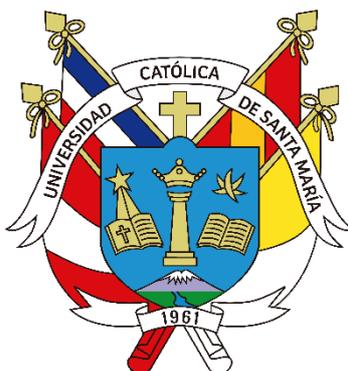


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**APROVECHAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA
COMO SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN
LA MICROCUENCA LECHERA DE AYAVIRI-PUNO**

Tesis presentada por la Bachiller:

Ramirez Flores, Karina Alexandra

para optar el Título Profesional de:

Ingeniera Ambiental

Asesor:

Mg. Tejada Meza, Kevin

Arequipa - Perú

2024

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 26 de Noviembre del 2023

Dictamen: 003046-C-EPIA-2023

Visto el borrador del expediente 003046, presentado por:

2015220422 - RAMIREZ FLORES KARINA ALEXANDRA

Titulado:

**APROVECHAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA COMO SOLUCIÓN NUTRITIVA
PARA SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN LA MICROCUENCA LECHERA DE AYAVIRI-PUNO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**43297964 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR**



APROVECHAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA COMO SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN LA MICROCUENCA LECHERA DE AYAVIRI- PUNO

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 3 | www.indecopi.gob.pe Fuente de Internet | 1% |

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, quien siempre me fortalece y está siempre presente en mi vida.

A mis abuelos Teófilo, Julián y Emma, quienes me brindan su amor y apoyo incondicional desde el cielo.

A mi querida abuela Ruth, cuya paciencia y amor incondicional han sido mi fuente constante de inspiración. A mis padres Janett y Arturo, por su apoyo inquebrantable a lo largo de este viaje académico.

A mi amada hermana Ana Paula, cuyo aliento y comprensión me han impulsado en los momentos más desafiantes. Y a mis leales compañeras peludas, Maia y Mia, cuyas travesuras y cariño incondicional han sido mi refugio en cada pausa de estudio. Este logro es gracias a todos ustedes, quienes han estado a mi lado en esta travesía.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Kevin por su invaluable paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso de tesis. Su orientación experta y disposición para brindar su tiempo y conocimientos fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

También deseo extender mi gratitud a mis mejores amigas Clara y Claudia y a mis queridos amigos del laboratorio de investigación E-406: Melany, Antonio, Leonardo, Fátima, Sergio, Guadalupe, Kristell, Alejandra, Fernando, Mariela, Angie, Carim, Elionora, Stefani, Yanina y Gianella. Su compañerismo, colaboración y aliento inquebrantable hicieron de este camino de investigación una experiencia enriquecedora y significativa. Gracias a todos por estar a mi lado y contribuir al logro de esta investigación.

RESUMEN

La industria láctea representa una de las agroindustrias a nivel mundial de más rápido crecimiento debido a la gran demanda de productos lácteos; sin embargo, es catalogada como una de las mayores fuentes de contaminación en el sector alimentario por el lactosuero residual generado. El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad principal el aprovechamiento de forma sostenible del lactosuero generado en la microcuenca lechera de Ayaviri-Puno-Perú, evaluando el tratamiento óptimo (Coagulación-Floculación y precipitación alcalina) para su posterior uso como solución nutritiva para sistemas hidropónicos. Para ello, se realizó un estudio comparativo aplicando el lactosuero tratado como solución nutritiva en especies vegetales: *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea* y *Solanum lycopersicum*, evaluando en ellas los parámetros de número de hojas, altura de la planta y raíz, diámetro del tallo, peso fresco y seco, ancho y largo de la hoja, entre otros. Por otro lado, se caracterizó fisicoquímicamente el efluente mostrando altos valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) (34511.9 mg/L) Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (4705.0 mg/L), dureza (1231.8 mg/L) y Sólidos Totales Disueltos (STD) (50850 mg/L). En este sentido, se determinó que la precipitación alcalina es el tratamiento idóneo, debido a que se lograron reducciones significativas de DQO (92.82%), DBO (75.58%), fósforo (22.12%), dureza (75.62%) y STD (48.26%), lo cual permitió su utilización como solución hidropónica después de su dilución en agua dulce, demostrando su similitud con soluciones hidropónicas comerciales. Por lo expuesto, las especies vegetales han demostrado respuestas positivas en los parámetros evaluados, destacándose particularmente en la dilución 1:20, en la cual se observaron resultados superiores en términos de número de racimos de *Solanum lycopersicum* en comparación con los obtenidos mediante el uso de una solución hidropónica comercial.

Palabras clave: Hidroponía, lactosuero, precipitación alcalina.

ABSTRACT

The dairy industry represents one of the fastest growing agribusinesses worldwide due to the high demand for dairy products. However, it is classified as one of the largest sources of contamination in the food sector due to the residual whey generated. The main purpose of this research work was the sustainable use of the whey generated in the Ayaviri-Puno-Peru dairy micro-basin, evaluating the optimal treatment (Coagulation-locculation and alkaline precipitation) for its subsequent use as a nutrient solution for hydroponic systems. For this, a comparative study was carried out by applying the treated whey as a nutrient solution in plant species: *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea* and *Solanum lycopersicum*, evaluating the parameters of number of leaves, plant and root height, stem diameter, weight. fresh and dry, width and length of the leaf, among others. On the other hand, the effluent was characterized physicochemically showing high values of Chemical Oxygen Demand (COD) (34511.9 mg/L), Biological Oxygen Demand (BOD) (4705.0 mg/L), hardness (1231.8 mg/L) and Total Solids Dissolved (STD) (50850 mg/L). In this sense, it was determined that alkaline precipitation is the ideal treatment, because significant reductions in COD (92.82%), BOD (75.58%), phosphorus (22.12%), hardness (75.62%) and STD (48.26%) were achieved. %, which allowed its use as a hydroponic solution after dilution in fresh water, demonstrating its similarity to commercial hydroponic solutions. Therefore, the plant species have shown positive responses in the evaluated parameters, particularly standing out in the 1:20 dilution. At this dilution, superior results were observed in terms of the number of *Solanum lycopersicum* clusters compared to those obtained by using a commercial hydroponic solution.

Key words: Alkaline precipitation, cheese whey, hydroponics.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| DICTAMEN APROBATORIO..... | ii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| RESUMEN..... | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| ÍNDICE GENERAL..... | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xvii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xix |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | xx |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 3 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 4 |
| 1.1. Problemática de la investigación..... | 4 |
| 1.2. Justificación | 6 |
| 1.3. Objetivos..... | 7 |
| 1.3.1. Objetivo General | 7 |
| 1.3.2. Objetivo Especifico..... | 7 |
| 1.4. Hipótesis | 7 |
| CAPÍTULO II..... | 8 |
| 2. FUNDAMENTO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1. Diagnóstico situacional..... | 9 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2. Antecedentes de la investigación | 11 |
| 2.3. Marco teórico | 18 |
| 2.3.1. Industria láctea en el Perú | 18 |
| 2.3.2. Lactosuero residual | 18 |
| 2.3.2.1. Introducción del lactosuero al medio ambiente..... | 19 |
| 2.3.2.1.1. Impacto de la industria láctea en el medio ambiente | 20 |
| 2.3.2.2. Propiedades fisicoquímicas del lactosuero | 22 |
| 2.3.2.2.1. Características fisicoquímicas del lactosuero | 24 |
| 2.3.2.2.2. Contaminantes y subproductos del lactosuero | 27 |
| 2.3.2.3. Usos de lactosuero..... | 32 |
| 2.3.2.3.1. Usos tradicionales | 32 |
| 2.3.2.3.2. Aplicación del lactosuero en la elaboración de bebidas..... | 34 |
| 2.3.2.3.3. Aplicación del lactosuero en alimentos..... | 34 |
| 2.3.2.3.4. Utilización del lactosuero como fuente de proteínas | 36 |
| 2.3.2.3.4.1. Proteínas del lactosuero como fuente de nutraceuticos | 36 |
| 2.3.3. Hidroponía | 36 |
| 2.3.3.1. Cultivos hidropónicos..... | 36 |
| 2.3.4. Hidroponía con aguas residuales | 37 |
| 2.3.4.3.2.1. Lechuga | 41 |
| 2.3.4.3.2.2. Tomate..... | 41 |
| 2.3.4.3.2.3. Repollo..... | 42 |
| 2.4. Marco legal..... | 42 |
| 2.4.1. Normativa Internacional | 42 |
| 2.4.2. Normativa Local..... | 43 |
| CAPÍTULO III | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 46 |
| 3.1. Tipo y nivel de investigación | 46 |
| 3.2. Diseño de la investigación..... | 46 |
| 3.2.1. Unidad de análisis..... | 46 |
| 3.2.2. Población de estudio..... | 47 |
| 3.2.3. Tamaño de la muestra..... | 47 |
| 3.2.4. Selección de la muestra | 48 |
| 3.2.5. Variables e indicadores..... | 48 |
| 3.2.6. Materiales y métodos..... | 50 |
| 3.2.6.1. Materiales..... | 50 |
| 3.2.7. Metodología..... | 53 |
| 3.2.8. Caracterización fisicoquímica del lactosuero | 53 |
| 3.2.8.1. Obtención y conservación de muestra del lactosuero | 53 |
| 3.2.8.2. Caracterización fisicoquímica del efluente lácteo crudo y tratado..... | 54 |
| 3.2.8.3. Establecimiento de un tratamiento efectivo para la reutilización del efluente lácteo mediante la evaluación de procesos de Coagulación-Floculación y precipitación química..... | 57 |
| 3.2.8.3.1. Coagulación – Floculación..... | 57 |
| 3.2.8.3.2. Precipitación química..... | 57 |
| 3.2.8.4. Evaluación de la eficiencia del efluente lácteo tratado y crudo como solución nutritiva para cultivos hidropónicos de las especies vegetales: <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Brassica oleracea</i> (repollo) y <i>Solanum lycopersicum</i> (tomate). | 58 |
| 3.2.8.4.1. Germinación de especies vegetales y sistema hidropónico | 58 |
| 3.2.8.4.1.1. Germinación inicial | 58 |
| 3.2.8.5. Sistema hidropónico con diferentes diluciones de efluente lácteo..... | 59 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO IV | 68 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 69 |
| 4.1. Caracterización fisicoquímica del efluente lácteo crudo y tratado..... | 69 |
| 4.1.1. Análisis inicial..... | 69 |
| 4.2. Establecimiento de un tratamiento efectivo para la reutilización del efluente lácteo mediante la evaluación de procesos de Coagulación-Floculación y precipitación química..... | 73 |
| 4.2.1. Coagulación - Floculación aplicada al lactosuero | 73 |
| 4.2.1.1. Porcentaje de remoción de DQO..... | 74 |
| 4.2.1.2. Porcentaje de remoción de Turbidez..... | 76 |
| 4.2.2. Precipitación química aplicada al efluente de una industria láctea | 80 |
| 4.2.2.1. Porcentaje de remoción de DQO..... | 80 |
| 4.2.2.2. Porcentaje de remoción de Turbidez..... | 83 |
| 4.2.3. Análisis fisicoquímico final del efluente tratado..... | 87 |
| 4.1. Evaluación de la eficiencia del efluente lácteo tratado y crudo como solución nutritiva para cultivos hidropónicos de las especies vegetales: <i>Lactuca sativa</i> (Lechuga), <i>Brassica oleracea</i> (Repollo) y <i>Solanum lycopersicum</i> (Tomate)..... | 94 |
| 4.3.1. Germinación y sistemas hidropónicos | 94 |
| 4.3.1.1. Germinación inicial..... | 94 |
| 4.3.1.2. Sistemas hidropónicos con efluente lácteo crudo y tratado..... | 94 |
| 4.3.2. Evaluación de la eficiencia..... | 96 |
| 4.3.2.1. Parámetros evaluados para <i>Solanum lycopersicum</i>..... | 97 |
| 4.3.2.2. Parámetros evaluados para <i>Lactuca sativa</i>..... | 114 |
| 4.3.2.3. Parámetros evaluados para <i>Brassica oleracea</i> | 130 |
| CAPÍTULO V | 149 |

| | |
|--|------------|
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 150 |
| 5.1. CONCLUSIONES..... | 150 |
| 5.2. RECOMENDACIONES..... | 151 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 153 |
| 7. ANEXOS | 174 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Ubicación de la industria lechera | 47 |
| Figura 2. Diagrama de flujo de la toma de muestra de lactosuero..... | 54 |
| Figura 3. Porcentaje de remoción de DQO (mg/L) vs los valores de concentración de coagulante (mg/L)..... | 75 |
| Figura 4. Valores de DQO (mg/L) vs. Dosis de coagulante añadido (mg/L)..... | 76 |
| Figura 5. Porcentaje de remoción de Turbidez vs los valores de concentración de coagulante. | 79 |
| Figura 6. Valores de turbidez (NTU) respecto a la cantidad de coagulante añadido (mg/L). | 79 |
| Figura 7. Porcentajes de remoción de DQO por precipitación alcalina. | 82 |
| Figura 8. Valores de DQO (mg/L) vs el pH en la precipitación química. | 83 |
| Figura 9. Valores de turbidez vs el pH en la precipitación alcalina..... | 85 |
| Figura 10. Porcentaje de remoción de turbidez vs la variación de pH en la precipitación alcalina..... | 86 |
| Figura 11. Número de hojas de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento..... | 97 |
| Figura 12. Altura de la planta de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento..... | 99 |
| Figura 13. Número de racimos de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento. | 101 |
| Figura 14. Diámetro de tallo de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento. | 103 |
| Figura 15. Largo de la hoja de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento..... | 105 |
| Figura 16. Ancho de la hoja de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento. | 107 |
| Figura 17. Altura de la raíz de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento..... | 108 |
| Figura 18. Peso fresco de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento..... | 110 |
| Figura 19. Peso seco de <i>Solanum lycopersicum</i> vs. Tratamiento. | 112 |

| | |
|---|------------|
| Figura 20. Número de hojas de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento..... | 114 |
| Figura 21. Altura de la planta de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento. | 116 |
| Figura 22. Altura de la raíz de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento..... | 118 |
| Figura 23. Diámetro de tallo de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento..... | 120 |
| Figura 24. Producción total de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento. | 122 |
| Figura 25. Producción comercial de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento..... | 124 |
| Figura 26. Peso fresco de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento..... | 126 |
| Figura 27. Peso seco de <i>Lactuca sativa</i> vs. Tratamiento..... | 128 |
| Figura 28. Número de hojas de <i>Brassica oleracea</i> vs. Tratamiento | 130 |
| Figura 29. Altura de la planta de <i>Brassica oleracea</i> vs. Tratamiento..... | 132 |
| Figura 30. Altura de la raíz de <i>Brassica oleracea</i> vs. Tratamiento..... | 134 |
| Figura 31. Largo de la hoja de <i>Brassica oleracea</i> vs. Tratamiento..... | 136 |
| Figura 32. Ancho de la hoja de <i>Brassica oleracea</i> vs. Tratamiento. | 138 |
| Figura 33. Peso fresco de <i>Brassica oleracea</i> vs. Tratamiento. | 140 |
| Figura 34. Peso seco de <i>Brassica oleracea</i> vs. Tratamiento. | 142 |
| Figura 35. Comparación de peso fresco inicial y final de <i>Solanum lycopersicum</i>..... | 144 |
| Figura 36. Comparación de peso fresco inicial y final de <i>Brassica oleracea</i> | 145 |
| Figura 37. Comparación de peso fresco inicial y final de <i>Lactuca sativa</i>..... | 146 |
| Figura 38. Gráficos resumen del desarrollo vegetativo de <i>Lactuca sativa</i> durante 7 semanas de evaluación..... | 193 |
| Figura 39. Gráficos resumen del desarrollo vegetativo de <i>Solanum lycopersicum</i> durante 7 semanas de evaluación. | 194 |
| Figura 40. Gráficos resumen del desarrollo vegetativo de <i>Brassica oleracea</i> durante 7 semanas de evaluación. | 195 |
| Figura 41. Planta lechera..... | 197 |

| | |
|---|------------|
| Figura 42. Planta quesera | 197 |
| Figura 43. Toma de muestra de lactosuero..... | 197 |
| Figura 44. Toma de temperatura de muestra de lactosuero | 197 |
| Figura 45. Refrigeración de las muestras de lactosuero | 197 |
| Figura 46. Homogenización de la muestra..... | 197 |
| Figura 47. Homogenización de la muestra..... | 198 |
| Figura 48. Unidades experimentales de especies vegetales..... | 198 |
| Figura 49. Unidades experimentales de especies..... | 198 |
| Figura 50. Germinación de semillas. | 198 |
| Figura 51. Unidades experimentales de especies vegetales..... | 198 |
| Figura 52. Unidades experimentales de especies vegetales..... | 198 |
| Figura 53. Toma de parámetros semanales. | 199 |
| Figura 54. Toma de parámetros semanales. | 199 |
| Figura 55. Germinación de especies Día 5. | 199 |
| Figura 56. Germinación Día 15..... | 199 |
| Figura 57. Toma de temperatura ambiental..... | 200 |
| Figura 58. Germinados para ser trasplantados..... | 200 |
| Figura 59. Germinados para ser trasplantados..... | 200 |
| Figura 60. Toma de parámetros de germinados..... | 200 |
| Figura 61. Toma de peso fresco inicial. | 200 |
| Figura 62. Toma de peso fresco inicial. | 200 |
| Figura 63. Lactosuero tratado diluido..... | 201 |
| Figura 64. Hidróxido de sodio..... | 201 |
| Figura 65. Peso de hidróxido de sodio..... | 201 |
| Figura 66. Temperatura ambiental del desarrollo vegetativo de las semillas. | 201 |

| | |
|---|------------|
| Figura 67. Precipitación química de lactosuero. | 201 |
| Figura 68. Retiro del sobrenadante del lactosuero precipitado. | 201 |
| Figura 69. Unidades experimentales en el laboratorio. | 202 |
| Figura 70. Unidades experimentales en el laboratorio. | 202 |
| Figura 71. Lavado de raíces con agua destilada. | 203 |
| Figura 72. Determinación de peso fresco. | 203 |
| Figura 73. Muestras de especies vegetales en estufa para determinación de peso seco. | 203 |
| Figura 74. Determinación de altura de raíz. | 203 |
| Figura 75. Determinación del ancho de la hoja. | 204 |
| Figura 76. Determinación del peso seco. | 204 |
| Figura 77. Lactosuero neutralizado. | 204 |
| Figura 78. Retiro de sobrenadante del lactosuero precipitado. | 204 |
| Figura 79. Toma de pH del lactosuero neutralizado. | 205 |
| Figura 80. Toma de pH del lactosuero neutralizado. | 205 |
| Figura 81. Toma de temperatura del lactosuero tratado neutralizado. | 205 |
| Figura 82. Determinación de la altura de la planta. | 205 |
| Figura 83. Precipitación alcalina del Lactosuero, pH 8 – 14 unidades. | 206 |
| Figura 84. Agitación rápida y lenta del lactosuero con diferentes concentraciones de coagulantes. | 206 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Composición promedio de la leche, subproductos y residuos (mg /l). | 23 |
| Tabla 2. Composición de lactosuero fresco. | 24 |
| Tabla 3. Contenido de carga orgánica por producto fabricado en industrias lácteas. | 26 |
| Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos del lactosuero. | 28 |
| Tabla 5. Variables consideradas para la evaluación del pretratamiento de lactosuero más adecuado. | 48 |
| Tabla 6. Variables consideradas para la evaluación de los resultados. | 49 |
| Tabla 7. Equipos utilizados en la experimentación y análisis. | 51 |
| Tabla 8. Material de laboratorio utilizado en la experimentación y análisis. | 52 |
| Tabla 9. Métodos aplicados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de lactosuero. | 55 |
| Tabla 10. Sistemas hidropónicos utilizados con lactosuero. | 61 |
| Tabla 11. Parámetros evaluados en las especies vegetales. | 65 |
| Tabla 12. Valores resultantes de la caracterización de la muestra de lactosuero ECA agua y VMA. | 69 |
| Tabla 13. Valores y porcentajes de remoción de DQO variando la concentración de coagulante. | 74 |
| Tabla 14. Valores y porcentajes de remoción de Turbidez variando la concentración de coagulante. | 77 |
| Tabla 15. Valores y porcentajes de remoción de DQO con precipitación alcalina. | 81 |
| Tabla 16. Valores y porcentajes de remoción de la Turbidez con precipitación alcalina. | 84 |
| Tabla 17. Valores resultantes de la caracterización de la muestra de lactosuero post tratamiento, ECA Agua y VMA. | 88 |

**Tabla 18. Comparación de componentes de la solución hidropónica comercial vs. lactosuero
tratado..... 92**



ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|------------|
| ANEXO 1. Resultados de laboratorio | 175 |
| ANEXO 2. Mapa de ubicación de la industria lechera..... | 190 |
| ANEXO 3. Gráficos resumen de desarrollo vegetativo | 192 |
| ANEXO 4. Panel Fotográfico..... | 196 |



LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|------------------|--|
| STD | Sólidos Totales Disueltos |
| NTU | Unidad Nefelométrica de Turbidez |
| pH | Potencial de hidrógeno |
| D.S. | Decreto Supremo |
| DQO | Demanda Química de Oxígeno |
| DBO ₅ | Demanda Biológica de Oxígeno |
| STS | Sólidos Totales Suspendidos |
| STD | Sólidos Totales Disueltos |
| MINAM | Ministerio del Ambiente |
| ECA | Estándares de Calidad Ambiental |
| INETI | Instituto Nacional de Ingeniería de Lisboa. |
| VMA | Valores Máximos Admisibles |
| mL. | Mililitros |
| CP | Control Positivo |
| ETN 1:5 | Lactosuero tratado neutralizado en dilución 1:5 |
| ETN 1:10 | Lactosuero tratado neutralizado en dilución 1:10 |
| ETN 1:20 | Lactosuero tratado neutralizado en dilución 1:20 |
| EC 1:5 | Lactosuero crudo en dilución 1:5 |
| EC 1:10 | Lactosuero crudo en dilución 1:10 |
| EC 1:20 | Lactosuero crudo en dilución 1:20 |
| MIDAGRI | Ministerio de Agricultura y Riego |
| SV | Sólidos volátiles |
| CE | Conductividad eléctrica |
| DCBA | Diseño completo de bloques al azar |
| OECD/FAO | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. |

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2001, Perú ha experimentado un aumento constante en su producción de leche, situándose entre los diez principales países productores (Brousett-Minaya et al., 2015). Este crecimiento en la producción de leche ha influenciado en la expansión de la ganadería bovina en diversas regiones del país, así como en la generación de desechos líquidos conocidos como efluentes. La industria láctea peruana se centra en el procesamiento de leche cruda para fabricar diversos productos, como yogur, helado, mantequilla, queso y postres, a través de diferentes procesos (Carvalho et al., 2013).

