con un  $R^2$  moderado de 0.17. El coeficiente lineal de la dosis es negativo y significativo ( $p=0.034$ ), indicando que, dentro del rango estudiado, al aumentar la dosis de biochar disminuye la concentración de DBO y por tanto se incrementa la remoción del

contaminante, lo cual respalda la afirmación de que la dosis tiene un impacto directo en la eficiencia del tratamiento biológico. El coeficiente positivo del término cuadrático, aunque no significativo al nivel convencional ( $p=0.127$ ), sugiere una relación curva en la que la remoción mejora hasta un punto mínimo de concentración y luego tiende a estabilizarse o empeorar, lo que es compatible con la existencia de una dosis óptima de biochar (alrededor de 8.7 unidades de dosis) que maximiza la eficiencia del proceso de reducción de la carga orgánica biodegradable

**Figura 16**

*Concentración de DBO en función de la dosis de biochar en el tratamiento de aguas residuales*



La Figura 16 muestra una relación curvilínea entre la dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* y la concentración de DBO, donde los valores ajustados descienden de manera pronunciada al aumentar la dosis desde niveles bajos hasta

intermedios y luego se aplanan, con un ligero incremento hacia las dosis más altas. Este comportamiento indica que la mayor reducción de DBO se alcanza alrededor de la zona media del rango de dosis ensayado (cerca a 8–9 g), punto en el cual la curva de regresión se aproxima a su mínimo, sugiriendo la presencia de una dosis casi óptima de biochar para maximizar la remoción de materia orgánica biodegradable, mientras que incrementos posteriores en la dosis apenas mejoran la calidad del efluente y tienden a revertir levemente la tendencia decreciente.

**Tabla 25**

*Relación cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de Solanum tuberosum y la remoción del contaminante DQO en aguas residuales*

| Source   | SS         | df | MS         | Number of obs | = | 54     |
|----------|------------|----|------------|---------------|---|--------|
| Model    | 94151.6673 | 2  | 47075.8337 | F(2, 51)      | = | 3.98   |
| Residual | 603070.347 | 51 | 11824.9088 | Prob > F      | = | 0.0247 |
|          |            |    |            | R-squared     | = | 0.1350 |
|          |            |    |            | Adj R-squared | = | 0.1011 |
| Total    | 697222.014 | 53 | 13155.1323 | Root MSE      | = | 108.74 |

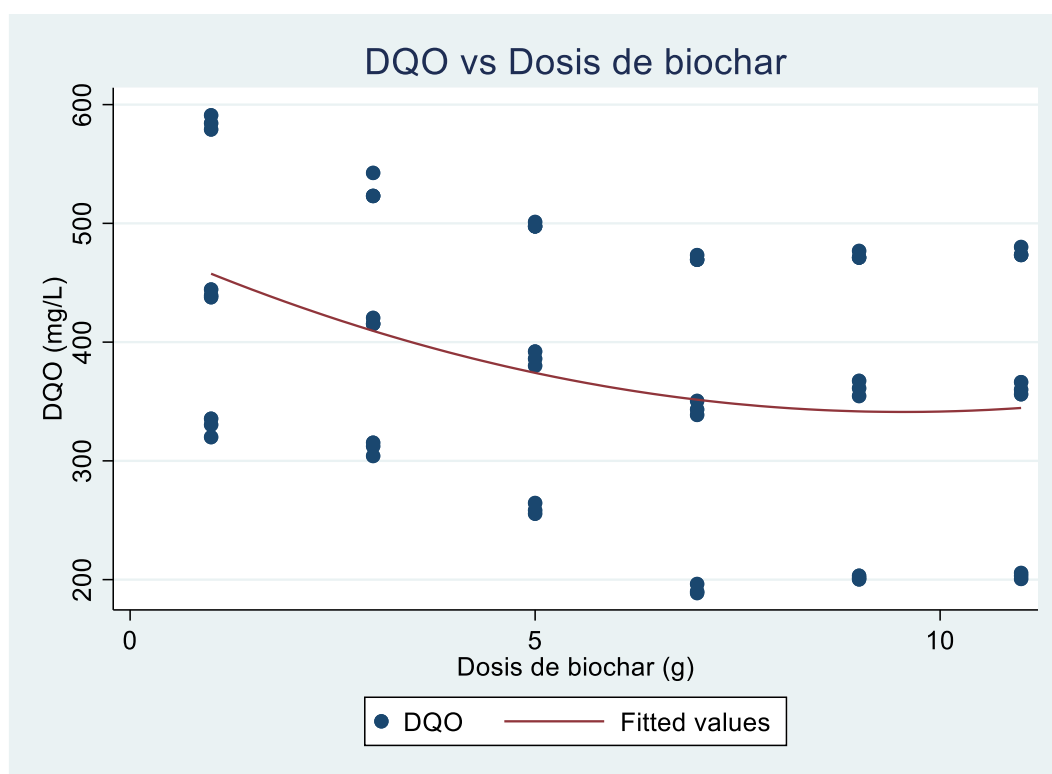
| DQO            | Coef.     | Std. Err. | t     | P> t  | [95% Conf. Interval] |          |
|----------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|----------|
| Dosisdebiochar | -30.43131 | 18.31689  | -1.66 | 0.103 | -67.20399            | 6.341374 |
| Dosis_sq       | 1.593998  | 1.483096  | 1.07  | 0.288 | -1.383441            | 4.571438 |
| _cons          | 486.4536  | 46.87303  | 10.38 | 0.000 | 392.352              | 580.5551 |