Los efluentes generados en esta industria varían su composición de acuerdo con los productos fabricados, el tipo de instalación y los métodos utilizados en la planta (Gutiérrez et al., 1991). Desde un punto de vista ecológico, uno de los principales problemas de los efluentes lácteos se debe a su alta carga orgánica, lo que implica una cantidad importante de materia orgánica, incluyendo restos de productos lácteos y sustancias químicas usadas en la limpieza, lo cual puede tener efectos adversos en el entorno si no se gestionan de manera adecuada. Es por ello que, es importante la aplicación de prácticas de gestión medioambiental y tratamiento de efluentes en la industria láctea para minimizar su impacto ecológico y cumplir con las regulaciones ambientales. Debido a esto, el lactosuero representa un subproducto de la industria láctea que posee un alto contenido de nutrientes, incluyendo nitrógeno, fósforo y potasio, que son fundamentales para el crecimiento saludable de las plantas. En adición a ello, su tratamiento idóneo puede eliminar posibles riesgos ambientales vinculados con la disposición inadecuada de este subproducto. Al emplear lactosuero tratado en sistemas de hidroponía, no solo se aprovechan sus nutrientes para alimentar a las plantas de manera eficiente, sino que también se contribuye a la sostenibilidad agrícola, minimizando la contaminación y el desperdicio de un recurso valioso. Esto no beneficia solamente a los agricultores al mejorar la productividad y la

calidad de los cultivos, sino que también contribuye a dar un paso hacia una agricultura más amigable con el medio ambiente y económicamente sostenible.

Por lo expuesto, la presente investigación tuvo como objetivo principal el aprovechamiento de forma sostenible de los efluentes de industria láctea tratados generados en la microcuenca lechera de Ayaviri-Puno como solución nutritiva para sistemas hidropónicos, de igual manera se busca cumplir el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 de las Naciones Unidas. Este objetivo, orientado en "Agua Limpia y Saneamiento", busca brindar información valiosa y soluciones innovadoras que promuevan la gestión sostenible de los recursos hídricos, la reducción de la contaminación y la mejora de la calidad del agua. En consecuencia, se contribuye a tener una sociedad en la que todos puedan disfrutar de un acceso equitativo y seguro al agua y el saneamiento, mejorando así la calidad de vida y fomentando un desarrollo sostenible a nivel global.



2 **CAPÍTULO I**

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

La industria láctea constituye una de las principales agroindustrias que significan una fuente de ingreso económico importante a los productores de leche del Distrito de Ayaviri. Asimismo, Puno se caracteriza por ser el segundo departamento del país con mayor industria lechera, dentro de ellos se ubican los pequeños, medianos y grandes productores, que representan el 15,2%, 11,3% y 4,6% de producción respectivamente (Santamaría et al., 2017). Sin embargo, esta constituye una fuente de contaminación importante debido a que uno de los principales subproductos de las plantas productoras queseras ubicadas a lo largo del distrito de Ayaviri, es el suero de leche. El agua residual de suero de queso pretratado tiene un alto contenido de materia orgánica biodegradable, salinidad y nutrientes que no son reaprovechados y son factores de desarrollo esenciales para especies óptimas en sistemas hidropónicos. En la microcuenca lechera de Ayaviri, se genera impactos ambientales negativos significativos debido a la gran cantidad de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) que genera el efluente lácteo, puesto que no existe un sistema de conducción eficiente de residuos lácteos ni un sistema de alcantarillo óptimo, por lo que se genera vertimiento de los efluentes lácteos a cuerpos de agua y a la superficie del suelo, ocasionando un problema ambiental grave; alterando física y químicamente la estructura del suelo, lo que genera un bajo rendimiento de cultivos agrícolas (Araujo et al., 2013), asimismo disminuye la vida acuática al agotar el oxígeno disuelto.

Gran porcentaje de lactosuero producido anualmente a nivel mundial es desechado al medio ambiente, representando una pérdida de una fuente de alimentación y causando serios problemas de contaminación, debido a que el lactosuero contiene una alta carga orgánica con valores de DBO y DQO. (Rosas et al., 2014).

El lactosuero generalmente es eliminado en la producción de derivados lácteos con una proporción cerca al 90% de la leche utilizada en sus procesos; el suero de leche es uno de los productos secundarios más contaminantes que se produce en la industria alimentaria. (Araujo et al., 2013)

No darle un uso a este subproducto importante generado de la industria láctea significa un desaprovechamiento del lactosuero como alimento, debido a que este posee gran cantidad de nutrientes; albergando cerca del 55% del total de los ingredientes, tales como la lactosa, proteínas, materia grasa y sales minerales (Parra, 2009). Asimismo, se considera que para la fabricación de 1 kg de queso se genera aproximadamente 9 kg de suero de leche, esto significa que prácticamente se genera entre 85 a 90% de volumen de leche y posee cerca del 55% de nutrientes (Parra, 2009). Por consiguiente, es imprescindible buscar opciones útiles para reducir el impacto ambiental ocasionado por el efluente causado; de esta manera reutilizar este tipo de desecho orgánico ocasionado en la fase de producción en una zona lechera importante para el país. (Araujo et al., 2013)

El suero de leche es una fuente de materia prima óptima de la cual se pueden extraer diferentes productos; varios investigadores proponen reutilizarlo de muchas maneras, tales como ácidos orgánicos, alcoholes, bebidas fermentadas, concentrados proteicos entre otros. (Muñoz, 2018)

Pregunta de investigación: ¿Es posible reaprovechar el efluente de la industria láctea tratado para su uso en sistemas hidropónicos?

1.2. Justificación

- a. Ambiental:** La presente investigación brindará un aporte al medio ambiente, reduciendo los impactos ambientales negativos significativos que los efluentes de la industria láctea generan en cuerpos de agua y suelo, de esta manera mitigar la contaminación generada, cumpliendo con los objetivos de desarrollo sostenible N°6: Agua limpia y saneamiento y N°15: Proteger la vida de los ecosistemas terrestres.
- b. Social:** Se beneficiará a la población circundante al lugar, brindándoles alternativas en la reutilización del efluente como fuente de nutrientes para el reaprovechamiento en cultivos hidropónicos, garantizando la seguridad alimentaria del lugar, con la finalidad de alcanzar el objetivo de desarrollo sostenible N°3: Salud y bienestar.
- c. Económica:** Se brindará una contribución económica puesto que se generará una nueva iniciativa de generación de ingresos a través del cultivo hidropónico a partir de un tipo de efluente, permitiendo a los pobladores del lugar utilizar los sistemas hidropónicos a producir sus alimentos, con el propósito de lograr el cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible N°12: Producción y consumo responsables.
- d. Tecnológica:** El proyecto de investigación contribuirá a la generación de conocimiento científico con la reutilización del lactosuero en sistemas de hidroponía, proponiendo una tecnología innovadora para el cultivo de especies vegetales comestibles, con el objetivo de cumplir con el principio de ingeniería verde N°11 al diseñar un sistema para la reutilización de componentes tras el final de vida útil del producto, asimismo con el objetivo de desarrollo sostenible N°9: Industria, innovación e infraestructura.
- e. Institucional/política:** La investigación es innovadora, por lo cual la propuesta planteada daría lugar a publicaciones futuras en revistas indexadas científicas, siendo una base y aporte científico a posteriores investigaciones relacionados al tema además que fortalecerá las líneas de investigación de la Universidad Católica de Santa María.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Aprovechar de forma sostenible los efluentes de industria láctea tratados como solución nutritiva para sistemas hidropónicos en la microcuenca lechera de Ayaviri-Puno.

1.3.2. Objetivo Especifico

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente lácteo crudo.
- Establecer un tratamiento efectivo para la reutilización del efluente lácteo mediante la evaluación de procesos de Coagulación-Floculación y precipitación química.
- Evaluar la eficiencia del efluente lácteo tratado y crudo como solución nutritiva para cultivos hidropónicos de las especies vegetales: *Lactuca sativa* (Lechuga), *Brassica oleracea* (Repollo) y *Solanum lycopersicum* (Tomate).

1.4. Hipótesis

Dado que se ha demostrado en diversas investigaciones científicas que, tras un tratamiento previo, el lactosuero residual generado en plantas queseras tiene un gran potencial como fuente de nutrientes para cultivos en sistemas hidropónicos, por tal, es probable que se pueda aprovechar de forma sostenible los efluentes de industria láctea tratados mediante precipitación alcalina evaluando diferentes valores de pH para la remoción de contaminantes, y posteriormente emplear el lactosuero tratado en diferentes diluciones como solución nutritiva para sistemas hidropónicos evaluando parámetros de desarrollo vegetativo (peso fresco, peso seco, número de hojas, altura de la planta).



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO

2.1. Diagnóstico situacional:

La mayoría de los países en el mundo atraviesan problemas graves y frecuentes en la disponibilidad de agua, con períodos comunes y extensos de sequía, bajas precipitaciones y veranos calurosos. La industria lechera, siendo una de las más contaminantes, contribuye a este tipo de problemas debido al volumen generado y la composición del lactosuero; debido a que este tiene un papel importante en la generación de impactos ambientales negativos a cuerpos de agua, esto conduce al agotamiento de oxígeno lo que lleva a cabo la eutrofización en receptores acuáticos. La importancia de este tipo de industria es notable, una gran cantidad de hogares en el mundo dependen de la producción lechera, además su aporte económico es significativo en muchos países; por ejemplo, en la Unión Europea la industria lechera aumentó en producción de 151 millones de toneladas en 1998 a 165 millones de toneladas en 2017 (Khan et al., 2020), lo que significa que este sector económico creció un 10%, lo que supone que en el crecimiento sea mayor a lo largo de los años.

En Perú la actividad ganadera y quesera juega un rol importante, especialmente en el sur del país. En Puno, la producción lechera es una de las principales actividades económicas desarrolladas a niveles altitudinales altos a más de 3000 m.s.n.m. (Quispe et al., 2019), por otro lado, Ayaviri es uno de los sectores lecheros más importantes localizado en la provincia de Melgar, siendo la Capital Ganadera del Perú, asimismo es considerada la principal microcuenca lechera del Departamento de Puno, con más de 1607 productores lecheros en esta zona (Tapia, 2018), por lo que muchas familias de este sector dependen de la producción lechera puesto que ésta constituye una fuente de ingreso.

Debido al gran tamaño de la industria lechera desarrollado en el área de estudio se genera vertimientos inadecuados de efluentes lácteos producidos por la industria quesera, afectando de

sobremanera a cuerpos de agua por un deficiente sistema de alcantarillado en la zona así como su vertimiento a la superficie del suelo y cuerpos de agua teniendo graves consecuencias en la biodiversidad; sin embargo, estas índices de crecimiento pueden generar importantes ventajas de desarrollo para el bienestar de la población, del ambiente y la salud de las personas.

Actualmente, no se desarrollan sistemas de hidroponía como una alternativa de solución frente a la problemática de generación y vertimiento del lactosuero; no obstante, esto traería consigo beneficios en la producción de especies vegetales comestibles para la población y la descontaminación del lugar.

El presente proyecto utilizó los efluentes generados por una microempresa en crecimiento de producción láctea en el Distrito de Ayaviri- Provincia de Melgar, en el Departamento de Puno. Esta investigación está relacionada con los proyectos de desarrollo agrario y agroindustrial de la región Puno, por lo tanto, debe tenerse en cuenta la elaboración de planes y proyectos de desarrollo agrario y agroindustrial. Con el proyecto se pretende promover la realización de ferias de productos alimenticios, agropecuarios y artesanales, y apoyar la creación de mecanismos de comercialización y consumo de productos propios de la localidad. Es importante que con la investigación se constituya organizaciones agrarias entre los agricultores y ganaderos, fortaleciendo el mejoramiento de sus labores productivas, así como los servicios de producción, capacitación, transformación, industrialización y comercialización de sus productos.

2.2. Antecedentes de la investigación

Durante los últimos años, la industria láctea se ha convertido en una de las agroindustrias a nivel mundial de más rápido crecimiento en diferentes niveles y gracias a la gran demanda de productos, es catalogada como una de las mayores fuentes de efluentes residuales industriales en el sector alimentario. La generación de efluentes producto de los procesos de las grandes industrias ha ido incrementando con el tiempo, de tal manera que aquellas empresas lecheras que operan a gran escala producen un volumen de efluente muy alto. Puesto que, por cada litro de leche procesado, esta genera alrededor de 0.2×10^{10} litros de agua residual (Akansha et al., 2020), a su vez la búsqueda de soluciones de manera rápida y eficaz es fundamental para proteger la naturaleza y evitar la contaminación, diversas soluciones se han planteado para la reducción de su contaminación.

El lactosuero residual es uno de los subproductos líquidos más comunes y abundantes al tener una concentración alta de carga orgánica (Elia et al., 2023). Este comprende aproximadamente entre 80 y 90% del volumen total de leche que ingresa al producto lácteo, contiene proteínas alimentarias y nutrientes de la leche como proteína de suero, lactosa, vitaminas y minerales (Achaw & Danso-Boateng, 2021). Sumado a esto, se generan otros residuos lácteos, que si bien generan contaminación; a su vez poseen un alto nivel de concentración de nutrientes, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sustancias orgánicas e inorgánicas (Ahmad et al., 2019). En la mayoría de los casos, las agroindustrias optan por verter las aguas residuales producidas al medio ambiente sin ningún tratamiento; lo que puede provocar problemas graves una vez que son liberadas en medios receptores, tales como las aguas superficiales y subterráneas. Por lo tanto, se considera importante el tratamiento de estas aguas antes de su descarga.

El tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria láctea resulta de vital importancia no solo para el medio ambiente, sino también para disminuir posibles riesgos a la

salud de las personas. Es posible obtener beneficios económicos y ambientales reutilizando este tipo de agua residual, existen múltiples tratamientos para tratar el lactosuero, tal como Lucakova et al. (2022) reportaron en su estudio la viabilidad de usar este tipo de efluente residual producto de la desmineralización del lactosuero (aguas residuales salinas) para formar parte de un medio de cultivo de espirulina *Limnospira maxima*, en su investigación determinaron la producción de biomasa obteniendo resultados favorables, en adición a ello el costo de usar el suero de queso desmineralizado para este tipo de investigación fue menor al 50% del costo en comparación al uso del medio zarrouk, el cual es el tipo de medio que normalmente se utiliza para el crecimiento de espirulina. Por otro lado, Sirmacekic et al. (2022) determinaron la cantidad total de residuos de suero en la industria láctea de algunas empresas en Turquía y de esta manera evaluaron la cantidad de energía potencial para brindar energía eléctrica a familias de este país.

De igual manera, Choi et al. (2020) demostraron que el lactosuero tiene propiedades para ser un combustible para la generación de energía a través de celdas de combustible enzimáticas empleando celobiosa deshidrogenasa, se investigaron factores del sistema, concentración de enzimas, pH al momento de la reacción y concentración inicial de la lactosa. En dicho estudio inmovilizaron la lactosa y caracterizaron el electrodo, demostrando que el lactosuero es óptimo para la generación de energía obteniendo alto rendimiento con una densidad de potencia hasta en $2.973 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ con las condiciones óptimas de concentración de enzima de 47,07 mg/ml y concentración inicial de lactosa de 100 mm a pH 4,5.

Ahora bien, el lactosuero contiene una concentración importante de proteínas que pueden ser reaprovechados tal como lo hicieron Dinkçi et al. (2023), en donde realizaron un estudio para producir bebidas probióticas enriquecidas con 1% de kiwi en polvo a partir de suero de leche de cabra, oveja y vaca adicionando *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* y las bacterias probióticas *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium animalis subsp. Lactis* para ser utilizados para la fermentación. Esta investigación concluyó que el lactosuero aumentó

significativamente el contenido de proteína y la acidez de las bebidas ($p < 0,05$), mejorando la viabilidad de las bacterias probióticas y *S. thermophilus*, los compuestos fenólicos totales (TPC) y la actividad antioxidante de las bebidas. El lactosuero de cabra aumentó la viabilidad de bacterias probióticas y niveles de aminoácidos libres en bebidas, aminoácidos esenciales y de cadena ramificada con valores de 146,19 mg/100 g y 70,31 mg/100 g, respectivamente ($p < 0,05$). Por consiguiente, mientras que la producción con lactosuero de cabra, vaca y oveja mejoró la calidad en comparación con el control, las bebidas elaboradas con lactosuero de cabra superaron la calidad. La producción de una bebida probiótica funcional con lactosuero de cabra es prometedora para la tecnología láctea, especialmente este tipo de lactosuero que es menos valorado en la industria láctea.

Por lo que, queda demostrado que el lactosuero tiene múltiples usos, tales como alimento para animales producción de biogás y energía.

Desde otro punto de vista, la hidroponía se ha convertido en una gran alternativa para el reaprovechamiento de efluentes industriales. Es así como, a través de los años, el cultivo hidropónico ha sido una técnica de agricultura que tuvo un desarrollo rápido, empleando nutrientes minerales diluidos en agua. No hay ninguna tecnología perfecta; sin embargo, la hidroponía es una tecnología rentable, ecológica y facilita el control de enfermedades (Magwaza et al., 2020a).

Es así como Lee et al. (2021) evaluaron la viabilidad de tratar aguas residuales domésticas anaeróbicamente como solución nutritiva en el cultivo hidropónico de lechuga, obteniendo resultados favorables los cuales sugieren que este tipo de efluente tratado significa un recurso atractivo, lo cual significa que podría utilizarse como medio nutritivo en hidroponía al permitir la aireación para la nitrificación y el equilibrio del pH. De acuerdo con diversas investigaciones, los efluentes deben ser tratados para poder emplear su uso en búsqueda de soluciones, es por lo

que la aplicación de un pretratamiento y/o tratamiento primario usualmente incluye el tratamiento físico de las aguas residuales, tal como lo desarrollaron Magwaza et al. (2020), empleando un tanque séptico para eliminar los sólidos sedimentables y de esta manera otorgar un tratamiento anaeróbico. La empleabilidad de las aguas residuales urbanas para el riego agrícola tiene más potencial, en especial cuando se incorpora la reutilización de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, que son esenciales para la producción de cultivos. Entre las tecnologías de tratamiento actuales aplicadas en la reutilización de aguas residuales urbanas para la agricultura, el sistema hidropónico se identifica como una de las tecnologías que se pueden integrar con el tratamiento de aguas residuales. Recsetar et al. (2020) evaluaron su uso como biorreactor de lecho hidropónico recirculante para reducir significativamente la concentración de contaminantes de preocupación emergente de aguas residuales que pasaron por un tratamiento terciario, en esta experimentación 16 del total de un total de 46 contaminantes emergentes disminuyeron su concentración en un periodo de 5 días.

Por otro lado, Pilatakis et al. (2013) han demostrado que es posible el uso de aguas residuales en hidroponía, obteniendo resultados favorables en el crecimiento y desarrollo vegetativo del pepino, cuando utilizaron agua residual domestica primaria y secundaria tuvieron un rendimiento alto en la primera semana de crecimiento, de igual manera esto no afectó el desarrollo de la biomasa vegetal de la raíz, es así que este estudio ha dado a conocer el valor nutritivo que tienen las aguas residuales y que sirven como aditivos en las necesidades de los cultivos. Bouchra et al. (2018) en este sentido, desarrollaron dos métodos distintos para tratar efluentes lácteos, el primero se centró en un tratamiento fisicoquímico aplicando coagulación-floculación obteniendo reducciones en el porcentaje de algunos parámetros iniciales como: la DBO (aproximadamente 30%), disminución de turbidez en un 49%, disminución de un 78% de SS y 20% de reducción de fósforo inicial; demostrando que un tratamiento fisicoquímico permite reducir la DQO, que es el mayor problema en la descarga de efluentes.

La aplicación de hidroponía utilizando aguas residuales ha sido objeto de análisis en investigaciones anteriores, como el estudio realizado por Xavier et al. (2019). En dicha investigación, evaluaron los efectos de diferentes tratamientos de aguas residuales en el cultivo de tres variedades de lechuga, y encontraron que las aguas residuales domésticas, una vez tratadas y optimizadas, favorecieron un aumento significativo en el número de hojas por planta.

Desde otra perspectiva, en búsqueda de soluciones a esta problemática, Prazeres et al. (2020) investigaron el rendimiento de cinco procesos de precipitación química (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl , $Ca(OH)_2$ y $NaOH$) para el pretratamiento de lactosuero, determinando que la precipitación ácida (H_2SO_4 , HNO_3 y HCl) resultó adecuada para reducir valores de fósforo total (hasta 57,0%), turbidez (hasta 90,3%) y los fenoles totales (hasta 49,9%). Por otra parte, la precipitación básica ($Ca(OH)_2$ y $NaOH$) presentó valores elevados de pH y conductividad en el efluente al aplicar condiciones extremas (pH 12 y 13); no obstante, estas precipitaciones mostraron una reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (hasta un 43,7 %) y fósforo total (hasta un 95,6 %), la eliminación de la turbidez (hasta un 98,9 %) y fenoles totales (hasta un 65,5 %). Demostrando que, gracias a tratamientos como estos, es viable utilizar el lactosuero tratado por precipitación como solución hidropónica para diferentes especies.

Sumado a esto, Correia et al. (2020) pusieron en marcha su investigación empleando un tratamiento manual de aguas residuales domésticas por precipitación química para la producción de soluciones nutritivas hidropónicas, se realizó un pretratamiento integrado que combina la precipitación de cal con agitación manual (LCPm) y carbonatación atmosférica de CO_2 para tratar aguas residuales de baja biodegradabilidad y alto contenido de materia orgánica/nutrientes para obtener un efluente que pueda ser utilizado como solución nutritiva para el desarrollo vegetativo de la lechuga, obteniendo resultados favorables y una metodología que no implica grandes costos; asimismo gracias a la agitación manual no fue necesaria la empleabilidad de energía proveniente de un equipo especializado.

Por estas razones, Egbuikwem et al. (2020) evaluaron el potencial del proceso biológico de crecimiento suspendido para la recuperación y posterior reutilización de aguas residuales provenientes de industrias farmacéuticas, textiles, petroleras, domésticas y escurrientías agrícolas como solución nutritiva para la lechuga y remolacha. Inicialmente estudiaron la germinación y características fenológicas de los cultivos bajo cuatro regímenes de riego: agua corriente, agua residual mixta, agua residual tratada con el proceso biológico de crecimiento suspendido durante 45 días dando como resultado que los cultivos comestibles regado con las aguas residuales tratadas dieron resultados positivos, demostrando que la germinación de semillas y crecimiento de plantas con este tipo de tratamiento indican una solución para la reutilización de aguas residuales mixtas en la agricultura.

En realidad, el empleo de lactosuero para emplearlo en soluciones hidropónicas es una gran alternativa para el tratamiento de efluentes industriales o domésticos y de esta manera, dar soluciones que ayuden a minimizar la contaminación ambiental generada por este tipo de efluentes. En este sentido, Bombana & Gai (2019) evaluaron el efecto del uso de lactosuero sobre parámetros de producción y calidad del cultivo hidropónico de maíz, esta experimentación tuvo un diseño de bloques al azar, aplicando cinco tratamientos con cuatro repeticiones. De esta manera, los tratamientos fueron: T1: Control con agua, T2: Agua y solución nutritiva, T3; Agua y tratamiento foliar, T4: Agua y suero diluido al 20% y T5: Agua y suero diluido al 50%, las semillas fueron trasplantadas a estas soluciones a los quince días de germinación, se evaluaron parámetros como: peso fresco y seco, evaluación bromatológica (parte verde y sistema radicular), longitud de brotes, materia seca, proteína cruda y extracto aéreo. Los resultados mostraron que el suero de leche tratado con agua utilizado como solución hidropónica tuvo resultados favorables en cuanto a producción total y comercial.

Desde esta perspectiva, Prazeres et al. (2016) determinaron en un estudio que la aplicación de procesos fisicoquímicos como lo es la precipitación de NaOH es viable para pretratar el

lactosuero; este proceso reduce la carga orgánica en aproximadamente la mitad, ocasionando que la alta biodegradabilidad del suero de leche pretratado alcanzado, permita que posteriormente puedan aplicarse procesos biológicos como tratamientos secundarios. Sumado a esto, la especie utilizada fue el tomate industrial *Lycopersicon esculentum*, el cual fue nutrido con el lactosuero pretratado. No obstante, el principal inconveniente fue el nivel de salinidad, es por ello por lo que este se diluyó con agua dulce antes de ser utilizado como solución nutritiva. Ahora bien, el nivel salino que es ocasionado muchas veces por el pretratamiento del lactosuero, puede controlarse y ser una excelente alternativa como solución hidropónica de diversas especies, así lo demostró una investigación, donde se utilizó el suero de leche tratado y diluido proveniente de las aguas residuales causadas por pequeñas y medianas fábricas productoras de queso para el riego de tomate Prazeres et al. (2014), siendo una solución para la gestión de subproductos de industria quesera, optimizando de sobremanera las características de los frutos y la disminución de descarga inadecuada de aguas residuales.

2.3. Marco teórico

2.3.1 Industria láctea en el Perú

Según la información proporcionada por el MIDAGRI (2022) durante el año 2022, el 90% de la producción nacional de leche cruda en Perú se destinó a la elaboración de productos lácteos, mientras que el 10% restante se utilizó para la cría de ganado y el autoconsumo familiar. En cuanto a la producción destinada a la elaboración de productos lácteos, se pueden distinguir dos categorías de demandantes de leche cruda. Por un lado, se encuentran las empresas procesadoras industriales, como Leche Gloria, Laive y Nestlé Perú, entre otras grandes y pequeñas empresas, que representan el 48% del acopio. Por otro lado, existen alrededor de 6,500 productores artesanales, que tienen principalmente presencia regional e interregional a través de la comercialización en mercados tradicionales de la capital (Gaviola et al., 2020). Estos productores artesanales representan el 42% del acopio de leche cruda. Las pequeñas y medianas empresas de la industria láctea, debido a su escala de operaciones, no realizan la actividad de acopio. En su lugar, identifican a ganaderos que produzcan leche de buena calidad y les compran directamente. En cuanto al transporte de la leche cruda, estas empresas se encargan de contratar los servicios de una empresa de transporte. En algunos casos, el ganadero puede realizar el transporte de la leche cruda hasta la planta de las empresas, y en esos casos, las empresas cubren los gastos de transporte de los ganaderos (Lozada et al., 2022). En resumen, la producción de leche cruda en Perú se destina principalmente a la elaboración de productos lácteos, y existen tanto empresas procesadoras industriales como productores artesanales involucrados en el acopio de leche cruda. Las empresas industriales suelen adquirir la leche directamente de los ganaderos, mientras que las pequeñas y medianas empresas artesanales suelen tener una presencia regional o interregional y comercializan en mercados tradicionales.

2.3.2 Lactosuero residual

El suero de leche es un líquido claro amarillo verdoso, su color es a causa de un pigmento

(lactoflavina o más conocida como vitamina B2), resultante del proceso de coagulación que tiene la leche en la elaboración del queso. Su densidad es ligeramente superior a la densidad del agua, el lactosuero a menudo posee todos los componentes de la leche, así como caseína y grasa en menor cantidad, es ligeramente ácido y bastante agradable. El lactosuero se obtiene al separar la caseína y la grasa. Este representa casi el 90% del peso de la leche utilizada para la elaboración del queso. Según el método para separar la cuajada del queso (coagulación ácida o enzimática), se extrae lactosuero dulce o ácido. De acuerdo con el tipo de procedimiento de separación de la cuajada del queso determinará una diferente composición del lactosuero (Trujillo et al., 1997).

De todos los residuos agroalimentarios, el lactosuero es uno de los principales residuos que genera contaminación en abundancia y presenta alta DBO, de 10 litros de leche se obtiene 1 kg de queso ocasionando 9 litros de lactosuero compuesto de lactosa, proteínas, lípidos y sales minerales (Divitiis et al., 2023).

2.3.2.1 Introducción del lactosuero al medio ambiente

El suero de leche es uno de los subproductos que ocasionan mayor contaminación en la industria alimentaria mundialmente, Ramírez & Chávez-Martínez (2017) sostienen que el lactosuero genera un grave problema ambiental una vez que es vertido al drenaje por su alto contenido de DQO y DBO llegando casi a compararse con las aguas residuales domésticas producidas por 45 personas al día.

Se debe plantear soluciones aplicando métodos fisicoquímicos o microbiológicos, utilizando microorganismos que consumen el oxígeno del agua para dar solución a esta problemática, la vida acuática en un río termina con tan solo un litro de lactosuero vertidos en 10 toneladas de agua, es por ello por lo que se ve el impacto significativo negativo en el medio ambiente en el vertimiento de este tipo de efluente (Asas et al., 2021).

La producción de derivados lácteos como el queso ocasiona graves problemas importantes debido a su contenido alto en lactosa, proteínas, grasa, minerales y vitaminas, esto sumando a las grandes cantidades de lactosuero generado al año (más de 145 millones de toneladas), donde la mitad es vertido al ambiente sin ningún tipo de tratamiento, de igual manera Guerrero-Rodríguez et al. (2012) sostienen que solo un porcentaje de suero de leche es aprovechado (cerca del 47%) de los 115 millones de toneladas generados, por lo que el resto ocasiona graves daños ecológicos.

Es importante investigar y realizar una revisión de posibles usos del lactosuero donde se priorice la recuperación de sales minerales, lactosa y proteína, permitiendo reaprovechar los componentes del lactosuero y evitar desecharlo como efluente, lo cual es costoso. Los procesos para el tratamiento del suero de leche requieren una gran inversión económica por lo que la mayoría de las empresas lácteas no cuentan con sistemas adecuados para el tratamiento del suero, lo que resulta en su vertimiento al medio ambiente.

No obstante, es necesario implementar tecnologías alternativas para obtener productos con propiedades nutricionales y funcionales que puedan ser utilizados en la formulación y elaboración de alimentos, agregando así un alto valor al proceso de recuperación del suero y evitando su pérdida. Además, el uso adecuado del lactosuero contribuye a prevenir la contaminación ambiental al evitar su vertimiento y promueve una alimentación adecuada al utilizarse como ingrediente en la fabricación de alimentos seguros para el consumo humano.

2.3.2.1.1 Impacto de la industria láctea en el medio ambiente

Si bien el lactosuero, es un alimento de alto valor nutricional, puede convertirse en un producto nocivo para el medio ambiente debido a las sustancias orgánicas e inorgánicas de su composición.

Por lo tanto, el suero, podría causar contaminación del agua y envenenamiento de los seres vivos. En otras palabras, la desagregación de sustancias orgánicas por microorganismos, especialmente proteínas o las sustancias resultantes de la oxidación podría tener efectos tóxicos en los organismos vivos (Altuntas & Hapoglu, 2019).

Los efluentes producidos por este tipo de industria pueden contener diversos contaminantes como: grasas, metales pesados, residuos de materia fecal, aceites, entre otros. En la producción del queso, quedan residuos luego de la elaboración y proceso de la leche.

Es así como el residuo líquido, más conocido como lactosuero posee sales, proteínas y otros componentes que pueden ser beneficios o dañinos para la salud y el medio ambiente. De esta manera, muchas industrias lácteas desechan el lactosuero por el sistema de alcantarillado, ocasionando que este sea un contaminante relevante para ríos y el propio suelo. Por ejemplo, en los suelos se produce una disminución en cuanto a rendimiento de las cosechas, pero además se observa el fenómeno de lixiviación. El lactosuero contiene nitrógeno soluble en agua, que puede ser arrastrado por el agua y llegar a diversos cuerpos acuíferos, incluidos los mantos freáticos. Este nitrógeno puede representar un peligro para la salud de los animales y humanos, ya que contribuye a la contaminación del agua y puede generar problemas de salud asociados a la ingesta de agua contaminada.

Por lo tanto, es importante buscar alternativas adecuadas para el manejo y uso del lactosuero, evitando su liberación descontrolada en el medio ambiente y promoviendo su aprovechamiento responsable en diversas aplicaciones industriales y alimenticias (Teniza, 2018).

Una sustancia con alto contenido de material orgánico como lo es este tipo de efluente provoca muchos tipos de impactos ambientales como lo es, una reducción de dosis de

oxígeno a los animales y vegetación endémica del medio, disminuyendo la biodiversidad. Este tipo de industria juega un rol importante en la industria alimentaria y ocasiona una gran contaminación por el vertimiento de sus efluentes en las aguas receptoras, es por ello por lo que debe darse un tratamiento previo de sus desechos líquidos antes de su vertimiento. El caudal que produce la industria láctea va a depender del consumo de agua en la planta procesadora de, que a su vez depende de los productos fabricados y de los procesos de cada fábrica. Las aguas residuales de esta industria contienen principalmente residuos de leche, productos diluidos y productos de limpieza.

Los constituyentes orgánicos en los residuos de la leche principalmente son: grasa de la leche emulsionada, lactosa y proteínas (como la caseína y la lactoalbúmina), sales y oligoelementos, a su vez muchas veces contiene también sacarosa. Estas sustancias orgánicas producidas por efluentes de las industrias lácteas provienen de los productos desechados y de los productos de limpieza y desagües sanitarios.

2.3.2.2 Propiedades fisicoquímicas del lactosuero

La composición del lactosuero es variable y va a depender de las características de la leche y de todos los procesos de la elaboración del queso; sin embargo, en términos generales el suero de leche quesero posee 4,9% de lactosa, 0,9% de proteína cruda, 6% de cenizas, 0,3% de grasa, 0,2% de ácido láctico y 93,1% de agua. Cerca el 70% del nitrógeno total, deriva de proteínas, que poseen un valor nutritivo superior al de la caseína, compuesta por β -lactoglobulina, α lactoalbúmina, inmunoglobulinas, la proteosa-peptona y las enzimas nativas (García et al., 2003). En la Tabla 1 se muestra la relación de la composición de la leche y sus productos, en cuanto al contenido de grasa este dependerá del que tuviera la leche empleada. Es así como si el contenido de grasa del lactosuero es superior al 0,1% se debe desnatar. La nata que se obtiene debe ser transformada en mantequilla o utilizada para

normalizar el contenido de grasa de los quesos. En la Tabla 2 se observa una descripción de la composición del lactosuero cuando es dulce y ácido.

Tabla 1.

Composición promedio de la leche, subproductos y residuos (mg/l).

| RESIDUOS GENERADOS | | | | |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| (mg/l) | | | | |
| Propiedad | Leche entera | Leche descremada | Suero de mantequilla | Suero separado |
| Sólidos Totales | 125.000 | 82.300 | 77.500 | 54.772 |
| Sólidos orgánicos | 117.000 | 74.500 | 68.800 | 49.612 |
| Caseína | 38.000 | 39.000 | 36.000 | - |
| Sólidos solubles | - | - | - | 54.656 |
| Nitrógeno Orgánico total | - | - | - | 1.300 |
| Amoniaco libre | - | - | - | 31 |
| Sodio | - | - | - | 648 |
| Potasio | - | - | - | 1.000 |
| Calcio | - | - | - | 350 |
| Magnesio | - | - | - | 78 |
| Fósforo | - | - | - | 450 |

Nota. La Tabla 1 representa algunos productos y subproductos de la leche producidos en la elaboración del queso. Tomado de *Aguares residuales de la industria láctea: I Naturaleza y*

composición de las aguas residuales: Colombia, Ambiente y Desarrollo (pp.88-89) por Baena et al. (1994). Revista Ambiente y Desarrollo.

Tabla 2.

Composición de lactosuero fresco.

| COMPONENTE | SUERO DULCE | SUERO ÁCIDO |
|---------------|-------------|----------------|
| Agua | 93 – 94% | 94 – 95% |
| Extracto seco | 6 – 7% | 5 – 6% |
| Lactosa | 4,5 – 5% | 3,8 – 4,2% |
| Ácido láctico | TRAZAS | < 0,8% |
| Proteínas | 0,8 – 1% | 0,8 – 1% |
| Ácido cítrico | 0,15% | 0,1% |
| Valor de pH | 6,45 | Alrededor de 5 |

Nota. La Tabla 2 muestra la composición de lactosuero fresco y sus porcentajes.

Tomado de *Lactología industrial* (pp.528) por Spreer (1991). Editorial Acribia.

2.3.2.2.1 Características fisicoquímicas del lactosuero

La industria láctea está dirigida a la producción de alimentos o productos a base de leche, como lo son: la leche pasteurizada, mantequilla, queso, yogurt, helado, leche en polvo y suero de leche. Para la fabricación de estos productos, se requieren muchos procesos, que utilizan agua en el lavado de equipos e instalaciones, sistemas de calefacción y refrigeración, entre otros mencionado por el Instituto Nacional de Ingeniería (INETI, 2001, p.23); aproximadamente se utiliza 15 L de agua por litro de leche procesada.

En consecuencia, esta industria se considera una fuente importante de contaminación, que produce muchos tipos de aguas residuales. El volumen de agua generado varía entre 0.2 y 10 L por litro de leche cruda (Vourch et al., 2008). El queso es un producto agrícola importante en el mundo. Las aguas residuales provenientes de la industria del queso se generan en una proporción promedio de 3 a 5 L por cada litro de leche procesada. El lactosuero quesero es un tipo de efluente rico en materia orgánica, sales minerales, nutrientes, aceites, grasas, acidez, salinidad y otros. La descarga directa de estos efluentes en el agua puede causar varios impactos en el medio ambiente y la salud pública (Prazeres et al., 2016).

El agua residual de lácteos crudos presenta altas concentraciones de materia orgánica, con valores aproximados de DQO de 1,500 a 18,500 mg/L⁻¹ y DBO de 350 a 12,900 mg/L⁻¹ debido a la pérdida de producto y materia prima arrastrada por el lavado durante el proceso de fabricación (Andrade et al., 2014 & Prazeres et al., 2014). Entre otras características que poseen estas aguas residuales son altas concentraciones de sólidos totales suspendidos (con valores aproximados de 250–1600 mg/L⁻¹), contenido de grasas, salinidad y nutrientes, como fósforo, nitrógeno y potasio (Andrade et al., 2014). El pH de las aguas residuales de productos lácteos crudos es generalmente ácido o neutro, presentando valores entre 3.28 y 7.5. (Andrade et al., 2014; Prazeres et al., 2014)

El lactosuero es un líquido compuesto principalmente de agua, materia grasa, lactosa, proteínas, vitaminas y minerales. Constituye un grave problema de resolver con respecto al tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea, aproximadamente entre 60 y 70% de la carga orgánica total de los efluentes generados por la industria láctea es lactosuero producto elaborado por este tipo de industrias, donde se transforma

en ácido láctico, esto se da en ausencia de oxígeno disuelto y el pH bajo resultante es lo que ocasiona la precipitación de la caseína.

Tabla 3.

Contenido de carga orgánica por producto fabricado en industrias lácteas.

| TIPO DE PROCESO | Kg. DBO por 1 000 Kg. de Leche | Kg. “equivalentes” (variación promedio) |
|---------------------------|---------------------------------------|--|
| Mantequilla | 0,19 – 1,91 | 0,86 |
| Queso natural | 0,30 – 4,04 | 2,00 |
| Helados | 1,90 – 21,04 | 5,54 |
| Leche condensada | 0,18 – 13,30 | 3,67 |
| Leche deshidratada | 0,40 – 13,50 | 6,06 |
| Suero condensado | 0,27 – 0,31 | 0,29 |
| Suero seco | 3,40 – 57,20 | 22,33 |

Nota. Tomado de *Aguas residuales de la industria láctea: Naturaleza y composición de las aguas residuales* (pp.528) por Baena et al. (1994). Revista Ambiente y Desarrollo. La Tabla 3 muestra el contenido de carga orgánica de los subproductos de la industria láctea, por lo que se puede resaltar que, la contaminación producida por estas aguas residuales se caracteriza debido a la presencia de lodos negros con fuertes olores a ácido butírico, causado por la descomposición de la caseína. No obstante, el lactosuero representa uno de los problemas más difíciles de resolver con respecto al tratamiento, puesto que tiene un alto nivel de dificultad por su rápida degradación con los métodos biológicos que normalmente se usan. Para darle un tratamiento óptimo deben hacerse estudios, debido a que según cada tipo de queso producido tendrá un suero con características diferentes.

2.3.2.2 Contaminantes y subproductos del lactosuero

El suero de queso es un subproducto que presenta desafíos ambientales debido a su alto volumen de producción y su composición química. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (OECD/FAO, 2021) entre 2018 y 2020, se produjeron alrededor de 24 millones de toneladas de queso anualmente en todo el mundo, y se espera que esta cifra aumente a 27,6 millones de toneladas para el año 2030.

El lactosuero contiene múltiples nutrientes importantes, como: lactosa, proteínas, lípidos, sales minerales, ácidos láctico y cítrico, y compuestos no proteicos como urea, ácido úrico y vitaminas del grupo B. No obstante, también presenta una alta carga de materia orgánica, especialmente lactosa, proteínas y grasas, lo que se expresa en términos de DBO y DQO (Amado et al., 2016). Por otro lado, la lactosa es la encargada principal de las altas cargas orgánicas.

Los contaminantes del lactosuero ocasionan impactos significativos negativos en el medio ambiente como: agotamiento de oxígeno, la toxicidad y la eutrofización, esta última causada por altas concentraciones de nitrógeno y fósforo presentes en el suero (Zhou et al., 2019).

Es de vital importancia resaltar que la composición del lactosuero y sus características fisicoquímicas dependen de la fuente de leche utilizada (vaca, cabra u oveja), la cantidad de agua, los detergentes y los agentes desinfectantes utilizados durante el proceso de fabricación del queso.

En la Tabla 4 se expone valores de diferentes subproductos del lactosuero según diversos autores e investigadores.

Tabla 4.*Parámetros fisicoquímicos del lactosuero.*

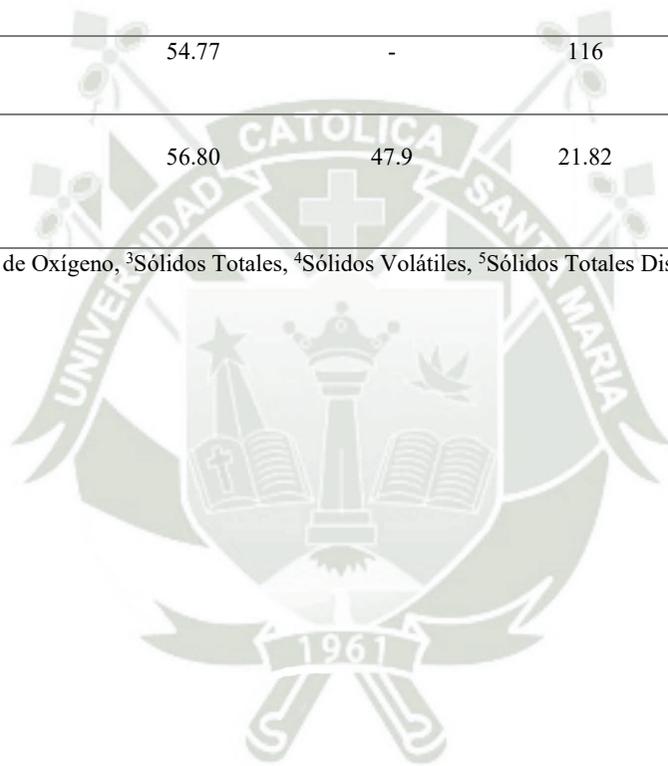
| Parámetros | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|--|---|---|---|---|--|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| N.º | pH | DQO ¹ (g/L ⁻¹) | DBO ₅ ² (g/L ⁻¹) | Carbohidratos (g-glucosa/L ⁻¹) | ST ³ (g/L ⁻¹) | SV ⁴ (g/L ⁻¹) | STS ⁵ (g/L ⁻¹) | Proteínas (g/L ⁻¹) | Lactosa (g/L ⁻¹) | CE ⁶ (mS/cm) | Referencia |
| 1 | 3.62 | 62.33 | - | - | 57 | 53 | - | - | - | 6.45 | Athanasiadou et al. (2023) |
| 2 | 6.38 ± 0.02 | 14.08 ± 1.68 | - | - | 62.85 ± 1.28 | 65.25 ± 1.23 | - | - | - | 5.39 ± 0.11 | Soto (2022) |
| 3 | 6.50 | - | - | - | - | - | - | 6 - 10 | 46 - 52 | - | Williams & Dueñas (2021) |
| 4 | 6.93 | 23.88 | 7.96 | - | - | - | - | - | 40 - 50 | 5.54 | Apaza-Aquino (2021) |
| 5 | - | 1.08 ± 0.06 | - | - | 96.97 ± 0.41 | 88.95 ± 0.49 | - | - | - | - | Rincón-Pérez et al. (2021) |
| 6 | 6.01 | 4.11 | - | - | - | - | - | - | - | - | Hosseinelou (2021) |
| 7 | 5.21 ± 1.30 | 107.31 ± 2.70 | - | 70 ± 11.80 | 115.30 | 57.84 ± 18.97 | 77.39 ± 18.90 | 34.45 | - | - | Pérez-Morales et al. (2021) |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|---------|-----------|-------|-----------|---|-------------|----------------|----------|----------------|-------------------------------|
| 8 | 6.20- 6.40 | - | - | - | - | - | - | 0.60 - 0.65 | 4.50 – 5 | - | Ruiz (2019) |
| 9 | 4.40 – 4.50 | - | - | - | 66 | - | - | 6 - 7 | 42 | - | Franco & Murillo (2019) |
| 10 | 6.17 | 71.40 | 36.50 | - | 31.64 | - | 28.37 | - | - | - | Kaur et al. (2018) |
| 11 | 5.34 | 20.42 | - | 15.67 | 15.24 | - | 14.40 | - | - | - | Kargi & Uzunçar (2012) |
| 12 | 4.30 | 36.65 | 80.14 | - | - | - | 55.60 | - | - | 14.78 | Zárate et al. (2011) |
| 13 | 6.00 - 6.50 | 50 - 70 | 27 - 36 | - | 55.65 | - | 10 - 15 | - | 50 - 60 | - | Ebrahimi et al. (2010) |
| 14 | 6.400 – 6.60 | - | - | - | 70 | - | - | 6 - 7 | 51 | - | Parra (2009) |
| 15 | 4.70 | 86.30 | - | - | - | - | 6.90 | - | 42.60 | - | Azbar et al. (2009) |
| 16 | 4.46 ± 0.30 | 60 ± 10 | 40 ± 2.55 | - | 59 ± 0.50 | - | 1.50 ± 0.23 | 1.25 ± 2 | - | 7.60 ± 0.15 | Gannoun et al. (2008) |
| 17 | 5.80 | 73.40 | 29.50 | - | - | - | 7.20 | - | - | - | Janczukowicz et al. (2008) |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-------------|------------------|------------------|---|-------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|---|------------------------------|
| 18 | - | 100 | 2.80 | - | - | - | - | 1.42 | 43.92 | - | Yorgun et al. (2008) |
| 19 | 4.90 ± 0.30 | 68.60 ± 3.30 | 37.70 ± 2.80 | - | 59.3 ± 0.38 | 56.10 ± 0.36 | 1.35 ± 0.06 | 2.71 ± 0.05 | 45.90 ± 0.88 | - | Saddoud et al. (2007) |
| 20 | 3.80 - 6.30 | 60.30 - 66.70 | 35.50 - 46.00 | - | - | - | 4.10 - 10.00 | - | - | - | Blonskaja & Vaalu, (2006) |
| 21 | 4.20 | 102.1 | - | - | 70.90 | - | - | - | 49.20 | - | Ferchichi et al. (2005) |
| 22 | - | - | - | - | 58.7 | - | - | 0.72 | 39 | - | Rektor & Vatai (2004) |
| 23 | 4.5 - 5.00 | 73 - 86 | - | - | - | - | 20 - 22 | - | - | - | Farizoglu et al. (2004) |
| 24 | 4.9 | 74.20 | - | - | 66.83 | - | 22.15 | - | 50 | - | Ghaly & Kamal (2004) |
| 25 | 3.92 | 74.50 ± 0.40 | - | - | - | - | 9.4 ± 0.5 | - | - | - | Ergüder et al. (2001) |
| 26 | 6.94 - 7.22 | 21.99 | 12.60 | - | 29.37 | 8.69 | - | - | - | - | Sierra et al. (1999) |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------------|---------|---|-------|------|-------------|---------|------------|---|----------------------------|
| 27 | - | 60 - 80 | 30-50 | - | - | - | - | 6.8 | 45 - 50 | - | Siso (1996) |
| 28 | - | 68.80 ± 11.50 | - | - | 3.19 | 33.7 | 1.30 ± 1.14 | - | - | - | Malaspina et al. (1996) |
| 29 | 6.45 | - | 30.10 | - | 54.77 | - | 116 | 0.8 - 1 | 45.57 - 51 | - | Baena et al. (1994) |
| 30 | 5 | 73.40 | 40 - 60 | - | 56.80 | 47.9 | 21.82 | - | - | - | Ghaly & Singh (1989) |

Nota. ¹Demanda Química de Oxígeno, ²Demanda Bioquímica de Oxígeno, ³Sólidos Totales, ⁴Sólidos Volátiles, ⁵Sólidos Totales Disueltos, ⁶Conductividad Eléctrica.