La Tabla 25 muestra que el modelo de regresión cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de Solanum tuberosum y la remoción del contaminante DQO es globalmente significativo ( $F(2,51)=3.98$ ;  $p=0.0247$ ), de modo que la dosis de biochar explica una parte estadísticamente relevante de la variabilidad en la DQO del agua residual, aunque con un  $R^2$  moderado de 0.135. El coeficiente lineal de la dosis es negativo pero no es estadísticamente significativo al nivel convencional ( $p=0.103$ ), lo que indica una tendencia a que, dentro del rango estudiado, al

aumentar la dosis de biochar disminuya la concentración de DQO, incrementando así la remoción del contaminante; sin embargo, este impacto lineal directo no es suficientemente fuerte para ser concluyente por sí solo. El coeficiente positivo del término cuadrático, que tampoco es significativo ( $p=0.288$ ), sugiere, en conjunto con el modelo global, una relación curva en la que la remoción mejora hasta un punto y luego tiende a estabilizarse o empeorar, lo cual es compatible con la existencia de una dosis óptima de biochar (alrededor de 9.5 unidades de dosis) que maximiza la eficiencia del proceso de reducción de la carga orgánica total

**Figura 17**

*Concentración de DQO en función de la dosis de biochar en el tratamiento de aguas residuales*



La Figura 17 manifiesta una relación curvilínea entre la dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* y la concentración de DQO en el efluente, donde los valores ajustados descienden al aumentar la dosis desde niveles bajos hasta intermedios

y luego se aplanan con un ligero aumento hacia las dosis más altas. Este comportamiento sugiere que la remoción de materia orgánica total mejora de manera apreciable cuando la dosis de biochar se incrementa desde valores iniciales hasta una zona media del rango ensayado (alrededor de 8–10 g), punto cercano al mínimo de la curva de regresión, a partir del cual incrementos adicionales del biochar generan cambios mínimos en la DQO, indicando la presencia de una dosis casi óptima que equilibra eficiencia de tratamiento y uso del material adsorbente.

**Tabla 26**

*Relación cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de Solanum tuberosum y la remoción del contaminante coliforme termotolerantes en aguas residuales*

| Source   | SS         | df | MS         | Number of obs | = | 54      |
|----------|------------|----|------------|---------------|---|---------|
| Model    | 1.5301e+11 | 2  | 7.6506e+10 | F(2, 51)      | = | 4.57    |
| Residual | 8.5305e+11 | 51 | 1.6727e+10 | Prob > F      | = | 0.0149  |
|          |            |    |            | R-squared     | = | 0.1521  |
|          |            |    |            | Adj R-squared | = | 0.1188  |
| Total    | 1.0061e+12 | 53 | 1.8982e+10 | Root MSE      | = | 1.3e+05 |

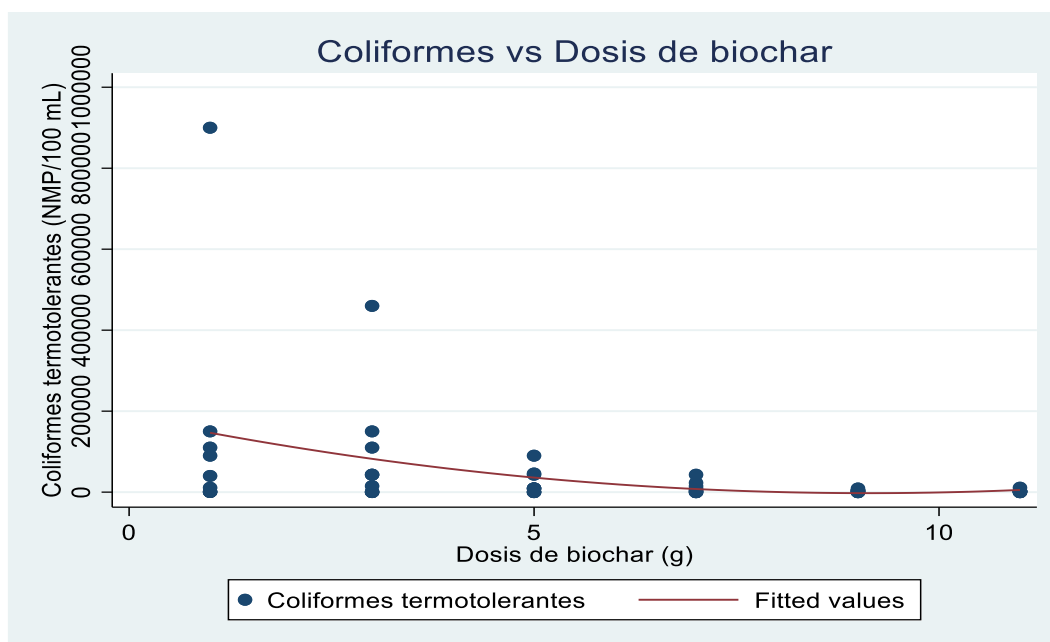
| Coliformeste~s | Coef.     | Std. Err. | t     | P> t  | [95% Conf. Interval] |
|----------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|
| Dosisdebiochar | -41213.07 | 21784.93  | -1.89 | 0.064 | -84948.13 2521.993   |
| Dosis_sq       | 2257.747  | 1763.899  | 1.28  | 0.206 | -1283.428 5798.921   |
| _cons          | 185569.5  | 55747.76  | 3.33  | 0.002 | 73651.15 297487.8    |

La Tabla 26 muestra que el modelo de regresión cuadrática entre la dosis de biochar de cáscara de Solanum tuberosum y la remoción del contaminante coliformes termotolerantes es globalmente significativo ( $F(2,51)=4.57$ ;  $p=0.0149$ ), de modo que la dosis de biochar explica una parte estadísticamente relevante de la variabilidad en la concentración de coliformes termotolerantes del agua residual, aunque con un  $R^2$  moderado de 0.152. El coeficiente lineal de la dosis es negativo

y marginalmente significativo ( $p=0.064$ ), indicando que, dentro del rango estudiado, al aumentar la dosis de biochar tiende a disminuir la concentración de coliformes termotolerantes y por tanto se incrementa la remoción del contaminante microbiológico, lo cual respalda la afirmación de que la dosis tiene un impacto directo en la eficiencia del tratamiento sanitario del agua. El coeficiente positivo del término cuadrático, aunque no significativo al nivel convencional ( $p=0.206$ ), sugiere una relación curva en la que la remoción mejora hasta un punto mínimo de concentración y luego tiende a estabilizarse o empeorar, lo que es compatible con la existencia de una dosis óptima de biochar (alrededor de 9.1 unidades de dosis) que maximiza la eficiencia del proceso de eliminación de patógenos indicadores de contaminación fecal.

### Figura 18

*Concentración de coliformes termotolerantes en función de la dosis de biochar en el tratamiento de aguas residuales*



La Figura 18 manifiesta una relación curvilínea descendente entre la dosis de biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* y la concentración de coliformes

termotolerantes, donde los valores ajustados disminuyen notablemente conforme va subiendo la dosis de biochar, hasta aproximarse a valores cercanos a cero en las dosis intermedias y altas. Este patrón indica que la remoción del contaminante microbiológico mejora de manera sustancial cuando se incrementa la dosis desde niveles bajos hasta alrededor de 8–10 g, punto en el cual la curva de regresión se aplana y sugiere la existencia de una dosis casi óptima de biochar, a partir de la cual aumentos adicionales del material no generan reducciones significativas adicionales en los coliformes termotolerantes, estabilizando la eficiencia del tratamiento de aguas residuales.

#### 4.2. Discusiones

Los resultados obtenidos en la caracterización inicial de las aguas residuales del distrito de Juliaca, que mostraron un pH de 7.6, sólidos totales en suspensión de 510 mg/L, DBO de 397.3 mg/L, DQO de 671.2 mg/L y coliformes termotolerantes de  $2.4 \times 10^7$  NMP/100mL, son consistentes con los niveles típicos de aguas residuales en áreas urbanas, donde se presenta una alta carga orgánica y microbiológica. Estos resultados coinciden con estudios previos como el de Marcos (2019), que documentó concentraciones de DBO de 220 mg/L y DQO de 50 mg/L en aguas depuradas domésticas. De manera similar, el estudio de Mas (2018) sobre la remoción de materia orgánica con biochar muestra que los valores iniciales de DBO y DQO son representativos de aguas con alta carga contaminante, lo que valida la relevancia del estudio realizado en Juliaca, que refleja condiciones similares a las de otros estudios internacionales y nacionales.