2.3.2.3 Usos de lactosuero

En la actualidad, existen muchas diversas aplicaciones para la utilización del suero de leche, debido a que es una proteína de calidad alta y es accesible (Luhovyy et al., 2007) por lo que representa un residuo con alto potencial para su reutilización. Un uso común (aproximadamente el 50% del lactosuero total generado en las industrias) se usa para alimento de animales. En otros países como Japón y Nueva Zelanda el lactosuero se usa para la elaboración de bebidas lácteas, dentífricos, pomadas y en productos cosméticos (Poveda, 2013). Por otro lado, las bebidas son una producción común y son una fuente barata de proteína pro lo que a escala comercial representa una ventaja (Shaikh et al., 2021).

2.3.2.3.1 Usos tradicionales

El suero de queso ha tenido diversos usos tradicionales y ha sido aprovechado de diferentes maneras a lo largo del tiempo. Inicialmente, era utilizado de manera incipiente en sistemas porcinos de traspatio o desechado junto con las aguas residuales, lo que contribuía a la contaminación ambiental.

Sin embargo, debido a su bajo costo y al creciente interés en aprovechar sus nutrientes, el lactosuero ha encontrado diversas aplicaciones en distintas industrias. Algunos de los usos tradicionales y más comunes son los siguientes (Williams & Dueñas, 2021):

- Alimentación animal: Se utiliza para alimentar cerdos y en la elaboración de requesón, obteniendo proteínas y grasas valiosas a partir del suero de leche.
- Confitería y elaboración de jarabes: Se emplea como materia prima para diversos alimentos debido a sus propiedades endulzantes.

- Bebidas: Se utiliza en la elaboración de bebidas comunes, saborizadas y fermentadas, incluyendo bebidas probióticas.
- Industria láctea: Se emplea en la producción de kéfir, ácido láctico y cultivos iniciadores.
- Obtención de productos lácteos: Se utiliza en la obtención de suero en polvo y aislado de proteína de suero.
- Producción de biocombustibles: Se emplea para la elaboración de bioetanol, biopolímeros y biogás, así como en la producción de metanol y electricidad.
- Industria farmacéutica y cosmética: Se utiliza en la obtención de penicilina, en la elaboración de productos cosméticos, pastas dentífricas y pomadas antifúngicas.
- Alimentación humana: Se emplea como suplemento alimenticio para deportistas, en la producción de concentrados naturales y azucarados, y en la extracción de proteínas.
- Otros usos: También se ha utilizado en la producción de resinas sintéticas, materias curtientes y como sustituto de leche en la elaboración de manjar con nueces.

Además de los usos tradicionales, el lactosuero ha sido objeto de investigación y desarrollo en diversas áreas, lo que ha ampliado aún más su gama de aplicaciones. Desde su utilización como alimento para animales hasta su aprovechamiento en la industria farmacéutica y cosmética, el lactosuero demuestra ser un subproducto valioso y versátil de la industria láctea.

2.3.2.3.2 Aplicación del lactosuero en la elaboración de bebidas

El lactosuero contiene muchos nutrientes importantes como los aminoácidos, estos podrían ser usados para la fabricación de diferentes tipos de bebidas reutilizando el lactosuero. Se han sido realizado muchos estudios para determinar diversas alternativas para la utilización de lactosuero y de esta manera reducir la contaminación ambiental. Dentro de todos los productos que podrían producirse a bajos costos de producción, buen grado de calidad alimenticia y aceptable sabor, están: las bebidas refrescantes, fermentadas, y alcohólicas, derivados de lactosa, entre otros.

Dentro de los múltiples usos del lactosuero, Alais (1985) elaboró una clasificación de las bebidas de lactosuero.

1. Bebidas gasificadas, dulces, obtenidas a partir del lactosuero sin proteínas.
2. Bebidas lácteas con proteína, obtenidas por un proceso de homogenización con la nata.
3. Bebidas alcohólicas: Se usa en cervecería, así como un vino de lactosuero.

2.3.2.3.3 Aplicación del lactosuero en alimentos

El lactosuero es un sustrato versátil para la producción de diversas bebidas y otros productos derivados. Para utilizarlo en la industria alimentaria, se necesita de procesos biotecnológicos y fisicoquímicos a nivel industrial (Prazeres et al., 2012). Entre los productos que pueden elaborarse con lactosuero se encuentran productos de panadería, confitería, carnes, pescados y alimentos especiales como fórmulas infantiles y alimentos dietéticos.

Las proteínas del suero de leche, como la β -lactoglobulina, la α -lactoalbúmina y la albúmina de suero sanguíneo, son excelentes para la encapsulación debido a sus propiedades activas de superficie. Estas proteínas pueden ser utilizadas como material de pared y emulsionante en la encapsulación de ingredientes. La lactosa, presente en el lactosuero, se recupera principalmente mediante procesos de cristalización y se utiliza en alimentos, fórmulas infantiles y como recubrimiento de tabletas farmacéuticas.

El lactosuero también puede ser utilizado como sustrato de fermentación para la producción de diversos bioproductos. Los componentes heterogéneos presentes en el suero, como lactosa, proteínas, grasas, vitaminas y minerales, brindan nutrientes para el crecimiento de microorganismos.

En resumen, el lactosuero es una valiosa fuente de materias primas para una amplia variedad de productos alimenticios y bioproductos. Su versatilidad y su potencial en aplicaciones industriales lo convierten en un recurso valioso en la industria alimentaria y más allá. Debido a que el suero de leche es un sustrato significativo para la elaboración de bebidas, también se pueden usar varios componentes para obtener otros productos a base de lactosuero. Para la utilización del lactosuero en la industria alimentarias se aplican procesos biotecnológicos y fisicoquímicos para su utilización de manera industrial (Prazeres et al., 2012). Algunos productos que pueden elaborarse con lactosuero son: productos de panadería, confitería, carnes y pescados, alimentos especiales (fórmula infantil, alimentos dietéticos).

2.3.2.3.4 Utilización del lactosuero como fuente de proteínas

Ghaly & Singh (1989) demostraron que la mayoría de los productos de lactosa se recuperan del suero mediante procesos de cristalización, la lactosa es utilizada principalmente como componente de fórmulas infantiles, alimentos y como agente de relleno de tabletas en el mundo farmacéutico.

2.3.2.3.4.1 Proteínas del lactosuero como fuente de nutraceuticos

Las proteínas de suero se consideran nutraceuticos o biocéuticos funcionales (sustancias consideradas alimentos o derivadas de ellos que sirven para tratar o prevenir enfermedades, ya que ejercen actividades biológicas notables). Desde el punto de vista nutricional. En general, las proteínas de suero de queso son una fuente significativa de aminoácidos esenciales por medio de péptidos biológicamente activos.

2.3.3 Hidroponía

2.3.3.1 Cultivos hidropónicos

El sistema hidropónico es una prometedora biotecnología agrícola y ambiental para una producción de alimentos y un tratamiento y reutilización de aguas residuales más controlados, aumentando los rendimientos de los cultivos y reduciendo los riesgos relacionados con la reutilización de aguas residuales en el suelo. Esta biotecnología agrícola y ambiental es un proceso basado en el uso de recursos económicos de agua, materia orgánica y nutrientes (aguas residuales crudas o tratadas) para el crecimiento y desarrollo de un complejo sistema biológico constituido por plantas productoras de frutas, vegetales y beneficiosas. microorganismos En

consecuencia, los productos (frutas u hortalizas), que tienen valor económico en el mercado, se generan en este complicado sistema biológico (Prazeres, et al., 2014).

Por otro lado, aquellas plantas que tienen frutos son capaces de capturar, absorber y acumular ciertos nutrientes de las aguas residuales, permitiendo otorgar un tratamiento de las aguas residuales mediante un proceso biológico.

2.3.4 Hidroponía con aguas residuales

2.3.4.1. Hidroponía: Usos y eficiencia

Para tener un uso eficiente del agua es importante incorporar sistemas sostenibles agrícolas, en especial cuando en la actualidad muchos países sufren periodos de sequía. De esta manera, en regiones áridas utilizar sistemas hidropónicos para cultivar alimentos es una opción importante para darle solución a tal problema. La aplicación de la hidroponía es un sistema eficaz para producir hortalizas y alimentos, con un ahorro aproximadamente de 50 a 70% de agua, de esta manera las tasas de evaporación, escurrimiento superficial y percolación se reducen. Estos porcentajes de ahorro de agua en cultivos se reflejan más en un ambiente protegido como los invernaderos. De esta manera, desde un punto de vista fisiológico para que una planta forme 1 gramo de masa seca, necesitará 500 gramos de agua transpirada (Herrera, 2019).

Por ejemplo, una lechuga que tiene 500 g. de masa fresca y posee una concentración de agua cerca del 90%, se estima que para que esta planta consiga crear el 10% de masa seca (aproximadamente de 50 g), va a necesitar un ciclo de vida de 25.000 g. de agua (25 litros).

Sin embargo, hay que considerar que la evaporación, percolación y el flujo superficial pueden

triplicar el consumo de agua, pudiendo llegar a 75 L. por planta y ciclo. No obstante, si se aplica hidroponía, se calcula que el consumo de agua para el crecimiento de esta misma planta se aproxime al consumo del agua transpirada, es decir, 25 litros, representando una significativa economía del agua (Herrera, 2019).

2.3.4.2. Aguas residuales domésticas e hidroponía

La calidad del agua de las aguas residuales tratadas depende en gran medida de la calidad del suministro de agua municipal, la naturaleza de los residuos añadidos durante el uso y grado de tratamiento que han recibido las aguas residuales.

Los nutrientes de las aguas residuales municipales tratadas proporcionan fertilizantes de valor para la producción agrícola, pueden contribuir al crecimiento de los cultivos, pero se necesita un seguimiento periódico para evitar un suministro de nutrientes desequilibrado (Pedrero et al., 2010).

Un estudio elaboró un sistema de depuración de aguas residuales con un sistema hidropónico (NFT), desde el primer mes de instalación y durante los seis meses siguientes, alcanzaron los límites máximos permisibles para su vertimiento.

Durante este período los sistemas de raíces no se saturaron y no hubo sedimentación en el fondo de la zanja. Las aguas residuales parecían proporcionar los elementos necesarios para el crecimiento y una actividad fisiológica normal en las plantas (Vaillant et al., 2003).

2.3.4.3. Hidroponía con lactosuero

Existen pocos estudios acerca de la hidroponía con efluente lácteo debido a que la reutilización

de este tipo de efluente se ve en otros productos; sin embargo, se resalta las propiedades del lactosuero para las plantas y cultivo de hortalizas.

2.3.4.3.1. Reutilización y tratamiento de aguas residuales por sistema hidropónico para la producción de alimentos

Las aguas residuales domésticas e industriales constituyen un tema difícil tanto desde el punto de vista ambiental como de salud pública. Estas aguas residuales presentan altos contenidos de materia orgánica y, en ocasiones, un nivel de salinidad problemático según el tipo de agua residual (Son et al., 2020).

Por tanto, la selección de los procesos óptimos que componen la línea de tratamiento para los diferentes tipos de aguas residuales es una cuestión compleja. Es importante que los procesos de tratamiento de aguas residuales permitan no solo la reducción de la contaminación, sino también la generación de productos valiosos. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha recomendado el tratamiento y reutilización de aguas residuales para el manejo y control de la contaminación en los diversos recursos hídricos (EPA & AID, 2004), jugando un papel fundamental en el uso sustentable del agua.

Esta opción permite la reducción de la aplicación comercial de fertilizantes, desarrollo de plantas productoras de hortalizas y frutas, y utilización de fuentes de agua de bajo costo. Plantas, como Mignonette Green, lechuga romana, espinaca de agua, tomate, berenjena y pepino han demostrado capacidad para crecer en sistema hidropónico y acuaponía provisto de aguas residuales o solución nutritiva para producir productos valiosos y reducir la materia orgánica medida por DQO (20% -86%) y DBO (43% -91%), TSS (69% -99%) y

nutrientes, como P (5% -77%), N (9% -80%) y K (16% -28%) de aguas residuales o soluciones nutritivas domésticas / municipales y de pescado (Vaillant et al., 2003). Sin embargo, quedan varios tipos de aguas residuales agroindustriales e industriales sin explotar como fuentes de agua, materia orgánica y nutrientes para sistemas hidropónicos compuestos por plantas y hortalizas productoras de frutas.

La reutilización de aguas residuales por sistema hidropónico debe planificarse cuidadosamente y ser monitoreado para prevenir la contaminación humana a través de microorganismos y/o productos químicos.

2.3.4.3.2. Proceso de cultivo en solución hidropónica

Seleccionar correctamente las especies de cultivos es un papel importante en el alcance del sistema hidropónico con aguas residuales tratadas, ya que luego de ser germinadas en bandejas de germinación serán alimentadas con solución hidropónica mediante la absorción directa de nutrientes.

No existe alguna metodología disponible para seleccionar plantas que sean adecuadas para el sistema hidropónico de aguas residuales, sin embargo, las verduras como tomates, pepinos, lechuga y flores cortadas son comúnmente utilizados debido a su desarrollo y producción con solución hidropónica debido a su corto ciclo de crecimiento que permite tener un mejor control y estandarización del proceso de cultivo. Desde la perspectiva del mercado, la disponibilidad local y los productos que tienen más consumidores.

Se han reportado muchos beneficios respecto al uso de aguas residuales tratadas en sistemas hidropónicos para producir vegetales. Estudios realizados en la producción

agrícola comercial evidenció que las aguas residuales combinadas con el cultivo hidropónico redujeron considerablemente los riesgos de contaminación por microbios de los productos frescos, esto podría atribuirse al menor contacto entre el agua de riego y las partes comestibles de la planta (Magwaza et al., 2020).

2.3.4.3.2.1. Lechuga

La siembra de lechuga requiere tiempo por lo que es conveniente hacer el sembrío en bandejas de germinación, *Lactuca sativa* es una planta que a menudo se cultiva para su ingesta. En promedio, un agricultor puede obtener lechugas arropolladas de 11.000 a 12.000 kg/ha de tierra. Para el cultivo de lechuga, las plántulas se cultivan en bandejas de germinación en un medio controlado y luego se trasplantan (Tiw-an et al., 2020).

2.3.4.3.2.2. Tomate

El tomate *Solanum lycopersicum* es una hortaliza reconocida por sus valores nutritivos y medicinales. Muchas veces se presentan algunas deficiencias en los procedimientos tradicionales de producción, algunos de ellos resultan en una mala germinación, plántulas de mala calidad y, a veces, los agricultores enfrentan problemas para cultivar plántulas de tomate a su debido tiempo en condiciones ambientales adversas. Según Maya et al. (2020). Esta técnica de producción en vivero tiene el potencial de producir plántulas sanas en poco tiempo e incluso en condiciones climáticas adversas.

2.3.4.3.2.3. Repollo

El repollo en la actualidad tiene una posición relevante en la cultura y la gastronomía tradicional en muchos países, representa una parte esencial de la dieta humana debido a que es accesible y existe disponibilidad en los mercados locales y es un gran aporte de vitaminas (C, K, A y folato) (Uuh-Narvaez & Segura-Campos, 2021). En adición a ello, el repollo contiene una gran cantidad de metabolitos secundarios, diversas investigaciones mencionan que, Costa et al. (2020) indican que, a pesar de los altos costos de los sistemas hidropónicos, se suelen recomendar cultivos con ciclos cortos y mayor rentabilidad como el repollo por su tolerancia a diversas condiciones y el desarrollo vegetativo.

2.4. Marco legal

2.4.1. Normativa Internacional

- Según el Reglamento (CE) N.º 852/2004. Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo (2004), donde se hace referencia a la higiene de los productos alimenticios, se establece normas generales para la higiene de los alimentos en la Unión Europea, incluyendo la producción y comercialización de productos lácteos.
- De acuerdo con el Reglamento de Ejecución N.º 854/2004. Reglamento sobre Controles Oficiales de Productos de Origen Animal destinados al Consumo Humano (2004), se establece las normas para los controles oficiales de productos de origen animal destinados al consumo humano, incluidos los productos lácteos.

- En el Reglamento (CE) N.º 1881/2006. Reglamento sobre Contaminantes en los Alimentos (2006), se definen los límites máximos para diversos contaminantes en los alimentos, incluidos los productos lácteos.

2.4.2. Normativa Local

- De acuerdo con la Constitución Política del Perú (1993), en el Artículo 22 del Capítulo I, se establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; asimismo en el Capítulo II en el Artículo 67 se hace mención del uso sostenible de los recursos naturales.
- Según el D. L 25902-1992. Ley Orgánica del Ministerio de Agricultura (1992), en el Artículo 19 se hace mención que el Instituto Nacional de Recursos Naturales es el Organismo encargado de promover el uso racional y la conservación de los recursos naturales.
- En el D.S. N.º 034-2008-AG. Reglamento de la Ley de Inocuidad de los Alimentos (2008), se hace mención en Artículo I del Título I que, este reglamento tiene por objeto establecer normas y procedimientos generales para la aplicación y cumplimiento del Decreto Legislativo N.º 1062. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Inocuidad de los Alimentos (2008), en concordancia con los Principios Generales de Higiene de los Alimentos del Codex Alimentarios.
- De acuerdo con la Ley N.º 28611. Ley General del Ambiente (2017). En esta ley se brinda un marco general sobre los derechos y deberes de los ciudadanos frente al medio ambiente, se da a conocer el derecho a vivir en un ambiente saludable y la contribución activa a la gestión

ambiental adecuada, se hace referencia a los principios de sostenibilidad, precautorio, preventivo, internalización de costos y responsabilidad ambiental.

- En el D.L. N°1278. Decreto Legislativo N°1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2017), se presenta los derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos. Asimismo, en el Título II, Capítulo II, Artículo 7 se hace mención la reutilización de los residuos.
- En el D.S N° 004-2017-MINAM. Decreto Supremo que Aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (2017), se hace mención en el Artículo III a la categoría 3 de agua en la Subcategoría D1, donde se indica que son aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación realizada en esta tesis de tipo experimental, el objetivo general se encuentra enmarcado en un nivel de complejidad integrativo y el logro de los resultados se orienta hacia la solución de un problema concreto en un contexto social o institucional determinado (Hurtado de Barrera, 2008). El cumplimiento de los objetivos planteados involucra la captación, caracterización y pretratamiento para el aprovechamiento del efluente de la industria láctea como solución nutritiva para sistemas hidropónicos en la microcuenca lechera de Ayaviri – Puno.

3.2. Diseño de la investigación.

Para la presente investigación se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA). Con los datos obtenidos, se procedió a realizar el correspondiente análisis estadístico, donde se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA), en aquellos casos en los que se cumplieron ambos supuestos. Por otra parte, aquellos datos que no cumplieron con los supuestos fueron analizados utilizando la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis. Finalmente, para poder conocer diferencias estadísticas entre los tratamientos se procedió a aplicar la prueba post-hoc de Tukey. Cabe resaltar, que todo el procesamiento estadístico se realizó utilizando el software Minitab 19.

3.2.1. Unidad de análisis

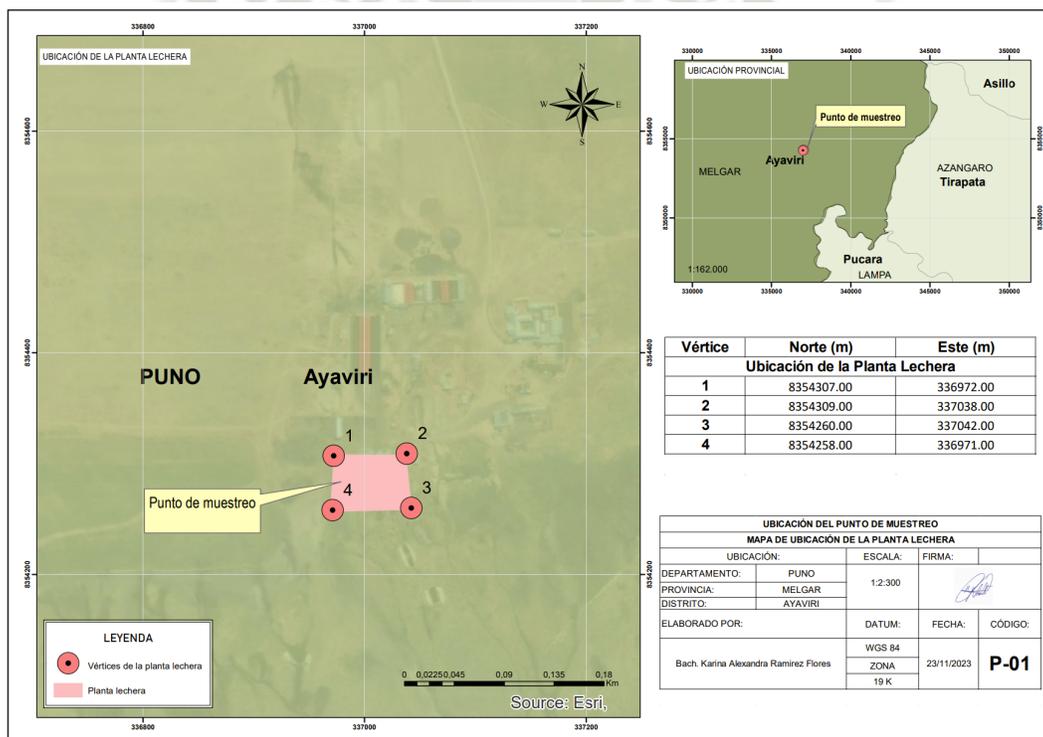
Se estudió el efluente proveniente del proceso de producción de lácteos como solución nutritiva para sistemas hidropónicos en la microcuenca lechera de Ayaviri – Puno.

3.2.2. Población de estudio

Efluentes provenientes de la industria láctea para el aprovechamiento de la solución nutritiva utilizados para un sistema hidropónico en la microcuenca lechera de Ayaviri – Puno, la Figura 1 muestra la ubicación de la industria lechera, detallado en el ANEXO 2.

Figura 1.

Ubicación de la industria lechera.



3.2.3. Tamaño de la muestra

La muestra fue tomada en 5 bidones de 5 L lavados, esterilizados y codificados, trasladados y almacenados a una temperatura de 4°C, impidiendo su degradación en el laboratorio de la UCSM.