Los resultados obtenidos a 30 minutos, 1 hora y 4 horas de tratamiento con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* (papa) muestran que las dosis más altas (7g, 9g y 11g) son las más efectivas, con una remoción de STSs de hasta 81.2% a

4 horas, DBO hasta 75.6%, DQO hasta 71.4%, y coliformes en su totalidad (100%) en todas las dosis a 4 horas. Estos hallazgos son comparables con los encontrados por Oviedo et al. (2020), quienes alcanzaron una remoción del 81.32% de turbidez utilizando cáscara de papa como coagulante. Similarmente, Zahoor et al. (2025) resalta que el biocarbón derivado de biomasa agrícola, como el de cáscara de papa, es efectivo en la adsorción de contaminantes, lo que coincide con la alta eficiencia de remoción de coliformes observada en este estudio. Además, Beljin et al. (2025) reportan que el biocarbón muestra una alta capacidad de adsorción de metales y contaminantes orgánicos, lo que también se refleja en la remoción de DBO y DQO en este estudio.

El análisis de las dosis de biochar de *Solanum tuberosum* y los tiempos de exposición reveló que las dosis de 7g, 9g y 11g, junto con un tiempo de exposición de 4 horas, son las más efectivas en la remoción de contaminantes, alcanzando remociones de STSs de hasta 81.2%, DBO hasta 75.6%, y DQO hasta 71.4%. Este comportamiento es consistente con lo que se observa en el trabajo de Zahoor et al. (2025), que destaca la relación directa entre la dosis de biocarbón y la capacidad de adsorción, sugiriendo que las dosis más altas son más efectivas. Asimismo, los resultados concuerdan con los hallazgos de Leng et al. (2021), quienes marcan que el tiempo de exposición es crucial para mejorar la remoción de contaminantes, ya que a medida que aumenta el tiempo, las características del biochar, como la superficie y la porosidad, favorecen la adsorción de contaminantes. Así, la dosis óptima y el tiempo de exposición más largo obtenidos en este estudio están alineados con los antecedentes internacionales y nacionales que muestran una mejora sustancial con dosis mayores y tiempos más largos de tratamiento.

## CONCLUSIONES

**Primera:** La caracterización físico-química de las aguas residuales en Juliaca mostró una temperatura de 13.7°C, un pH de 7.6 (ligeramente alcalino), sólidos totales en suspensión de 510 mg/L, una demanda bioquímica de oxígeno de 397.3 mg/L y una DQO de 671.2 mg/L, lo que indica una alta carga orgánica y partículas suspendidas. Además, se detectó una significativa concentración de coliformes termotolerantes de  $2.4 \times 10^7$  NMP/100mL, lo que resalta que haya heces en el agua y lo importante que es limpiarla como corresponde para que quede apta y sin microbios dañinos.

**Segunda:** El biochar elaborado a partir de cáscara de *Solanum tuberosum* mostró un potencial significativo para la remoción de contaminantes en aguas residuales. Se determinó que las dosis óptimas de biochar se encuentran en el rango de 5 g/L a 7 g/L, donde se alcanzaron los mejores resultados en la remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica (DBO y DQO) y coliformes termotolerantes. Las dosis más altas (9 g/L y 11 g/L) también mostraron buenos resultados en la remoción de contaminantes, pero el pH del agua se volvió más ácido, lo que puede afectar el tratamiento y los procesos biológicos en aguas tratadas. Por lo tanto, se sugiere que la dosis de 5 g/L es la más óptima para mantener un balance entre la eficacia de remoción y la estabilidad del pH.

**Tercera** El tratamiento con biochar de cáscara de *Solanum tuberosum* durante 30 minutos, 1 hora y 4 horas de exposición mostró una mejora en la remoción de contaminantes a medida que aumentaba el tiempo de contacto. A los 30 minutos, la remoción de coliformes termotolerantes fue prácticamente total, alcanzando el 100% de eliminación a 1 hora y 4 horas. Sin embargo, la remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica (DBO y DQO) mejoró significativamente con los



tiempos de 1 hora y 4 horas, alcanzando reducciones de hasta 81.2% en SST, 75.6% en DBO y 71.4% en DQO con dosis intermedias de 7 g/L. Estos resultados sugieren que un tiempo de exposición de 4 horas es el más adecuado para maximizar la remoción de contaminantes, especialmente en dosis intermedias de biochar, sin afectar negativamente las condiciones del agua tratada.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la capacidad del biochar para remover metales pesados, compuestos farmacéuticos y productos químicos industriales.
- Estudiar la regeneración y reutilización del biochar para mejorar la viabilidad económica y reducir costos.
- Explorar tiempos de tratamiento más cortos o largos para optimizar el proceso sin perder eficacia.
- Crear protocolos estandarizados para la preparación y evaluación del biochar, garantizando la reproducibilidad de los resultados.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amalina, F., Krishnan, S., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2023). Biochar and sustainable environmental development towards adsorptive removal of pollutants: Modern advancements and future insight. *Process Safety and Environmental Protection*, 173, 715-728.  
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.03.069>
- APHA, A. G. (2017). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales AHPA - AWWA - WPCF* (17.<sup>a</sup> ed.). Dias de Santos.
- Beljin, J., Đukanović, N., Anojčić, J., Simetić, T., Apostolović, T., Mutić, S., & Maletić, S. (2025). Biochar en la remediación de contaminantes orgánicos en agua: una revisión sobre la eliminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y plaguicidas. *Nanomaterials*, 15(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.3390/nano15010026>
- Clemente, A. R., Pérez Bayer, J. F., & Présiga López, D. (2021). *Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas*. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>
- Cutipa, A. J. (2023). *Eliminación de DQO en aguas residuales municipales mediante la activación de oxone con biocarbón derivado de lodos de PTAR* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20551>
- Gutiérrez, D. F., & Muñoz, J. P. N. (2017). *Implementación de alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el proceso de pirólisis lenta para la obtención de materiales de uso agrícola* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle].  
<https://hdl.handle.net/20.500.14625/20866>