3.2.4. Selección de la muestra

La muestra de la solución nutritiva o lactosuero fue colectada del proceso de cuajado de la leche, para su caracterización y descripción. El muestreo del efluente fue tomado de forma aleatoria de una industria láctea del Distrito lechero de Ayaviri – Puno. Las Figura 41 y Figura 42 presentan la planta lechera, mientras que en la Figura 43 se aprecia el proceso de toma de muestras de lactosuero. La Figura 44 ilustra la toma de temperatura in situ, seguida de las Figura 45, Figura 46 y Figura 47, que detallan el proceso de homogenización de las muestras.

3.2.5. Variables e indicadores

La operacionalización de variables consideradas en la presente investigación se muestra en la Tabla 5 y Tabla 6, con sus respectivos indicadores y unidades.

Tabla 5.

Variables consideradas para la evaluación del pretratamiento de lactosuero más adecuado.

| Variables Independientes | Indicadores | Unidades |
|--|------------------------------|----------------------------|
| Pretratamiento coagulación-floculación | Dosis de sulfato de aluminio | mg/L |
| Pretratamiento precipitación alcalina | pH ¹ | Rango de pH (Adimensional) |
| Variables dependientes | Indicadores | Unidades |
| | DQO ² | % de remoción |

| | |
|------------------------------|-------------------------------|
| Remoción de contaminantes | DBO ₅ ³ |
| | Turbidez |
| | STD ⁴ |
| | STS ⁵ |
| | Conductividad eléctrica |

Nota. ¹Potencial de Hidrógeno, ²Demanda Química de Oxígeno, ³Demanda Bioquímica de Oxígeno, ⁴Sólidos Totales Disueltos y ⁵Sólidos Totales Suspendedos.

Tabla 6

Variables consideradas para la evaluación de los resultados.

| Variables Independientes | Indicadores | Unidades |
|--|------------------------------|-----------------|
| Proporción de lactosuero tratado | Diluciones | - |
| Variables dependientes | Indicadores | Unidades |
| Parámetros de desarrollo de <i>Solanum lycopersicum</i> . (Tomate) | Número de hojas | - |
| | Altura de la planta | cm. |
| | Número de racimos por planta | - |
| | Grosor del tallo | cm. |
| | Longitud de la hoja | cm. |
| | Ancho de la hoja | cm. |
| | Altura de la raíz | cm. |

| | | |
|--|----------------------|-----|
| Parámetros de desarrollo de <i>Lactuca sativa</i> . (Lechuga) | Peso fresco | g. |
| | Peso seco | g. |
| | Número de hojas | - |
| | Altura de la planta | cm. |
| | Altura de la raíz | cm. |
| | Diámetro de tallo | cm. |
| | Producción total | g. |
| | Producción comercial | g. |
| | Peso fresco | g. |
| | Peso seco | g. |
| Parámetros de desarrollo de <i>Brassica oleracea</i> . (Repollo) | Número de hojas | - |
| | Altura de la planta | cm. |
| | Altura de la raíz | cm. |
| | Longitud de hoja | cm. |
| | Ancho de la hoja | cm. |
| | Peso fresco | g. |
| | Peso seco | g. |

3.2.6. Materiales y métodos

3.2.6.1. Materiales:

Para la elaboración del proyecto se emplearon los materiales, reactivos y equipos detallados a continuación:

Reactivos

Los reactivos utilizados para la realización de los experimentos y análisis de muestras son:

- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).

- Sulfato de mercurio (HgSO_4).
- Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).
- Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).
- Hidróxido de sodio (NaOH).
- Ácido clorhídrico (HCl).

Equipos

Los equipos utilizados para la realización de los experimentos y análisis de muestras se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7.

Equipos utilizados en la experimentación y análisis.

| EQUIPO | MODELO | EQUIPO | MODELO |
|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------|
| Balanza analítica | RADWAG AS 220.R2 | Espectrofotómetro UV | GENESYS 150 |
| pH metro | JENWAY 3510 | Turbidímetro | HACH TL2300 |
| Destilador | GFL 2004 | Multiparámetro | HANNA INSTRUMENTS HI9829 |

| | | | | | |
|--------------|--------------------------|---|-----------------------|-------------------------------|---|
| Hotplate | VWR ceramic Hot Top |  | Estufa | BONDER BD |  |
| Refrigerador | BOSCH KDN4BL111 |  | Digestor | Spetroquant TR 420 |  |
| Centrifuga | Centrifuge PLC series |  | Agitador magnético | Velp Scientific F203 A0177 |  |

Materiales de laboratorio

Los materiales utilizados para la realización de los experimentos y análisis de muestra se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8.

Material de laboratorio utilizado en la experimentación y análisis.

MATERIALES

| | | | |
|----------------------------------|---|----------------------------------|---|
| Beaker de vidrio (10 mL- 1 L) |  | Espátulas |  |
| Erlenmeyer (25-500 mL.) |  | Botellas de vidrio (25 mL-2L) |  |
| Fiola (10 mL-1 L) |  | Pipetas |  |

| | | | |
|-----------------------|---|----------------------|---|
| Probeta (10 mL - 1 L) |  | Micropipetas |  |
| Baguetas |  | Propipetas |  |
| Tubos Falcon |  | Pastillas Magnéticas |  |
| Tips de micropipeta |  | Tubos de ensayo |  |

3.2.7. Metodología:

La metodología que se utilizó en este proyecto fue cuantitativa debido a que de esta manera se midieron los resultados de las intervenciones realizadas para solucionar la problemática en este sector agroindustrial. Por medio de la de la investigación cuantitativa, se detectó la extensión del problema y la manera de poder abordar soluciones.

3.2.8. Caracterización fisicoquímica del lactosuero

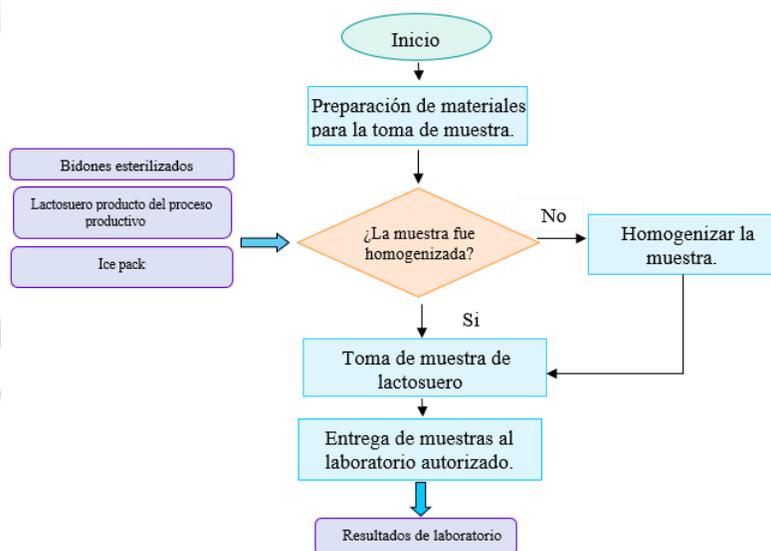
3.2.8.1. Obtención y conservación de muestra del lactosuero

Para la obtención de muestras de suero de leche, se recolectó 5 bidones de 5 litros de lactosuero, producto de la generación de una planta quesera ubicada a 10 km del Distrito de Ayaviri en la Provincia de Melgar del Departamento de Puno. Estas muestras fueron tomadas en recipientes estériles de plástico conservadas y transportadas al laboratorio para sus estudios posteriores en una caja térmica a 4°C para disminuir sus posibilidades de deterioro y su conservación oportuna

a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a congelación sin la adición de ningún preservante químico que pudiera alterar su composición original, la Figura 2 muestra el proceso de toma de muestra.

Figura 2.

Diagrama de flujo de la toma de muestra de lactosuero.



Cabe resaltar, que se tomó muestra de lactosuero en el punto de vertimiento final, resultado de la producción final de derivados lácteos como queso y yogurt. Posteriormente se llevó la muestra para analizar en el laboratorio.

3.2.8.2. Caracterización fisicoquímica del efluente lácteo crudo y tratado.

La muestra del efluente lácteo fue caracterizado de acuerdo con los protocolos de los parámetros establecidos en el Método Estándar para la Evaluación de Agua y Aguas residuales (APHA,

2017), Los métodos utilizados para el análisis de cada parámetro se encuentran detallados en la Tabla 9.

Tabla 9.

Métodos aplicados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de lactosuero.

| Parámetro | Método | Referencia |
|--------------------------------------|---|-------------------|
| Color Verdadero | Método espectrofotométrico de longitud de onda única (2120-C) | |
| Bicarbonatos | Método volumétrico (2320-B) | |
| Dureza Total | Método volumétrico (2340-C) | |
| Conductividad | Método de laboratorio (2510-B) | |
| Salinidad | Método de conductividad eléctrica (2520-A) | |
| Sólidos Totales Disueltos | Sólido total disuelto secado a 180°C (2540-C) | APHA (2017) |
| Sólidos Totales en Suspensión | Sólido total suspendido secado a 103-105°C (2540-D) | |
| Potencial de Hidrógeno | Método electrométrico (4500-H+-B) | |
| Oxígeno disuelto | Modificación de azida (4500-O-C) | |
| Nitrógeno Total | Método de persulfato (4500-P J) | |

| | | |
|------------------------------|---|------------------------------|
| Demanda | | |
| Bioquímica de Oxígeno | Método de dilución (5210-B) | |
| Demanda | | |
| Química de Oxígeno | Método de reflujo abierto (5220-D) | |
| Aceites y Grasas | Método estándar de aceites y grasas en agua | Norma ASTM D3921 - 96 (2011) |
| Cloruro | | |
| Nitrato | Determinación de aniones inorgánicos por Cromatografía iónica | EPA 300.0 (1993) |
| Sulfato | | |
| Metales pesados | Espectrometría de masas | EPA 200.8 (1994) |

Para la determinación de las propiedades del lactosuero crudo y tratado, se procedió a una caracterización completa del efluente lácteo para determinar sus características y propiedades fisicoquímicas antes y después del tratamiento. De esta manera una vez obtenida la muestra, se determinaron los diversos parámetros relacionados con la calidad del agua que fueron analizados en un laboratorio certificado según los parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (MINAM, 2017), donde se mencionan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua; de esta manera se comprobó la medida de cumplimiento de los valores

establecidos en la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales). Por otro lado, los parámetros de temperatura y pH fueron medidos in situ.

Cabe resaltar que los análisis fisicoquímicos se realizaron al inicio (lactosuero crudo) y fin (lactosuero tratado) de la experimentación para la determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes respecto al lactosuero inicial sin tratar.

3.2.8.3. Establecimiento de un tratamiento efectivo para la reutilización del efluente lácteo mediante la evaluación de procesos de Coagulación-Floculación y precipitación química.

3.2.8.3.1. Coagulación – Floculación

El lactosuero se sometió a un proceso de pretratamiento mediante Coagulación-Floculación, en el cual se añadió sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) a 100 mL de la muestra cruda. Se varió la concentración del coagulante en rangos de 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 20 y 30 mg/L para determinar la concentración óptima. Este procedimiento tenía como objetivo establecer el pH adecuado para su posterior uso como solución nutritiva. Las muestras se colocaron por triplicado sobre una base con agitación magnética, siguiendo un protocolo que implicaba inicialmente una agitación rápida a 300 rpm durante 30 segundos, seguida de una agitación lenta a 100 rpm durante 40 segundos (Louasté et al., 2018).

3.2.8.3.2. Precipitación química

Se realizaron variaciones de pH del lactosuero, las pruebas se realizaron en tubos de ensayo contenidas con 25 mL de efluente. Para acidificar la muestra se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4)

0.2 N (pH de 2 a 7) y para su alcalinización se utilizó hidróxido de sodio (NaOH) 0.2 N (pH de 8 a 14) (Rivas et al., 2011). Este pretratamiento es realizado con el fin de disminuir la carga orgánica presente. Una vez modificado el pH, se dejó en reposo por 24 horas, analizando el sobrenadante, midiendo los valores de DQO ($\text{mg O}_2/\text{L}$) y de Turbidez (NTU). Para el análisis de los valores de DQO se utilizó un espectrofotómetro UV GENESYS – 150, en el que se ingresó la muestra digerida, leída a un espectro de 600 nm; y para la lectura del Turbidez, previamente se centrifugó la muestra en una centrífuga PLC a 500 rpm por 5 min, para luego ser leída en un turbidímetro HACH TL2300.

La Figura 63 presenta la evaluación del lactosuero tratado y diluido. Las Figura 64, Figura 65, Figura 67, Figura 68, Figura 77 y Figura 78 representan el proceso de precipitación alcalina, seguido de la evaluación de parámetros in situ en las Figura 79, Figura 80 y Figura 81.

3.2.8.4. Evaluación de la eficiencia del efluente lácteo tratado y crudo como solución nutritiva para cultivos hidropónicos de las especies vegetales: *Lactuca sativa* (lechuga), *Brassica oleracea* (repollo) y *Solanum lycopersicum* (tomate).

3.2.8.4.1. Germinación de especies vegetales y sistema hidropónico

3.2.8.4.1.1. Germinación inicial

La etapa inicial se realizó mediante la germinación de semillas de las 3 especies vegetativas a evaluar: *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* y *Brassica oleracea* en una bandeja de germinación de 128 celdas divididas en partes iguales para el desarrollo de las plántulas

añadiendo sustrato de coco, debido a que es un tipo de fibra natural, orgánico y renovable. El proceso de germinación se dio en un ambiente controlado puesto que, reúne todas las condiciones para el desarrollo vegetativo de las especies mencionadas. Posteriormente, a los 15 días del desarrollo de las dos a tres primeras hojas de cada especie se procedió al trasplante para utilizarla en las soluciones nutritivas previamente preparadas con el lactosuero en diversas formas (crudo diluido y tratado). Previo al trasplante se lavó las raíces con agua potable y agua destilada con la finalidad de retirar cualquier resto de sustrato. Cabe resaltar, que en la Figura 55 se destaca la germinación de las especies en el quinto día, mientras que la Figura 56 muestra la germinación en el día 15. Asimismo, la Figura 58 evidencia la germinación en preparación para el trasplante de las especies vegetales. Es importante destacar que, las tres especies seleccionadas fueron escogidas porque ya se ha comprobado su capacidad para prosperar con otros tipos de efluentes domésticos. Además, las tres son comestibles y esenciales para preparar una ensalada básica, lo que garantiza la seguridad alimentaria de una familia que opte por esta tecnología.

3.2.8.5. Sistema hidropónico con diferentes diluciones de efluente lácteo.

Se colocó las especies vegetales en diferentes soluciones nutritivas detallados en la Tabla 10, de esta manera se utilizó el efluente lácteo en diferentes sistemas hidropónicos:

- **Efluente crudo diluido:** En este sistema se utilizó el efluente lácteo crudo sin tratar en diferentes diluciones: 1:5, 1:10 y 1:20, como solución nutritiva para las especies vegetales: *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* y *Brassica oleracea* en vasos PS, con 4 repeticiones.

- **Efluente tratado diluido neutralizado:** El 10% de la muestra de lactosuero recolectada fue derivada para ejecutar un tratamiento, donde se seleccionó el método más efectivo que implica menos tiempo y presupuesto para la preparación del efluente. Posteriormente, se procedió a utilizarlo como solución nutritiva de las especies vegetales: tomate *Solanum lycopersicum*, lechuga *Lactuca sativa* y col *Brassica oleracea* en vasos PS (Poliestireno) en 3 diluciones (1:5, 1:10 y 1:20), realizando 4 repeticiones para cada experimento.
- **Control positivo:** Se utilizó solución hidropónica para el control positivo de las especies vegetales: *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* y *Brassica oleracea* en vasos PS (Poliestireno), con 4 repeticiones para cada uno de los controles.

Tabla 10.

Sistemas hidropónicos utilizados con lactosuero.

| DILUCIONES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA | ESPECIE | SISTEMA HIDROPÓNICO CON SOLUCIONES NUTRITIVAS | | | | |
|--|-----------------------------|---|---|---|---|---|
| | | REPETICIONES | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| EFLUENTE CRUDO DILUIDO 1:5 | <i>Lactuca sativa</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Brassica oleracea</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Solanum lycopersicum</i> |  |  |  |  |  |
| EFLUENTE CRUDO DILUIDO 1:10 | <i>Lactuca sativa</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Brassica oleracea</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Solanum lycopersicum</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Lactuca sativa</i> |  |  |  |  |  |

| | | | | | | |
|---|-----------------------------|---|---|---|---|---|
| EFLUENTE CRUDO DILUIDO 1:20 | <i>Brassica oleracea</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Solanum lycopersicum</i> |  |  |  |  |  |
| EFLUENTE CRUDO TRATADO NEUTRALIZADO 1:5 | <i>Lactuca sativa</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Brassica oleracea</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Solanum lycopersicum</i> |  |  |  |  |  |
| EFLUENTE CRUDO TRATADO NEUTRALIZADO 1:10 | <i>Lactuca sativa</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Brassica oleracea</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Solanum lycopersicum</i> |  |  |  |  |  |

| | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|--|--|--|--|
| EFLUENTE CRUDO TRATADO NEUTRALIZADO 1:20 | <i>Lactuca sativa</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Brassica oleracea</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Solanum lycopersicum</i> |  |  |  |  |  |
| CONTROL POSITIVO | <i>Lactuca sativa</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Brassica oleracea</i> |  |  |  |  |  |
| | <i>Solanum lycopersicum</i> |  |  |  |  |  |

Respecto a la evaluación de la eficiencia del lactosuero tratado como solución nutritiva en las especies vegetales: *Solanum lycopersicum*. (Tomate), *Lactuca sativa*. (Lechuga) y *Brassica oleracea*. (Repollo), se utilizaron diluciones de lactosuero tratado y crudo: 1:5, 1:10 y 1:20 así como un control positivo, el cual fue la solución hidropónica comercial de la UNALM en los sistemas hidropónicos de dichas especies vegetales, donde se analizó parámetros de desarrollo vegetativo respecto a la evolución y crecimiento de vegetales, dichos parámetros se encuentran descritos en la Tabla 11. Asimismo, en el ANEXO 4 desde la Figura 49 hasta la Figura 54, muestran las unidades experimentales junto con su evaluación de acuerdo con la metodología empleada en relación con los parámetros de desarrollo vegetativo. Desde la Figura 60 hasta la Figura 62 se detalla la evaluación de los parámetros vegetativos, así como el desarrollo de las unidades experimentales y su correspondiente evaluación se extiende desde la Figura 59 hasta la Figura 76.

Tabla 11.*Parámetros evaluados en las especies vegetales.*

| Especie vegetal | Parámetro | Descripción | Referencia |
|------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Lechuga | Número de hojas | El número de hojas fue evaluado durante 30 días luego del trasplante, se contó el número de hojas una vez por semana a simple vista, la medición se realizó desde las hojas basales hasta la última hoja abierta. | Lee et al. (2021a); Xavier et al. (2019a) |
| | Altura de la planta | Se midió la altura desde la superficie de la esponja hasta la cabeza del brote más largo con una cinta métrica simple, la medición se realizó en cm y se evaluó una vez por semana. | Lee et al. (2021b) |
| | Altura de la raíz | Se midió desde la parte inferior de la esponja hasta la punta de la raíz más larga en la semana inicial y final, la medida fue expresada en cm. | Egbuikwem et al. (2020b) |
| | Diámetro de tallo | La medición fue directa con un pie de rey expresado en cm. | Xavier et al. (2019a) |
| | Producción total ¹ | Se obtuvo de la producción en masa fresca de brotes (tallos y hojas) evaluado a través de una balanza analítica, este parámetro fue expresado en gramos. | Xavier et al. (2019a) |
| | Producción comercial ¹ | Se obtuvo de la producción de masa fresca de brotes (tallos y hojas) prescindiendo de las hojas amarillentas y secas, este parámetro fue evaluado a través de una balanza analítica y fue expresado en gramos. | Xavier et al. (2019b) |
| | Peso fresco ¹ | Luego de 30 días de crecimiento, se enjuagaron y secaron las raíces antes de medir solo los pesos frescos de las partes del brote sin la esponja debido a la dificultad para distribuir las raíces enredadas con la esponja, el peso fresco se determinó al inicio y final del desarrollo. | Lee et al. (2021a) |
| | Peso seco ¹ | Fue evaluado al finalizar los 30 días de cosecha, se | Lee et al. (2021a) |

| | | | | |
|----------------|------------------------|--|---|------------------|
| | | enjuagaron y secaron las raíces antes de secarlas a 70°C durante 3 días en una estufa para hallar el peso en una balanza analítica expresado en gramos. | | |
| | Número de hojas | Se midieron el número de hojas una vez por semana a simple vista. | Choi et al. (2011) | |
| | Altura de la planta | La longitud del brote se midió desde la parte superior de la lana de roca hasta la punta de la hoja más desarrollada, la medida fue expresada en cm. | Lee et al. (2021b) | |
| | Altura de la raíz | Se midió desde la parte inferior de la esponja hasta la punta de la raíz más larga en la semana inicial y final, la medida fue expresada en cm. | Egbuikwem et al. (2020b) | |
| Repollo | Longitud de hoja | Se midieron en el centro de la lámina de la hoja junto a la nervadura primaria, desde la parte inferior hasta la parte más larga de la hoja, una vez por semana y la medida fue expresada en cm. | Choi et al. (2011) | |
| | Ancho de la hoja | Se midieron en el centro de la lámina de la hoja de un extremo a otro de manera horizontal y la medida fue expresada en cm. | Choi et al. (2011) | |
| | Peso fresco | Luego de 30 días de crecimiento, se enjuagaron y secaron las raíces antes de medir solo los pesos frescos de las partes del brote sin la esponja debido a la dificultad para distribuir las raíces enredadas con la esponja, el peso fresco se determinó al inicio y final del desarrollo vegetativo con una balanza analítica, la medida fue expresada en gramos. | Lee et al. (2021b) | |
| | Peso seco ¹ | Fue evaluado al finalizar los 30 días de cosecha, se enjuagaron y secaron las raíces antes de secarlas a 70°C durante 3 días en una estufa para hallar el peso en una balanza analítica expresado en gramos. | Abou-Hadid et al. (1996); Lee et al. (2021b) | |
| | Tomate | Número de hojas | Se midieron el número de hojas una vez por semana a | Egbuikwem et al. |

| | | |
|------------------------------|---|---|
| | simple vista. | (2020b); Lee et al. (2021b) |
| Altura de la planta | Se midió una vez por semana con una cinta métrica simple colocada en la base del tallo hasta las puntas de las hojas. | Lee et al. (2021b) |
| Número de racimos por planta | Se contó el número de racimos de cada planta a simple vista una vez por semana. | Magwaza (2020b) |
| Grosor del tallo | Se midió al finalizar la cosecha con un pie de rey una vez por semana. | Magwaza (2020b) |
| Longitud de hoja | Se midieron en el centro de la lámina de la hoja junto a la nervadura primaria, desde la parte inferior hasta la parte más larga de la hoja, una vez por semana y la medida fue expresada en cm, | Choi et al. (2011); Pilatakis et al. (2013) |
| Ancho de la hoja | Se midieron en el centro de la lámina de la hoja de un extremo a otro de manera horizontal y la medida fue expresada en cm. | Choi et al. (2011); Pilatakis et al. (2013) |
| Altura de la raíz | Se midió desde la parte inferior de la esponja hasta la punta de la raíz más larga en la semana inicial y final, la medida fue expresada en cm. | Egbuikwem et al. (2020b) |
| Peso fresco | Las especies vegetativas se enjuagaron y secaron al aire a temperatura ambiente durante 60 min y se pesaron en una balanza analítica para determinar los pesos frescos de las hojas, expresado en gramos. | Magwaza (2020b) |
| Peso seco ¹ | Las especies vegetativas luego se secaron en estufa a 70 °C durante 48 horas y se pesaron en una balanza analítica sin la esponja para la estimación de la materia seca, la medida fue expresada en gramos. | Magwaza (2020b) |

Nota. ¹Parámetros evaluados a los 30 días al finalizar la evaluación del desarrollo vegetativo.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización fisicoquímica del efluente lácteo crudo y tratado.