- Gutiérrez, G. O., & Fuentes, R. C. de L. (2020). *Elaboration of biochar for the use of residues from bamboo*. 7(1), 1-9.
- Hameed, B. H., & Rahman, A. A. (2008). Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2), 576-581.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.028>
- Hoz, J. J. G. de la, & Fortes, A. P. (2008). Calidad microbiológica de las aguas recreativas del embalse Conde de Guadalhorce, en Málaga (España), 2000-2005. *Revista de Salud Ambiental*, 8(1), Article 1.
- Jha, S., Gaur, R., Shahabuddin, S., & Tyagi, I. (2023). Biochar as Sustainable Alternative and Green Adsorbent for the Remediation of Noxious Pollutants: A Comprehensive Review. *Toxics*, 11(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.3390/toxics11020117>
- Kong, W., Ren, J., Wang, S., & Chen, Q. (2014). Removal of heavy metals from aqueous solutions using adsorbents made from acrylic-modified sugarcane bagasse Equilibrium and Kinetic Studies. *BioResources*, 9(2), 3184-3196.  
<https://doi.org/10.15376/biores.9.2.3184-3196>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2024). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Taylor & Francis.
- Leng, L., Xiong, Q., Yang, L., Li, H., Zhou, Y., Zhang, W., Jiang, S., Li, H., & Huang, H. (2021). Ein Blick darauf, wie man die Oberfläche und die Poren von Biokohle verändern kann. *Science of The Total Environment*, 763, 144204.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144204>
- Li, S., & Skelly, S. (2023). Physicochemical properties and applications of biochars derived from municipal solid waste: A review. *Environmental Advances*, 13, 100395. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100395>



- Liang, L., Xi, F., Tan, W., Meng, X., Hu, B., & Wang, X. (2021). Review of organic and inorganic pollutants removal by biochar and biochar-based composites. *Biochar*, 3(3), 255-281. <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00101-6>
- Llinares, M. V. (2024). *Estudio del biocarbón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales*. <http://dspace.umh.es/handle/11000/33874>
- Marcos, J. M. R. (2019). *Eficiencia de la cáscara de papa (Solanum tuberosum) y la cáscara de yuca (Manihot esculenta) como coagulantes naturales en la remoción de materia orgánica de aguas residuales domésticas del Parque María Reiche, Miraflores—2018*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/7908>
- Mas, I. R. (2018). Eficiencia del Biochar obtenido a partir de residuos orgánicos municipales para la remoción de materia orgánica en aguas residuales, Chachapoyas, Amazonas, 2018. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM / Repositorio Institucional - UNTRM*. <https://shre.ink/Ams4>
- Osorio Rivera, M. A., Carrillo Barahona, W. E., Negrete Costales, J. H., Loor Lalvay, X. A., & Riera Guachichulca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(3), 228-245.
- Oviedo, H. C., Núñez, D. C., Martinez, I. M., Acosta, N. C., & Ortega, G. C. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la clarificación del agua de la ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>
- Pérez, L. F. C., Miranda Zambrano, G. A., Cusiche Pérez, L. F., & Miranda Zambrano, G. A. (2019). Contaminación de la reserva nacional «Lago Junín», Perú, por vertimientos de aguas residuales e indicadores



fisicoquímicos y bacteriológicos de calidad del agua, 10(6), 1433-1447.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>

Pimiento, K., & Cárdenas González, M. J. (2021). Evaluación del tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita (Venezuela). *INGE CUC*, 17(1), 11.

Présiga-López, D., Rubio-Clemente, A., & Pérez, J. F. (2021). Emplear el biocarbón como una opción diferente para limpiar aguas sucias. *Revista UIS Ingenierías*, 20(1), Article 1. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021011>

Singh, A., Sharma, A., Verma, R. K., L, R., & Pandit, P. P. (2022). *Heavy Metal Contamination of Water and Their Toxic Effect on Living Organisms | IntechOpen*. <https://www.intechopen.com/chapters/82246>

Zahoor, A., Liu, X., Liu, Y., Liu, S., Yi, W., Sajnani, S., Tai, L., Tahir, N., Abdoulaye, B., Mahaveer, Liu, Y., Rahman, Z. ur, Damizia, M., & de Caprariis, B. (2025). Biochar made from crop residues for wastewater treatment: a thorough analysis and its long-term viability. *Environmental Functional Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.efmat.2024.12.005>

Zeghioud, H., Fryda, L., Djelal, H., Assadi, A., & Kane, A. (2022). A comprehensive review on biochar-based removal of organic pollutants from wastewater: characterization, toxicity, activation/functionalization, and key treatment parameters. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102801. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102801>



# ANEXOS



## Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO

| <u>PROBLEMA</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <u>OBJETIVOS</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <u>HIPOTESIS</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <u>VARIABLES</u>                                                                              | <u>DIMENSIONES</u>                                                                                                                            | <u>INDICADORES</u>                                                                                                               | <u>MEDICIÓN</u>                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <p><b><u>GENERAL:</u></b><br/>¿Cuál es la eficacia del biochar elaborado a partir de cáscaras de Solanum tuberosum (papa) en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales a escala de laboratorio?</p> <p><b><u>ESPECIFICO:</u></b><br/>¿Qué características físico-químicas presentan las aguas residuales del distrito de Juliaca antes de ser tratadas con biochar?</p> <p>¿Cuál será la dosis óptima de biochar elaborado a partir de cáscaras de Solanum tuberosum (papa) para la remoción eficiente de contaminantes en aguas residuales?</p> <p>¿Cómo varía la capacidad de remoción de contaminantes a partir del biochar de cáscara de Solanum tuberosum (papa) en aguas residuales según los diferentes tiempos de exposición?</p> | <p><b><u>GENERAL:</u></b><br/>Evaluar la eficacia del biochar elaborado a partir de cáscaras de Solanum tuberosum (papa) en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales a escala laboratorio</p> <p><b><u>ESPECIFICO:</u></b><br/>Realizar la caracterización físico química de las aguas residuales antes del tratamiento en el distrito de Juliaca.</p> <p>Elaborar el biochar a partir de cáscara de Solanum tuberosum (papa) y determinar la dosis óptima para la remoción</p> <p>Determinar la capacidad de remoción de contaminantes con biochar de cáscara de Solanum tuberosum (papa) en aguas residuales, evaluando la reducción de contaminantes a diferentes tiempos de exposición.</p> | <p><b><u>GENERAL:</u></b><br/>El biochar elaborado a partir de cáscaras de Solanum tuberosum (papa) tiene una eficacia significativa en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales a escala de laboratorio.</p> <p><b><u>ESPECIFICO:</u></b><br/>Las aguas residuales del distrito de Juliaca presentan concentraciones elevadas de contaminantes, cuya caracterización físico-química influye en el proceso de remoción de contaminantes con biochar.</p> <p>La dosis de biochar elaborada a partir de cáscaras de Solanum tuberosum (papa) tiene un impacto directo en la remoción de contaminantes en aguas depuradas, y existe una dosis óptima que maximiza la eficiencia del tratamiento.</p> <p>• El tiempo de exposición del biochar de cáscara de Solanum tuberosum (papa) influye en la capacidad de remoción de contaminantes en aguas residuales, con un aumento en la eficacia de remoción a medida que se incrementa el tiempo de exposición.</p> | <p>(VD)<br/>) eficiencia en la remoción de contaminantes</p> <p>(VI)<br/>dosis de biochar</p> | <p>Reducc ión de contaminantes (DBO, DQO, solidos totales en suspensión, Coliformes termotolerantes)</p> <p>Cantidad de biochar utilizado</p> | <p>Porcent aje de remoción de contaminantes Gramo s de brochar por litro de agua</p> <p>Gramo s de biochar por litro de agua</p> | <p>%<br/>g<br/>/L</p> <p>g/L</p> |



## Anexo 2: Resultados



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° LCA155 - 2024

#### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

#### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 02  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de ensayo : 09/12/2024  
2.5. Departamento : Puno  
2.6. Provincia : San Román  
2.7. Distrito : Juliaca  
2.8. Código, ubicación, fecha y hora de muestreo

| N° | Código | Coordenadas                | Fecha      | Hora  |
|----|--------|----------------------------|------------|-------|
| 1  | P1     | E: 320209.18 N: 8281389.10 | 08/12/2024 | 10:15 |
| 2  | P2     | E: 320079.76 N: 8281297.54 | 08/12/2024 | 10:40 |

#### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | P1                | P2                |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|
| Temperatura                   | °C          | 13.5              | 13.7              |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.8               | 7.6               |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L        | 428.0             | 510               |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 374.6             | 397.3             |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 604.5             | 671.2             |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.5 \times 10^7$ | $2.4 \times 10^7$ |