4.1.1. Análisis inicial

En la Tabla 12 se presentan los valores de la caracterización fisicoquímica de la muestra de lactosuero, los ECA Agua presentes en D.S. N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (MINAM, 2017) y los Valores Máximos Admisibles presentes en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Reglamento de Valores Máximos Admisibles para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (VIVIENDA, 2019). Los resultados fueron reportados por el laboratorio acreditado por INACAL presentados en el ANEXO 1.

Tabla 12.

Valores resultantes de la caracterización de la muestra de lactosuero ECA agua y VMA.

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO | VMA | ECA Agua ¹ |
|------------------------------|----------------------------|----------------------|-----|-----------------------|
| Color Verdadero | UC | 984.4 ± 196.9 | - | 100 (a) |
| Bicarbonatos | mg HCO ₃ /L | 591.1 ± 124.1 | - | 518 |
| Dureza Total | mg CaCO ₃ /L | 1,231.8 ± 52.1 | - | - |
| Conductividad | uS/cm | 6,460.00 ± 1744.2 | - | 2500 |
| Salinidad | mg/L | 0.5 ± 0.1 | - | - |
| Sólidos Totales Disueltos | mg Sólidos | 50,850 ± 11696 | - | - |

| Totales Disueltos/L | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|------|-----------|
| Sólidos Totales en Suspensión | mg Sólidos Totales en suspensión/L | 6,960 ± 2018 | 500 | - |
| Potencial de Hidrógeno | pH | 5.00 ± 0.14 | - | 6.5 - 8.4 |
| Oxígeno disuelto | mg DO/L | 10.1 ± 2.6 | - | ≥4 |
| Nitrógeno Total | mg N/L | 1,236.11 ± 30.9 | - | - |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5) | mg/L | 4,705.0 ± 894 | 500 | 15 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg O2/L | 34,511.9 ± 425.3 | 1000 | 40 |
| Aceites y Grasas | mg/L | 455.5 ± 6.4 | 100 | 5 |
| Cloruro | mg/L | 1168.59 ± 26.5 | - | 500 |
| Nitrito | mg/L | 55.9 ± 11.2 | - | 10 |
| Nitrato | mg/L | 31.6 ± 7.3 | - | 100 |
| Sulfato | mg/L | 166.8 ± 17.2 | 1000 | 1000 |
| Metales Totales | | | | |
| Boro Total | mg/L | 0.25 ± 0.05 | 4 | 1 |
| Calcio Total | mg/L | 325.8 ± 81.5 | - | - |
| Potasio Total | mg/L | 1,314.15 ± 105.13 | - | - |
| Magnesio Total | mg/L | 85.31 ± 17.9 | - | No aplica |
| Sodio Total | mg/L | 647.53 ± 135.9 | - | - |
| Fósforo Total | mg/L | 314.425 ± 14.8 | - | - |
| Rubidio Total | mg/L | 1.1 ± 0.23 | - | - |
| Silicio Total | mg/L | 10.8 ± 2.81 | - | - |
| Sílice Total | mg/L | 23.11 ± 6.01 | - | - |
| Estroncio Total | mg/L | 0.24 ± 0.05 | - | - |
| Tantalio Total | mg/L | 0.12 ± 0.02 | - | - |
| Titanio Total | mg/L | 1.09 ± 0.002 | - | - |

Nota.¹ECA AGUA Categoría 3- D1: Riego de vegetales - Agua para riego no restringido

Los resultados del análisis inicial del lactosuero indican que la conductividad tiene un valor de $6,460.00 \pm 1744.2$ uS/cm, superando el valor establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (en adelante, ECA) de 2500 uS/cm. Esta alta conductividad se debe a la concentración de sólidos totales presentes en el lactosuero, como se señala en el estudio de Callejas et al. (2012). Además, el pH del lactosuero es de 5.00 ± 0.14 , lo cual es inferior al rango de 6.5-8.4 establecido en la normativa para la leche de vaca; esto se debe a la conversión de la lactosa en ácido láctico, así como a la presencia de calcio y fósforo en el lactosuero utilizado en este proyecto. Es importante destacar que un valor de pH inferior a 4.5, junto con la alta conductividad ($6,460.00 \pm 1744.2$ uS/cm) y la concentración de sólidos totales ($50,850 \pm 11696$ mg/L), se relaciona con el tipo ácido del lactosuero utilizado, que se complementa con la adición de NaCl para la producción de queso. En consecuencia, se demuestra que los resultados de la fermentación y/o la incorporación de ácidos orgánicos o minerales en la producción de lácteos generan este tipo de valores, como se menciona en el estudio de (Carvalho et al., 2013). Es importante señalar que el lactosuero ácido generalmente presenta valores más bajos que el lactosuero dulce.

Asimismo, los resultados del análisis inicial del lactosuero revelan una alta conductividad, lo que sugiere una posible coagulación ácida o láctica de la caseína de la leche, como señala el estudio de Callejas et al. (2012). En cuanto al valor de oxígeno disuelto (en adelante, OD) con un resultado de 10.1 ± 2.6 mg/L, cumple con el estándar establecido (≥ 4 mg/L). Además, los valores de DQO ($34,511.9 \pm 425.3$ mg/L) y DBO₅ ($4,705.0 \pm 894$ mg/L) se mantienen por debajo de los Valores Máximos Admisibles (en adelante, VMA) y ECA: 1000 mg/L (VMA DQO), 500 mg/L (VMA DQO), 40 mg/L (ECA DBO₅) y 15 mg/L (ECA DBO₅), respectivamente. Según el informe de

Carvalho et al. (2013), el lactosuero generalmente presenta valores de DQO en un rango de 800 a 102,000 mg/L y valores de DBO en el rango de 600 a 60,000 mg/L. Esto se debe en gran medida a la alta concentración de materia orgánica en la lactosa y las grasas presentes. Por lo tanto, los valores registrados en la Tabla 12 están dentro del rango informado por varios autores, como Parra (2010), quien menciona que el lactosuero puede variar en DBO de 30,000 a 50,000 mg/L.

En lo que respecta a la concentración de aceites y grasas (455.5 ± 6.4 mg/L), este valor supera tanto el VMA (100 mg/L) como el ECA (5 mg/L). Además, los niveles de cloruro ($1,168.59 \pm 26.5$ mg/L), nitrito (55.9 ± 11.2 mg/L) y sulfato (166.8 ± 17.2 mg/L) exceden los estándares de los VMA: 500 mg/L, 10 mg/L y 1000 mg/L, respectivamente. Paredes Montoya et al. (2014) señalan que la presencia de aceites y grasas en diversos tipos de lactosuero puede atribuirse a los insumos utilizados y los procesos en la producción de derivados lácteos, así como a la alimentación del ganado, lo que afecta las características fisicoquímicas de la leche y sus residuos.

Además, el valor de sulfato mencionado en el ECA (1000 mg/L) también supera el límite establecido en la normativa. No obstante, los niveles de nitrato (31.6 ± 7.3 mg/L) están dentro de los VMA (100 mg/L). En adición a ello, los valores de metales totales no sobrepasan los estándares de calidad del agua.

Es importante destacar que, los niveles de nitrato, nitrito y sulfatos están vinculados a los procesos de producción de derivados lácteos en términos de tiempo, temperatura e insumos. Por ejemplo, en algunos procesos, se agrega una cantidad de nitrato de sodio que varía desde 11,420 hasta 100,000 mg/L, junto con la adición de sulfato de sodio, según lo reportado por Oca-Flores et al.

(2009) en su estudio de investigación. Asimismo, la Figura 57 y Figura 66 muestran la medición de la temperatura ambiental.

4.2. Establecimiento de un tratamiento efectivo para la reutilización del efluente lácteo mediante la evaluación de procesos de Coagulación-Floculación y precipitación química.

4.2.1. Coagulación - Floculación aplicada al lactosuero

Con el propósito de analizar los valores de DQO ($\text{mg O}_2/\text{L}$) y Turbidez (NTU) y compararlos con los resultados de la precipitación química según el estudio de Kuzin et al. (2020), se estableció un tiempo de precipitación de 30 minutos. Se tomaron muestras del sobrenadante, donde se observaron porcentajes de eliminación similares. Inicialmente, la DQO fue de 34,511.9 mgO_2/L , y se logró la eliminación máxima con una concentración de 20 mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{L}$, obteniendo un valor de 5,003.33 mgO_2/L . Esto representa una eliminación del 85.5%, como se detalla en la Tabla 13.

4.2.1.1. Porcentaje de remoción de DQO

Tabla 13.

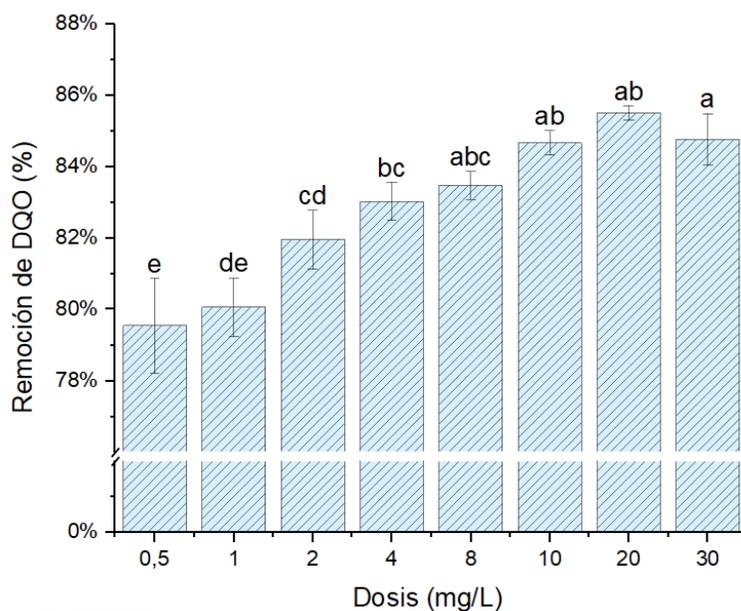
Valores y porcentajes de remoción de DQO variando la concentración de coagulante.

| Concentración (mg Al₂(SO₄)₃ /L) | DQO, mgO₂/L | % R de DQO |
|---|-------------------------------|-------------------|
| 0.5 | 7059 ± 455 | 79.5% ± 1.32 |
| 1 | 6881 ± 283.5 | 80.1% ± 0.82 |
| 2 | 6225.56 ± 283.5 | 82% ± 0.82 |
| 4 | 5859 ± 183.59 | 83% ± 0.53 |
| 8 | 5703 ± 133 | 83.5% ± 0.39 |
| 10 | 5292.22 ± 117 | 84.7% ± 0.34 |
| 20 | 5003.33 ± 66.67 | 85.5% ± 0.19 |
| 30 | 5258.89 ± 250.19 | 84.8% ± 0.72 |

De los resultados mostrados en la Tabla 13, se puede observar que los valores de DQO se van reduciendo a medida que incrementa la concentración del coagulante; sin embargo, no tiene una diferencia muy significativa, mostrando porcentajes de remoción muy parecidos desde una concentración de 8 a 30 mg Al₂(SO₄)₃/L.

Figura 3.

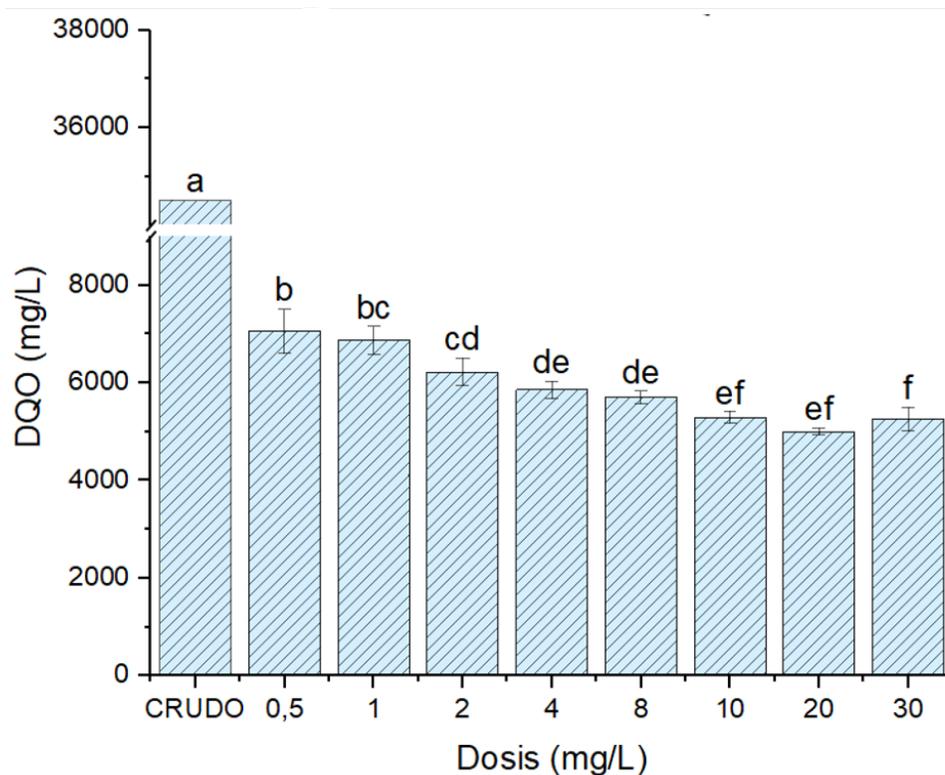
Porcentaje de remoción de DQO (mg/L) vs los valores de concentración de coagulante (mg/L).



En la Figura 3 se tiene una mejor representación del incremento del porcentaje de remoción de DQO a medida que la concentración del coagulante incrementa. Sin embargo, por lo anteriormente expuesto, se podría utilizar como punto óptimo la concentración de 10 mgAl₂(SO₄)₃/L. En comparación con los resultados obtenidos por Bouchra et al. (2018), los cuales obtuvieron resultados similares a partir de la concentración de 4 mgAl₂(SO₄)₃/L, teniendo un rango de 0.5 a 8 mg. de coagulante. Esta diferencia se puede atribuir a la composición del efluente, ya que el efluente estudiado contiene una mayor cantidad de contaminantes y compuestos.

Figura 4.

Valores de DQO (mg/L) vs. Dosis de coagulante añadido (mg/L).



La Figura 4 nos muestra como los valores de DQO disminuyen a medida que la concentración del coagulante incrementa, obteniendo el valor más bajo de DQO cuando se da el tratamiento con 20 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{L}$.

4.2.1.2. Porcentaje de remoción de Turbidez

Respecto al tratamiento del lactosuero con sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), se fue variando su concentración en un rango de 0.5 a 30 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{L}$, donde el valor inicial de Turbidez fue de 4000 NTU y se logró la máxima remoción con una concentración de 30 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{L}$; de esta

manera se obtuvo un valor de 182 NTU, representando el 95.5% de remoción, como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14.

| Concentración (mg Al ₂ (SO ₄) ₃ /L) | Turbidez, NTU | % R de DQO |
|---|---------------|---------------|
| 0.5 | 309.33 ± 66.2 | 92.27% ± 1.66 |
| 1 | 251 ± 14.4 | 93.73% ± 0.36 |
| 2 | 250 ± 2.65 | 93.75% ± 0.07 |
| 4 | 239.33 ± 10 | 94.05% ± 0.25 |
| 8 | 193 ± 10.4 | 95.18% ± 0.26 |
| 10 | 194.33 ± 12 | 95.14% ± 0.30 |
| 20 | 185.33 ± 13 | 95.37% ± 0.33 |
| 30 | 182 ± 7.55 | 95.45% ± 0.19 |

Valores y porcentajes de remoción de Turbidez variando la concentración de coagulante.

| Concentración (mg Al ₂ (SO ₄) ₃ /L) | Turbidez, NTU | % R de DQO |
|---|---------------|---------------|
| 0.5 | 309.33 ± 66.2 | 92.27% ± 1.66 |
| 1 | 251 ± 14.4 | 93.73% ± 0.36 |
| 2 | 250 ± 2.65 | 93.75% ± 0.07 |

| | | |
|-----------|-------------|---------------|
| 4 | 239.33 ± 10 | 94.05% ± 0.25 |
| 8 | 193 ± 10.4 | 95.18% ± 0.26 |
| 10 | 194.33 ± 12 | 95.14% ± 0.30 |
| 20 | 185.33 ± 13 | 95.37% ± 0.33 |
| 30 | 182 ± 7.55 | 95.45% ± 0.19 |

La Figura 5 evidencia el incremento del porcentaje de remoción de la Turbidez, obteniendo valores similares desde la concentración de 8 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ /L, teniendo el porcentaje más alto de remoción de 95.45% a una mayor concentración.

Figura 5.

Porcentaje de remoción de Turbidez vs los valores de concentración de coagulante.

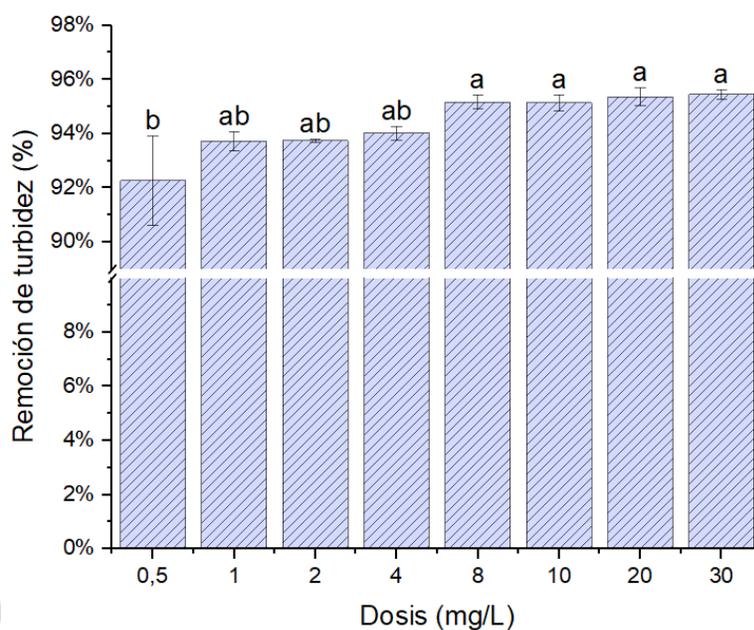
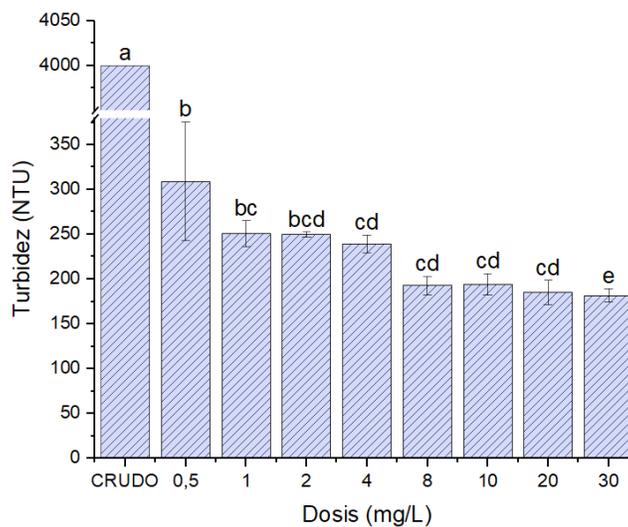


Figura 6.

Valores de turbidez (NTU) respecto a la cantidad de coagulante añadido (mg/L).



De acuerdo con los valores mostrados en la Figura 6 los valores de Turbidez disminuyeron con la concentración, iniciando con 4000 NTU y terminando con 182 NTU con la concentración más alta. Estos valores son elevados a comparación de Louasté et al. (2018), los cuales tuvieron un valor inicial de Turbidez de 144 NTU y un valor final 70 NTU, utilizando 6 mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ /L para el tratamiento.

4.2.2. Precipitación química aplicada al efluente de una industria láctea

4.2.2.1. Porcentaje de remoción de DQO

En pH ácido no se observó remociones de DQO significativas por lo cual se optó por evaluar solamente la precipitación alcalina como lo reportan autores diversos autores en sus investigaciones (Correia et al., 2020; Prazeres et al., 2014; Prazeres et al., 2016; Rincón-Pérez et al., 2021).

Este proceso se realizó en la muestra cruda del lactosuero, de esta manera se dio la precipitación alcalina con NaOH 0.2N, en un rango de pH de 8 a 14, obteniendo el mayor porcentaje de remoción de DQO a un pH de 11 unidades, utilizando un volumen NaOH de aproximadamente de 1.20 ml. Desde su pH inicial de 5 unidades hasta alcanzar un pH de 13, se observa una reducción significativa en la DQO, comenzando con una concentración de 34,511.9 mgO₂/L y finalizando en 3,033.33 mgO₂/L. Esto representa una remoción del 91.21%, como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15.

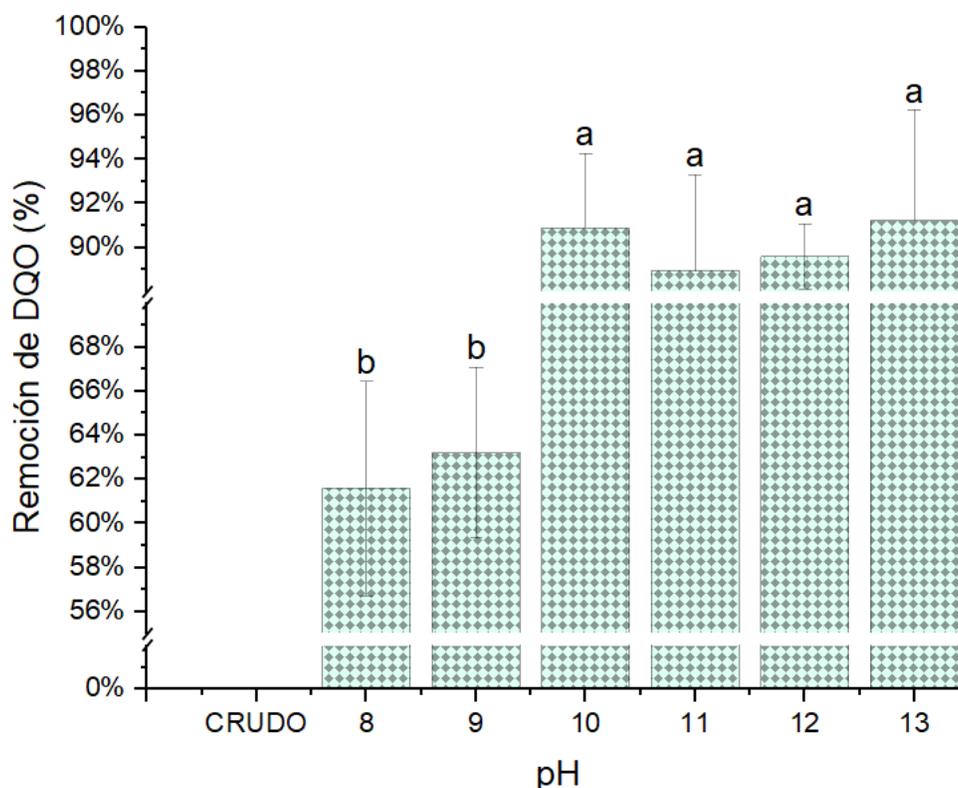
Valores y porcentajes de remoción de DQO con precipitación alcalina.

| pH, unidades | DQO, mgO₂/L | % R DQO |
|---------------------|-------------------------------|----------------|
| 8 | 13255.56 ± 1 677.7 | 61.59 ± 4.86 |
| 9 | 12700 ± 1333.3 | 63.20 ± 3.86 |
| 10 | 3144.44 ± 1170.6 | 90.88 ± 3.39 |
| 11 | 3811.11 ± 1503.1 | 88.95 ± 4.36 |
| 12 | 3588.89 ± 509.2 | 89.60 ± 1.48 |
| 13 | 3033.33 ± 1732 | 91.21 ± 5.02 |

De la Tabla 15 se puede observar que se obtuvo el mayor porcentaje de remoción a pH de 13 unidades; sin embargo, los porcentajes de remoción en pH 10, 11 y 12 unidades son similares como se puede observar en la Figura 7.