#### 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

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca  
CIP: 42290  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - PUCP

Juliaca, 27 de diciembre del 2024



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° LCA156 - 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 17/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 18/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R1D1(30)          | R1D3(30)          | R1D5(30)          | R1D7(30)          | R1D9(30)          | R1D11(30)         |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Temperatura                   | °C          | 14.3              | 14.2              | 14.0              | 14.2              | 14.5              | 14.4              |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3               | 7.0               | 6.8               | 6.6               | 5.8               | 5.3               |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L        | 486               | 436               | 418               | 405               | 409               | 426               |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 315.2             | 295.3             | 261.7             | 255.2             | 259.2             | 262.4             |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 584.3             | 523.1             | 497.5             | 469.4             | 471.2             | 473.4             |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.1 \times 10^5$ | $1.5 \times 10^5$ | $4.3 \times 10^4$ | $2.3 \times 10^4$ | $1.5 \times 10^3$ | $1.5 \times 10^3$ |

### 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

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
Mgtr. Ing. Milthon Quispe Huanca  
CIP. 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP

Juliaca, 27 de diciembre del 2024



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° LCA157- 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE  
SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS  
RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 17/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 18/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R2D1(30)          | R2D3(30)          | R2D5(30)          | R2D7(30)          | R2D9(30)          | R2D11(30)         |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Temperatura                   | °C          | 15.1              | 15.3              | 15.3              | 15.1              | 15.4              | 15.3              |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4               | 6.9               | 6.7               | 6.5               | 5.9               | 5.6               |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 490               | 442               | 415               | 401               | 411               | 417               |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 318.3             | 289.0             | 266.2             | 251.3             | 255.1             | 259.3             |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 591.0             | 523.1             | 497.5             | 469.4             | 471.2             | 473.4             |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $9.0 \times 10^5$ | $1.1 \times 10^5$ | $4.6 \times 10^4$ | $4.3 \times 10^4$ | $9.0 \times 10^3$ | $2.3 \times 10^3$ |

### 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, 27 de diciembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
  
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca  
CIP: 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP



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° LCA158 - 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 18/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 19/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R3D1(30)          | R3D3(30)          | R3D5(30)          | R3D7(30)          | R3D9(30)          | R3D11(30)         |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Temperatura                   | °C          | 13.0              | 13.2              | 13.0              | 13.1              | 13.3              | 13.1              |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4               | 7.2               | 7.0               | 6.7               | 5.4               | 5.0               |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 474               | 430               | 420               | 403               | 410               | 416               |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 317.0             | 300.3             | 248.1             | 247.2             | 253.1             | 260.0             |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 579.1             | 542.5             | 501.2             | 473.3             | 476.8             | 480.1             |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.5 \times 10^5$ | $4.6 \times 10^5$ | $9.0 \times 10^4$ | $1.5 \times 10^4$ | $4.3 \times 10^3$ | $1.1 \times 10^3$ |

### 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

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
  
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca  
CIP: 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

Juliaca, 27 de diciembre del 2024



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° LCA159 - 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 18/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 19/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R1D1(I)           | R1D3(I)           | R1D5(I) | R1D7(I) | R1D9(I) | R1D11(I) |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 15.4              | 15.3              | 15.3    | 15.5    | 15.3    | 15.4     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3               | 6.9               | 6.7     | 6.6     | 6.3     | 5.8      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 370               | 338               | 261     | 220     | 245     | 267      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 265.1             | 208.7             | 196.3   | 174.2   | 182.1   | 180.6    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 439.3             | 415.3             | 392.1   | 350.5   | 367.4   | 356.1    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $4.0 \times 10^4$ | $4.3 \times 10^4$ | 9300    | 9000    | 4300    | 2300     |

### 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, 27 de diciembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
  
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca  
CIP: 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



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° LCA160- 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 19/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 20/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R2D1(1)           | R2D3(1)           | R2D5(1) | R2D7(1) | R2D9(1) | R2D11(1) |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 13.1              | 13.2              | 13.0    | 13.2    | 13.3    | 13.2     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.4               | 6.8               | 6.6     | 6.5     | 6.4     | 5.9      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 367               | 343               | 257     | 218     | 235     | 258      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 270.2             | 212.5             | 188.0   | 168.2   | 178.4   | 183.1    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 444.3             | 420.4             | 386.0   | 343.3   | 361.2   | 366.3    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $1.1 \times 10^4$ | $1.5 \times 10^4$ | 9000    | 4300    | 4300    | 2400     |

### 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

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
Mgtr. Ing. Milthon Quispe Huanca  
CIP. 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FUCP