Figura 7.

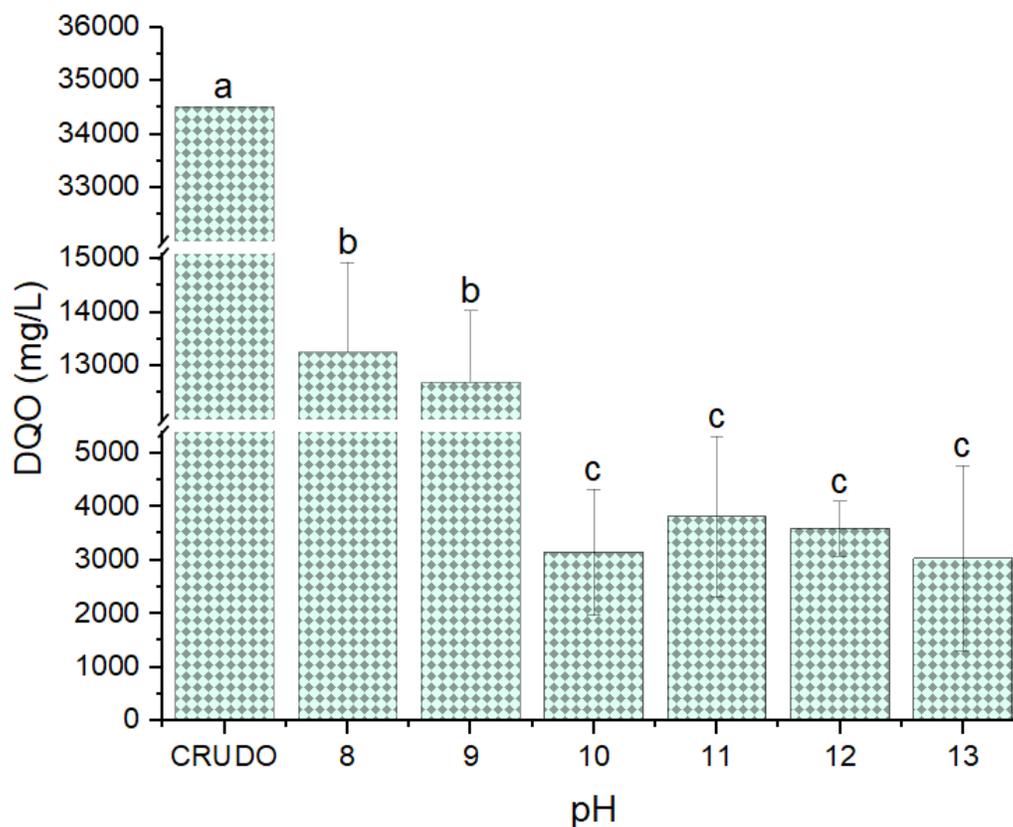
Porcentajes de remoción de DQO por precipitación alcalina.



Es por esta similitud en los porcentajes de remoción que se seleccionó el pH de 11 unidades, con el fin de reducir los costos del pretratamiento, ya que el NaOH utilizado, es un reactivo de elevado precio y controlado para su compra, optimizando así el tratamiento. De la Figura 8, podemos deducir que los valores de la DQO disminuyen a medida que el pH se vuelve alcalino. El valor resultante de DQO después del pretratamiento del lactosuero a pH 10 fue de 3811.11 mgO₂/L, el cual es menor al valor obtenido por Rivas et al. (2011), que fue de 9250 mgO₂/L.

Figura 8.

Valores de DQO (mg/L) vs el pH en la precipitación química.



4.2.2.2. Porcentaje de remoción de Turbidez

La lectura de la muestra cruda de lactosuero se encontró fuera de valor máximo que percibe el turbidímetro que es 4000 NTU, por lo que los porcentajes de remoción de Turbidez mostrados en la Tabla 16 tienen como valor inicial 4000 NTU.

Tabla 16.

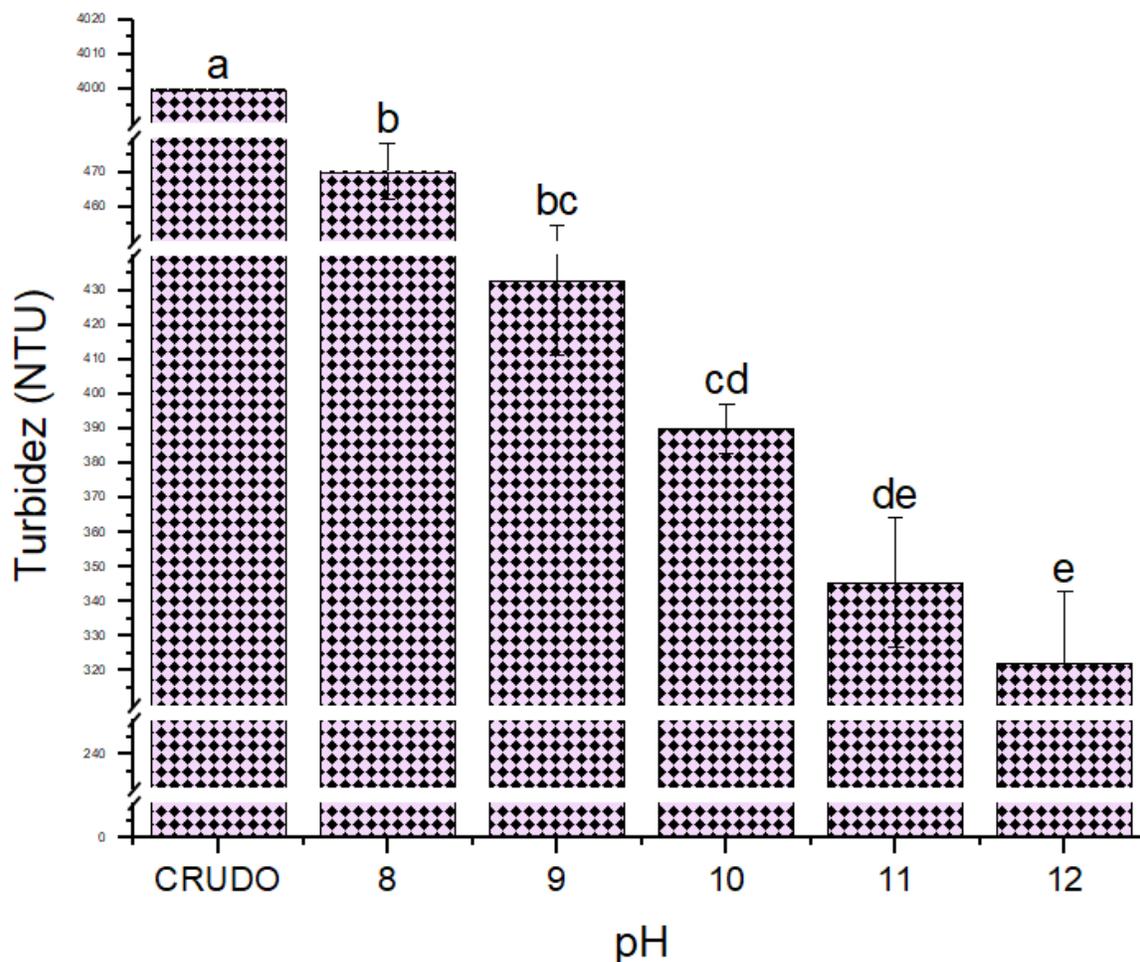
Valores y porcentajes de remoción de la Turbidez con precipitación alcalina.

| pH Unidad | Turbidez NTU | % R turbidez |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| 8 | 470.3 ± 8.02 | 88.2% |
| 9 | 433 ± 21.7 | 89.2% |
| 10 | 390 ± 7.21 | 90.3% |
| 11 | 346 ± 18.58 | 91.4% |
| 12 | 322 ± 20.53 | 91.9% |
| 13 | 263.7 ± 25.32 | 93.4% |

De la Tabla 16, se puede inferir que los valores de Turbidez disminuyeron a medida que las condiciones del medio se vuelven alcalinas, debido a la precipitación de las partículas presentes en el lactosuero.

Figura 9.

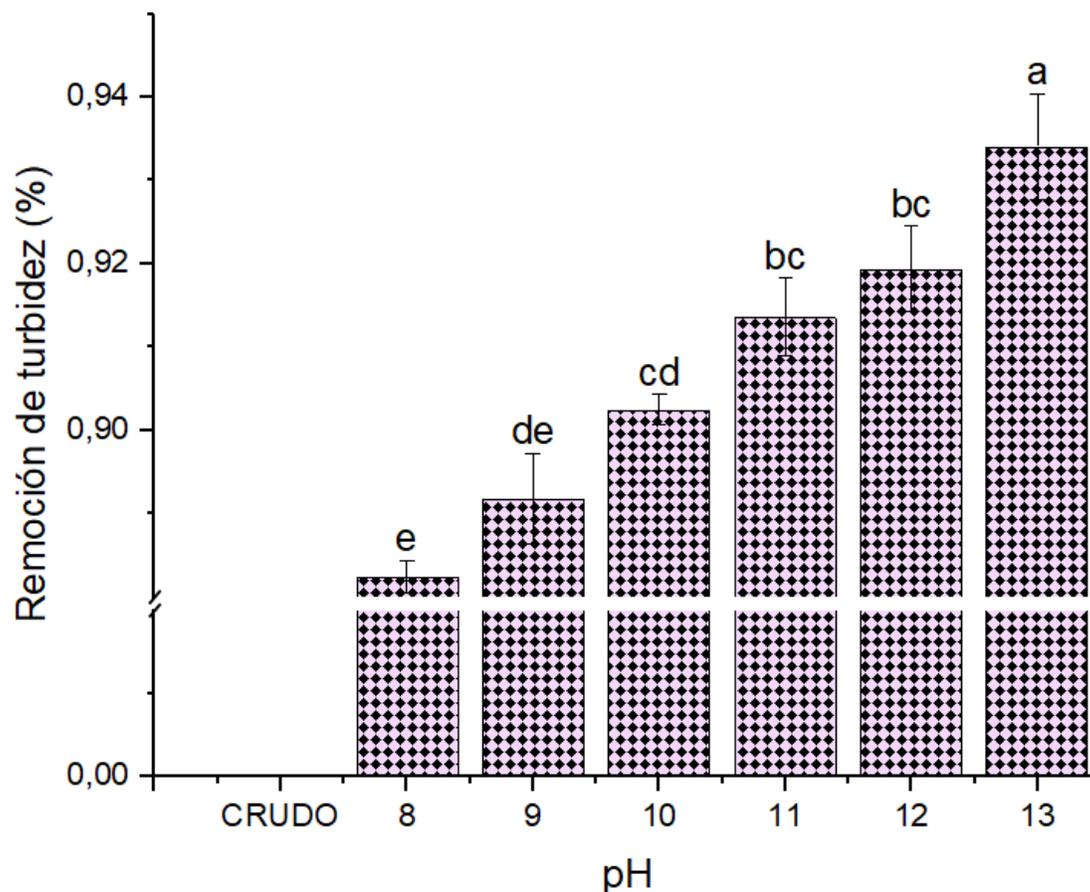
Valores de turbidez vs el pH en la precipitación alcalina.



La Figura 9 ilustra la reducción de los valores de turbidez en el lactosuero que fue sometido a la precipitación en medio alcalino, alcanzando el valor más bajo a pH 13. No obstante, con el objetivo de reducir los costos del pretratamiento, se ha determinado que un pH de 11 unidades puede proporcionar resultados favorables. A partir de este valor, se obtienen valores de Turbidez similares a los obtenidos a otros pH a los que se sometió el efluente lácteo.

Figura 10.

Porcentaje de remoción de turbidez vs la variación de pH en la precipitación alcalina.



Los porcentajes de remoción fueron similares con pH de 10, 11, 12 y 13, con porcentajes de 90.3, 91.4, 91.9 y 93.4% respectivamente. Al igual que el porcentaje de remoción de DQO, los valores más altos comienzan cuando el efluente tiene un pH de 10 unidades como se muestra en la Figura 10.

En la Figura 9 se muestra la disminución de los valores de Turbidez del lactosuero, los cuales fueron precipitados en medio alcalino, teniendo el valor más bajo a pH 13; sin embargo, buscando la reducción de costos del pretratamiento, se observa que el valor óptimo del pH es de 11 unidades, ya que a partir de este se obtienen valores similares a los demás pH a los que se sometió el efluente lácteo.

4.2.3. Análisis fisicoquímico final del efluente tratado

En la Tabla 17 se presentan los valores de la caracterización fisicoquímica de la muestra de lactosuero luego de ser precipitada químicamente con NaOH, los ECA Agua presentes en Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y los Valores Máximos Admisibles presentes en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Los resultados fueron reportados por el laboratorio acreditado por INACAL presentados en el ANEXO 1.

Tabla 17.

Valores resultantes de la caracterización de la muestra de lactosuero post tratamiento, ECA

Agua y VMA.

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO | | VMA | *ECA |
|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------|-----|-----------|
| | | Análisis Inicial | Análisis final | | |
| Color Verdadero | UC | 984.4 ± 196.9 | 575.6 ± 115.10 | - | 100 (a) |
| Bicarbonatos | mg HCO ₃ /L | 591.1 ± 124.1 | <1.2 | - | 518 |
| Dureza Total | mg CaCO ₃ /L | 1,231.8 ± 52.1 | 300.3 ± 11.90 | - | - |
| Conductividad | uS/cm | 6,460.00 ± 1744.2 | 9,530.00 ± 2,573.10 | - | 2500 |
| Salinidad | mg/L | 0.5 ± 0.1 | 6.0 ± 0.9 | - | - |
| Sólidos Totales Disueltos | mg Sólidos Totales Disueltos/L | 50,850 ± 11696 | 46.060 ± 12.434 | - | - |
| Sólidos Totales en Suspensión | mg Sólidos Totales en suspensión/L | 6,960 ± 2018 | 3,6201 ± 0.50 | 500 | - |
| Potencial de Hidrógeno | pH | 5.00 ± 0.14 | 7.00 | - | 6.5 - 8.4 |
| Oxígeno disuelto | mg DO/L | 10.1 ± 2.6 | <1.0 | - | ≥4 |
| Nitrógeno Total | mg N/L | 1,236.11 ± 30.9 | 195.00 ± 4.88 | - | - |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 4,705.0 ± 894 | 1,148.8 ± 34.70 | 500 | 15 |

| | | | | | |
|----------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|------|-----------|
| Demanda Química de Oxígeno | mg O ₂ /L | 34,511.9 ± 425.3 | 2,479.0 ± 52.80 | 1000 | 40 |
| Aceites y Grasas | mg/L | 455.5 ± 6.4 | 300.0 ± 6.90 | 100 | 5 |
| Cloruro | mg/L | 1168.59 ± 26.5 | 116.755 ± 2.86 | - | 500 |
| Nitrito | mg/L | 55.9 ± 11.2 | <0.062 | - | 10 |
| Nitrato | mg/L | 31.6 ± 7.3 | <0.007 | - | 100 |
| Sulfato | mg/L | 166.8 ± 17.2 | 140.225 ± 14.61 | 100 | 1000 |
| Metales Totales | | | | | |
| Boro Total | mg/L | 0.25 ± 0.05 | 2.443 ± 0.25 | 4 | 1 |
| Calcio Total | mg/L | 325.8 ± 81.5 | 109.888 ± 3.068 | - | - |
| Potasio Total | mg/L | 1,314.15 ± 105.13 | 1,079.49 ± 86.36 | - | - |
| Magnesio Total | mg/L | 85.31 ± 17.9 | 90.047 ± 2.37 | - | No aplica |
| Sodio Total | mg/L | 647.53 ± 135.9 | 9347.767 ± 280.43 | - | - |
| Fósforo Total | mg/L | 314.425 ± 14.8 | 244.912 ± 9.91 | - | - |
| Rubidio Total | mg/L | 1.1 ± 0.23 | 3.8173 ± 0.47 | - | - |
| Silicio Total | mg/L | 10.8 ± 2.81 | 31.74 ± 0.77 | - | - |
| Sílice Total | mg/L | 23.11 ± 6.01 | 67.90 ± 1.68 | - | - |
| Estroncio Total | mg/L | 0.24 ± 0.05 | 0.4110 ± 0.029 | - | - |
| Tantalio Total | mg/L | 0.12 ± 0.02 | <0.0021 | - | - |
| Titanio Total | mg/L | 1.09 ± 0.002 | 0.4477 ± 0.00090 | - | - |

Nota. ¹ECA AGUA Categoría 3- D1: Riego de vegetales - Agua para riego no restringido.

Los resultados del análisis posterior al tratamiento del lactosuero revelan que la conductividad presenta un valor de $9,530.00 \pm 2,573.10$ uS/cm, lo cual es considerablemente superior al valor inicial del lactosuero sin tratar, que era de $6,460.00 \pm 1744.2$ uS/cm, excediendo así el límite establecido por el ECA de 2500 uS/cm. Por otro lado, el pH final alcanzó 7.00 unidades en

comparación con el valor inicial de 5.00 ± 0.14 , este cambio se debe a la neutralización del lactosuero con ácido sulfúrico al 5 N antes de la precipitación con NaOH.

En cuanto al OD, el valor final después del tratamiento fue inferior a 1.0 mg/L, en contraste con el valor inicial de 10.1 ± 2.6 mg/L, cumpliendo con el estándar establecido por el ECA (≥ 4 mg/L). Además, se observó una diferencia significativa en los valores finales de DQO y DBO: $2,479.0 \pm 52.80$ mg/L y $1,148.8 \pm 34.70$ mg/L, en comparación con los valores iniciales de $34,511.9 \pm 425.3$ mg/L y $4,705.0 \pm 894$ mg/L, respectivamente. A pesar de que los valores finales de DQO y DBO aún exceden los límites de la normativa, es importante destacar que se logró una reducción sustancial en la concentración gracias a la precipitación química.

Según lo informado por Prazeres, et al. (2016) un pH de 11,0 proporciona la máxima eliminación de DQO y, por ende, de DBO. Sin embargo, un exceso de NaOH provoca un aumento en la conductividad eléctrica y, por lo tanto, en la salinidad, ya que ambos parámetros están relacionados debido al incremento en la cantidad de iones disueltos.

Además, los autores mencionan que estos valores se deben a las reacciones que ocurren al agregar NaOH, lo que provoca cambios en los valores de ciertos parámetros en el lactosuero crudo, que contiene materia orgánica, iones, bicarbonatos, partículas suspendidas, entre otros. Los cationes existentes reaccionan con OH⁻ para formar hidróxidos de calcio y magnesio, lo que explica el aumento de estos valores finales después del tratamiento químico. Por lo tanto, la conductividad eléctrica aumenta y la eliminación de DQO es elevada, lo que conlleva a un aumento de la conductividad eléctrica.

Los valores finales de cloruro (116.755 ± 2.86 mg/L) también muestran una reducción significativa en comparación con el valor inicial (1168.59 ± 26.5 mg/L). Asimismo, el valor de nitrito final (<0.007 mg/L) disminuyó en relación con el valor inicial (55.9 ± 11.2 mg/L). A pesar de que los resultados de nitrito iniciales excedieron el valor ECA establecido en la caracterización inicial, el valor final cumple con la normativa. En el caso del nitrato, tanto los valores iniciales (31.6 ± 7.3 mg/L) como los finales (<0.007 mg/L) cumplen con el estándar del ECA (100 mg/L). En cuanto a los sulfatos, tanto los valores iniciales (166.8 ± 17.2 mg/L) como los finales (140.225 ± 14.61 mg/L) superan la normativa en comparación con los valores máximos admisibles (VMA) de 100 mg/L.

La precipitación básica resulta efectiva en la reducción de parámetros fisicoquímicos. La presente investigación, en comparación con el estudio de Prazeres, et al. (2016) demuestran un rendimiento excepcional en la eliminación de varios contaminantes clave. En particular, se logró una reducción significativamente mayor en la DQO, DBO, y la dureza total. El presente estudio alcanzó una remoción del 92.82% en DQO y del 75.58% en DBO, en comparación con el 40% informado por Prazeres, et al. (2016). Además, la eliminación de dureza total en la presente investigación llegó al 75.62%, en contraste con el 40% logrado por los investigadores. Sin embargo, es importante señalar que el estudio de Prazeres, et al. (2016) logró remociones sustanciales en turbidez (91%), sólidos suspendidos totales (69%), sulfatos (93%), fósforo (53%), calcio (50%), magnesio (27%) y cloruros (12%) lo que sugiere que ambos estudios lograron resultados sobresalientes en diferentes áreas de tratamiento de efluentes. Estas diferencias pueden estar relacionadas con las condiciones específicas de cada experimento y los factores de diseño.

Cabe mencionar que los parámetros Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, La, Li, Lu, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Th, Ta, U, V, Wf, Yb, Zn y Zr, demostraron cumplir con los estándares ambientales establecidos en la normativa peruana, específicamente los VMA y ECA Agua. Estos elementos registraron concentraciones inferiores a los <0.1 mg/L, lo que indica un nivel de contaminación por debajo de los valores permitidos.

Tabla 18.

Comparación de componentes de la solución hidropónica comercial vs. lactosuero tratado.

| Componentes | Solución hidropónica | | Componentes | Lactosuero Tratado |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| | comercial | ¹ Cantidad | | |
| Macronutrientes | | | | |
| Nitrato de potasio | 1 g. | | Potasio | 1.0795 ± 0.0863 |
| Nitrato de amonio | 1.2 g. | | Nitrógeno | $1.236.11 \pm 0.0309$ |
| Superfosfato triple de calcio | 1.5 g. | | Calcio | 0.3258 ± 0.0815 |
| Sulfato de magnesio | 0.5 g. | | Magnesio | 0.08531 ± 0.0179 |
| Micronutrientes | | | | |
| Hierro | 0.1 g. | | Hierro | <0.0001 |
| Manganeso | 0.1 g. | | Manganeso | <0.0001 |
| Cobre | 0.1 g. | | Cobre | <0.0001 |

| | | | |
|-----------|--------|-----------|---------|
| Zinc | 0.1 g. | Zinc | <0.0001 |
| Molibdeno | 0.1 g. | Molibdeno | <0.0001 |
| Cloro | 0.1 g. | - | - |

Nota. ¹Valores de solución hidropónica comercial UNALM.

Como se puede observar en la Tabla 18, los componentes de la solución hidropónica comercial presentan cantidades similares de nutrientes en comparación con el lactosuero tratado. Por ejemplo, el nitrato de potasio contiene tanto nitrógeno como potasio, contribuyendo así al desarrollo general de la planta. El nitrógeno desempeña un papel esencial en el crecimiento vegetal al participar activamente en la formación de proteínas, aminoácidos y clorofila. De manera similar, el calcio y el magnesio, también presentes en ambas soluciones, son nutrientes esenciales que desempeñan roles cruciales en diversos procesos fisiológicos y estructurales dentro de las células vegetales. Es importante destacar que, aunque la cantidad de micronutrientes en ambas soluciones es mínima, su presencia es vital para el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas.