Juliaca, 27 de diciembre del 2024



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° LCA161 - 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 19/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 20/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R3D1(1)           | R3D3(1)           | R3D5(1) | R3D7(1) | R3D9(31) | R3D11(1) |
|-------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 14.0              | 14.3              | 14.6    | 14.3    | 14.4     | 14.5     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.5               | 7.2               | 6.7     | 6.6     | 6.4      | 6.0      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 364               | 340               | 251     | 220     | 230      | 252      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 265.1             | 220.0             | 180.3   | 165.5   | 170.2    | 180.3    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 437.8             | 415.5             | 380.1   | 338.7   | 354.6    | 360.0    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | $9.0 \times 10^4$ | $4.3 \times 10^4$ | 9300    | 4300    | 4000     | 2300     |

### 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, 27 de diciembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
Mgtr. Ing. Milthon Quispe Huanca  
CIP. 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



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° LCA162 - 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 20/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 21/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R1D1(4) | R1D3(4) | R1D5(4) | R1D7(4) | R1D9(4) | R1D11(4) |
|-------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 12.4    | 12.3    | 12.3    | 12.5    | 12.3    | 12.4     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3     | 6.9     | 6.7     | 6.6     | 6.3     | 5.8      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 280     | 182     | 101     | 97      | 105     | 100      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 174.6   | 164.9   | 133.3   | 96.4    | 102.3   | 106.     |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 330.4   | 315.3   | 258.4   | 196.3   | 203.3   | 200.6    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 900     | 430     | 110     | 4       | 9       | 4        |

### 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, 27 de diciembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
  
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca  
CIP: 42790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP



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° LCA163- 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 20/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 22/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R2D1(4) | R2D3(4) | R2D5(4) | R2D7(4) | R2D9(4) | R2D11(4) |
|-------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 15.0    | 15.2    | 15.1    | 15.0    | 15.2    | 15.2     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.5     | 7.1     | 6.9     | 6.5     | 6.1     | 5.7      |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L        | 274     | 191     | 99      | 94      | 100     | 97       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 157.8   | 155.2   | 130.0   | 98.0    | 100.5   | 102.2    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 320.0   | 304.1   | 264.5   | 190.0   | 200.2   | 203.2    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 430     | 110     | 90      | <3      | 4       | 4        |

### 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, 27 de diciembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
  
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca  
CIP. 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



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° LCA164 - 2024

### I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL BIOCHAR DE CASCARA DE SOLANUM TUBEROSUM EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA LABORATORIO

### II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua residual  
2.2. Numero de muestras : 06  
2.3. Muestreado por : Yovana Mayomi Orihuela Quispe  
2.4. Fecha de muestreo : 21/12/2024  
2.5. Fecha de ensayo : 22/12/2024  
2.6. Departamento : Puno  
2.7. Provincia : San Román  
2.8. Distrito : Juliaca

### III. RESULTADOS

| Parámetro                     | Unidad      | R3D1(4) | R3D3(4) | R3D5(4) | R3D7(4) | R3D9(4) | R3D11(4) |
|-------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Temperatura                   | °C          | 12.7    | 12.5    | 12.6    | 12.5    | 12.7    | 12.5     |
| Potencial de hidrogeno        | Unid. de pH | 7.3     | 7.0     | 6.7     | 6.4     | 5.9     | 5.5      |
| Solidos totales en suspensión | mg/L        | 265     | 186     | 100     | 96      | 103     | 102      |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L        | 160.7   | 159.7   | 126.3   | 96.5    | 100.0   | 103.0    |
| Demanda química de oxígeno    | mg/L        | 335.5   | 312.3   | 255.5   | 188.7   | 201.4   | 205.6    |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100mL   | 400     | 150     | 93      | <3      | <3      | 9        |

### 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

UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
Mgtr. Ing. Milthon Quispe Huanca  
CIP. 47790  
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

Juliaca, 27 de diciembre del 2024

## Anexo 3: panel fotográfico



Fotografía N° 01

Toma de muestras en el punto numero 1



Fotografía N° 02

Muestras tomadas de aguas residuales del  
rio torococha.

## Elaboración de biochar



Fotografía N° 03

Obtención del biochar a base de las  
cáscaras de solamun tuberosum (papa).

## Análisis en laboratorio



Fotografía N° 04

Determinación de la demanda  
bioquímica de oxígeno



Fotografía N° 05

Aplicación de biochar en  
muestras de agua residual



Fotografía N° 06

Determinación de coliformes  
termotolerantes



## ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 20/03/26

#### 1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: YOVANA MAYOMI ORIHUELA QUISPE  
Dirección: AV. SANDIA S/N - QUILCAPUNCU - SAN ANTONIO DE PUTINA - PUNO  
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70155812  
Teléfono: 956377720 email: yoviorihuela97@gmail.com

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

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL  
Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL  
Asesor: Mgr. 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 DE LA EFICACIA DEL BIOCHAR DE CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM  
EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO

Palabras claves, (3 a 5 términos): Aguas residuales, biochar, contaminación, remoción solanum tuberosum

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

2

<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: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

20/03/26

Fecha