Es relevante resaltar que, en la hidroponía, donde las plantas obtienen directamente sus nutrientes de una solución nutritiva en lugar de a través del suelo, es fundamental proporcionar micronutrientes de manera equilibrada. Aunque en cantidades pequeñas, estos micronutrientes desempeñan un papel crucial en los procesos metabólicos y estructurales de las plantas.

4.1. Evaluación de la eficiencia del efluente lácteo tratado y crudo como solución nutritiva para cultivos hidropónicos de las especies vegetales: *Lactuca sativa* (Lechuga), *Brassica oleracea* (Repollo) y *Solanum lycopersicum* (Tomate).

4.3.1. Germinación y sistemas hidropónicos

4.3.1.1. Germinación inicial

El riego para la germinación inicial se hizo dos veces al día con agua potable en un ambiente controlado con un fotoperiodo de 24 horas. Para su trasplante se enjuagaron las raíces 3 veces con agua potable y 1 vez con agua destilada colocando las raíces en esponjas hidropónicas en celdas especiales para su posterior desarrollo vegetativo con las soluciones nutritivas con el lactosuero crudo y tratado. Se utilizó sustrato de coco debido a sus propiedades físicas que son adecuadas para el cultivo realizados en contenedores pequeños como las bandejas de germinación, además de ello la retención de humedad es vital para el desarrollo de las plántulas, tal como lo mencionan Puerta et al. (2012) en su investigación, dando a conocer que el sustrato de fibra de coco presenta un 53.66% de este parámetro, este valor es el adecuado según Cabrera (2002) el cual señala que la retención de humedad debe presentar valores entre 55 a 70%.

4.3.1.2. Sistemas hidropónicos con efluente lácteo crudo y tratado.

La preparación de soluciones nutritivas se realizó con efluente crudo y efluente tratado neutralizado. Cabe resaltar, que se optó el tratamiento de lactosuero por precipitación alcalina debido a costos de experimentación y porcentaje de remoción de DQO realizado en la práctica experimental obteniendo una gran eficiencia.

- **Efluente crudo:** Se tuvo un desarrollo favorable a una dilución de 1:20 de lactosuero crudo, esto se evidencia en los gráficos mostrados en el apartado 4.3.2. Evaluación de la eficiencia. Se utilizó 4 plántulas de cada especie: *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* y *Brassica oleracea*, respectivamente y se colocó en vasos PS con 50 ml de la solución diluida, la solución se aumentaba en cada sistema hidropónico cada 3 días a medida que disminuía el volumen. Sin embargo, no se tuvo resultados favorables puesto que el nivel de concentración de parámetros fisicoquímicos del lactosuero era muy elevado. Se observó el desarrollo vegetativo durante 7 semanas de crecimiento.
- **Efluente tratado neutralizado:** Se utilizó el lactosuero tratado por precipitación de NaOH en diferentes diluciones (1:5, 1:10 y 1:20) y el pH del lactosuero una vez tratado fue de 11.75 tal y como se visualiza en la Figura 79, posteriormente fue neutralizado con ácido sulfúrico al 5 N para tener un pH neutro, las soluciones nutritivas se utilizaron en 4 plántulas de cada especie: *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* y *Brassica oleracea*, respectivamente. Se procedió a la evaluación del desarrollo vegetativo durante 7 semanas evaluando diferentes parámetros. La precipitación química por precipitación de NaOH es un tratamiento efectivo debido al rendimiento que tiene en el desarrollo vegetativo, Prazeres et al. (2016) utilizaron este método para el crecimiento de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. Donde se demostró que es un proceso fisicoquímico viable puesto que disminuyó la carga orgánica y otros parámetros siendo beneficioso para el crecimiento de *Lycopersicon esculentum* Mill.

- **Control positivo:** Para evaluar el desarrollo vegetativo de los sistemas hidropónicos mencionados anteriormente, se optó por tener un control positivo (solución hidropónica UNALM) durante las 7 semanas de crecimiento en las 3 especies vegetativas por cuadruplicado, donde se añadió 50 ml de cada solución a cada prototipo. La solución hidropónica utilizada fue preparada en un vaso de precipitado con las dos soluciones que la componen (A y B).

La solución A contenía nitrato de potasio, nitrato de amonio y superfosfato triple de calcio, mientras que, la solución B consistía en una mezcla de sulfato de magnesio y micronutrientes (hierro, boro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno y cloro), de esta manera se preparó la solución para usarla como solución nutritiva, la preparación consistió en añadir 5 ml de solución A y 2 ml de solución B por cada litro de agua.

El desarrollo del control positivo se visualiza en los gráficos mencionados en el apartado 4.3.2. Evaluación de la eficiencia. Cabe mencionar que, en la Figura 83 muestra el proceso de precipitación alcalina del lactosuero, y la Figura 84 representa la agitación rápida y lenta con diferentes dosis de coagulantes.

4.3.2. Evaluación de la eficiencia

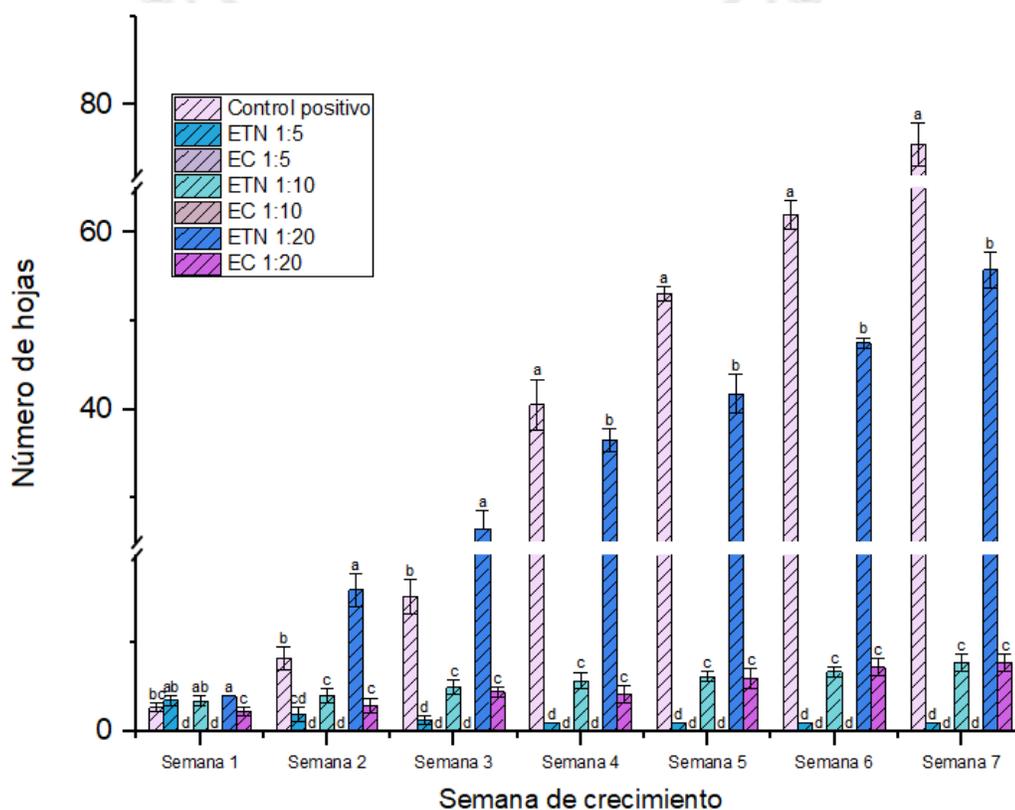
Se consideraron diferentes parámetros para la evaluación del desarrollo vegetativo, para la validación de resultados se realizó pruebas estadísticas con el software Minitab 19, donde se ejecutó pruebas de normalidad, homocedasticidad, análisis de varianza ANOVA y prueba Tukey.

4.3.2.1. Parámetros evaluados para *Solanum lycopersicum*.

- Número de hojas

Figura 11.

Número de hojas de *Solanum lycopersicum* vs. Tratamiento.



Como se puede apreciar en la Figura 11, durante la primera semana de crecimiento, los sistemas hidropónicos mostraron un desarrollo similar. No obstante, a partir de la semana 2, se hicieron evidentes las diferencias entre los sistemas de hidroponía que utilizaron lactosuero tratado neutralizado en diluciones 1:5 (en adelante, ETN 1:5), 1:10 (en adelante, ETN 1:10), 1:20 (en adelante, ETN 1:20), y lactosuero crudo en dilución 1:20 (en adelante,

EC 1:20). En contraste, el control positivo (en adelante, CP) dio un promedio de 75 hojas desarrolladas en la semana final (Semana 7). En comparación, los valores promedio de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 fueron 1, 7, 55 y 7 hojas desarrolladas, respectivamente.

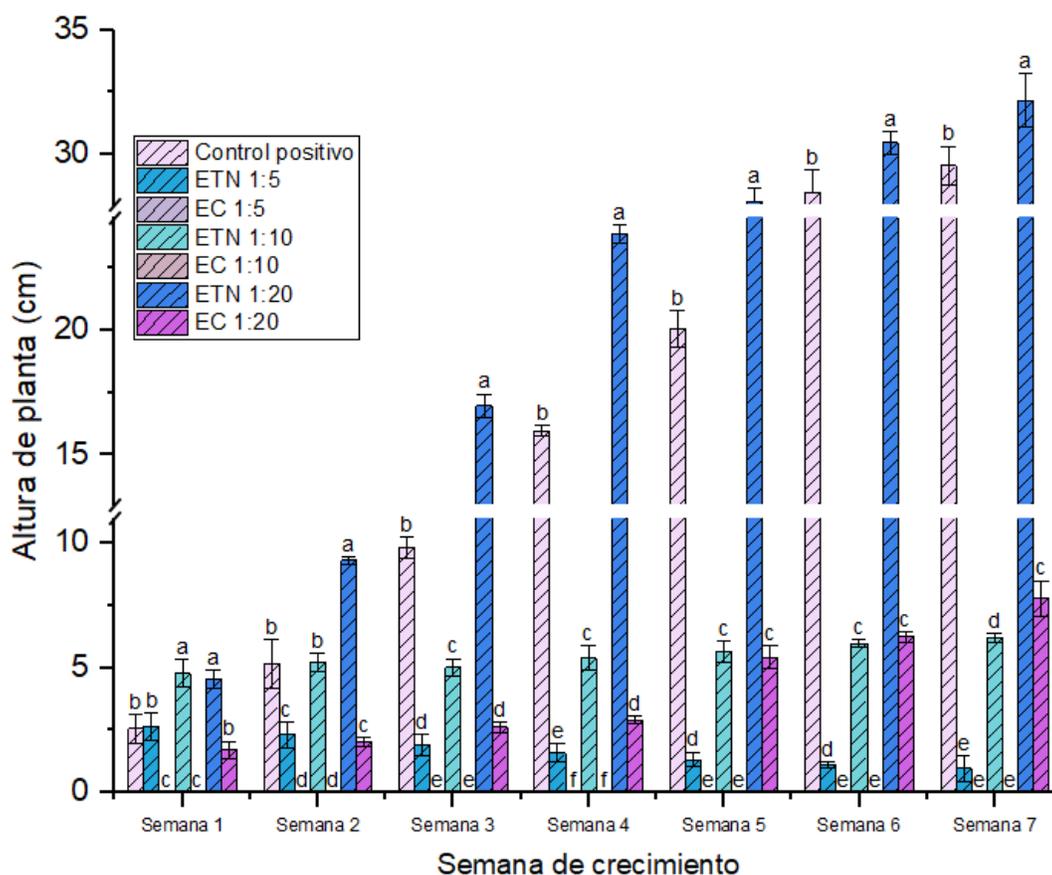
Prazeres et al. (2014) solo evaluaron el número de hojas durante la última semana (semana 14), obteniendo valores de 114 hojas para las especies nutridas con lactosuero tratado neutralizado en su mejor dilución (1:50) y 117 hojas desarrolladas en dilución 1:22. Asimismo, aquellas especies que utilizaron solución nutritiva comercial alcanzaron 150 hojas desarrolladas. Esto sugiere que, al igual que el presente estudio, el sistema hidropónico que utilizó solución hidropónica comercial CP (75 hojas) comparado con aquel sistema hidropónico que utilizó lactosuero tratado neutralizado ETN 1:20 (55 hojas) tuvo un desarrollo similar de este parámetro.

Los investigadores indican que el número inicial de hojas desempeña un papel fundamental en el desarrollo del crecimiento de las plantas. Cabe mencionar que los sistemas hidropónicos con efluente crudo en dilución 1:5 (en adelante, EC 1:5) y efluente crudo en dilución 1:10 (en adelante, EC 1:10) no sobrevivieron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante. En comparación con el presente estudio el sistema hidropónico ETN 1:20 (32.175 cm.) tuvo mejor desarrollo de este parámetro respecto al CP (29.55). Cabe mencionar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no sobrevivieron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Altura de planta**

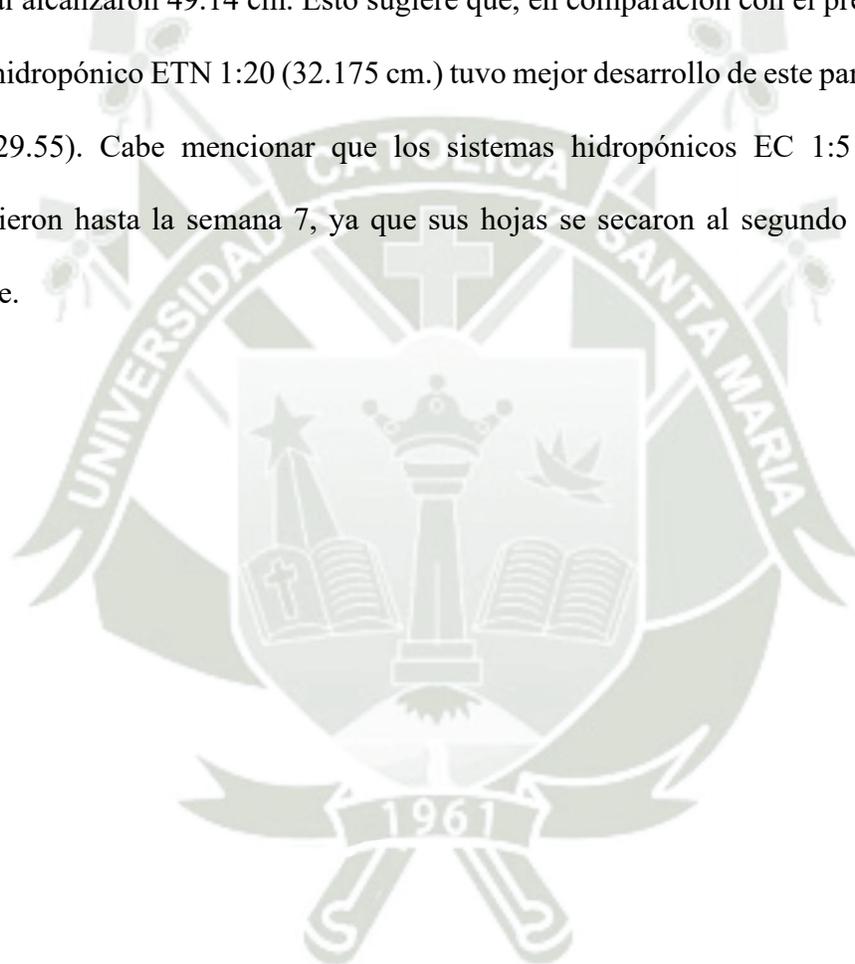
Figura 12.

Altura de la planta de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



Como se puede apreciar en la Figura 12 a partir de la semana 1, se hicieron evidentes las diferencias entre los sistemas de hidroponía ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En contraste, el CP dio un promedio de cm 29.55 cm de altura de la planta en la semana final (Semana 7). En comparación, los valores promedio de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 fueron: 0.975 cm, 6.200 cm, 32.175 cm y 7.775 cm, respectivamente.

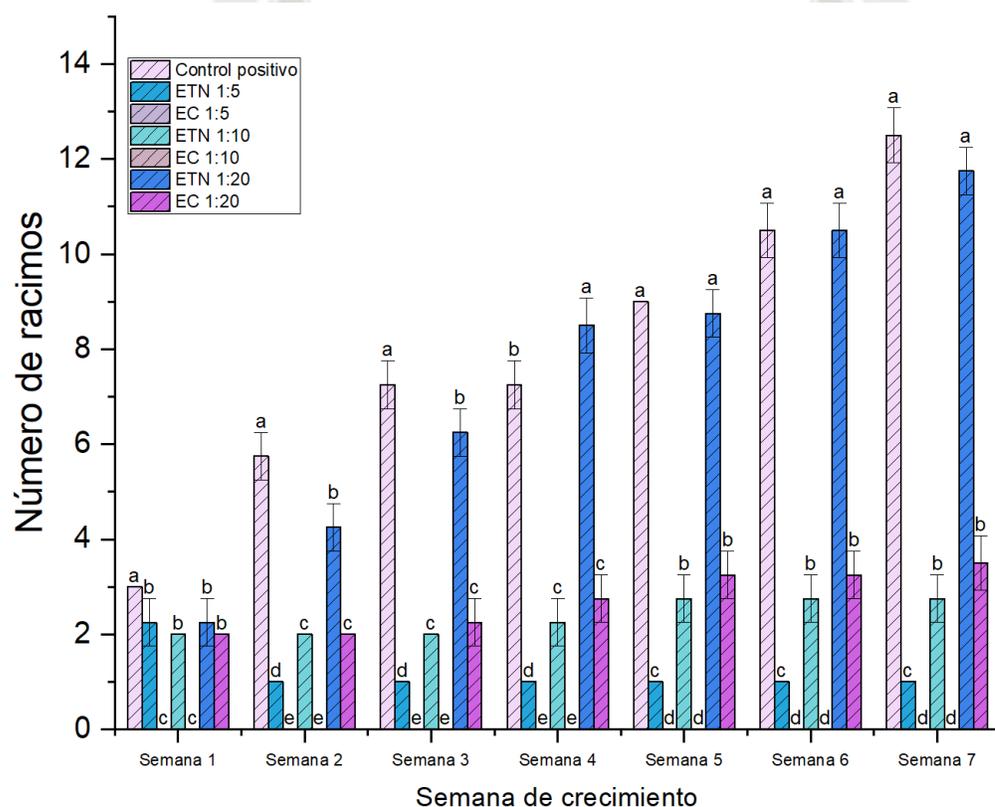
Prazeres et al. (2014) evaluaron la altura de la planta solo en la última semana de crecimiento (semana 14), reportando valores de 58.12 cm. para las especies nutridas con lactosuero tratado en dilución 1:22. Asimismo, aquellas especies que utilizaron solución nutritiva comercial alcanzaron 49.14 cm. Esto sugiere que, en comparación con el presente estudio el sistema hidropónico ETN 1:20 (32.175 cm.) tuvo mejor desarrollo de este parámetro respecto al CP (29.55). Cabe mencionar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no sobrevivieron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.



• **Número de racimos por planta**

Figura 13.

Número de racimos de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



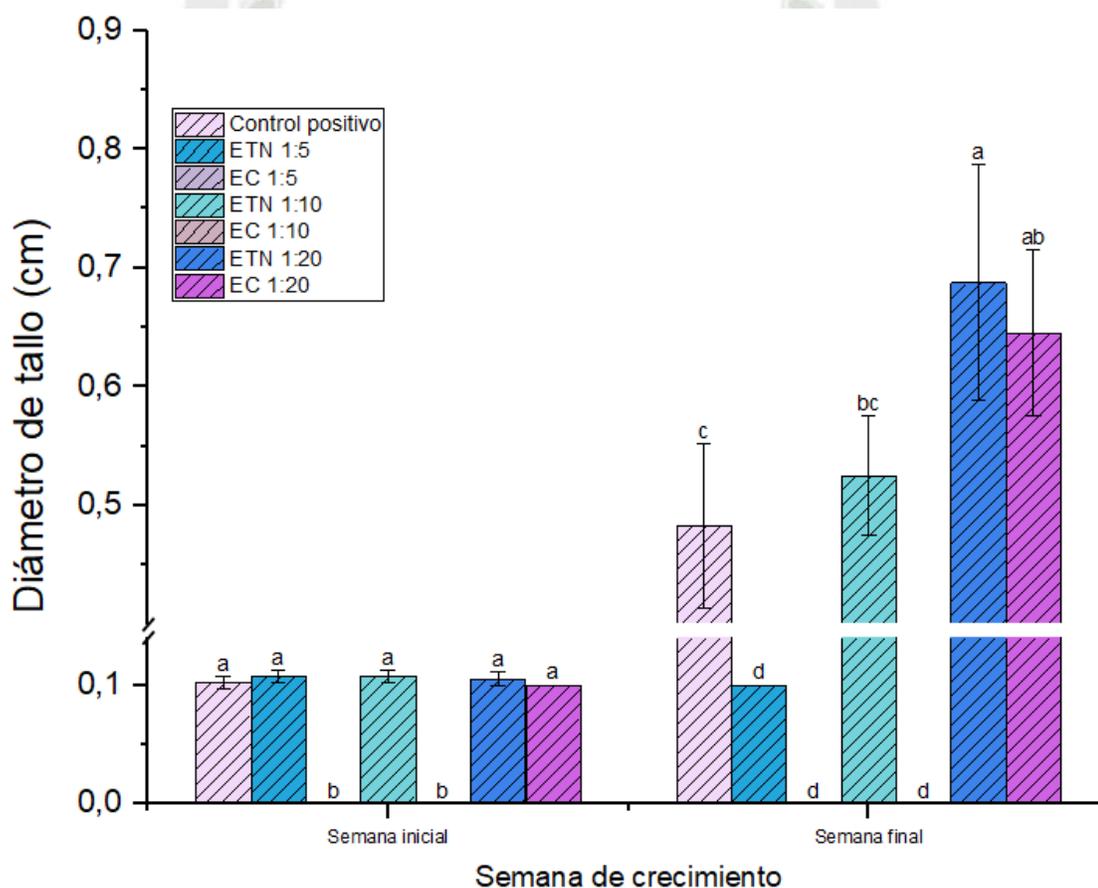
Como se puede apreciar en la Figura 13 a partir de la semana 2, se hicieron evidentes las diferencias entre los sistemas de hidroponía ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En contraste, el CP dio un promedio de 12,5 racimos desarrollados en la semana final (Semana 7). En comparación, los valores promedio de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 fueron: 1, 2.75, 11.75 y 3.5 racimos, respectivamente.

Prazeres et al. (2014) evaluaron el número de racimos en la última semana de crecimiento (semana 14), donde reportaron que cada planta de tomate produjo un promedio de 17 a 24 racimos en el caso de las especies que utilizaron aguas residuales de suero de queso pretratado en dilución 1:22 respecto al control (27 racimos), en este estudio se realizó una prueba estadística de diferencia mínima significativa (LSD) con una confianza rango del 95%, donde según la prueba LSD, no se observó ningún efecto significativo de los factores estudiados para el número de racimos por planta, el número de tomates por planta y el número de tomates por racimo. A partir de esto, se puede concluir que el presente estudio tampoco tuvo diferencias significativas entre el sistema hidropónico ETN 1:20 (11,75 racimos) y el CP (12, 5 racimos), los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no sobrevivieron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

• Grosor del tallo

Figura 14.

Diámetro de tallo de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



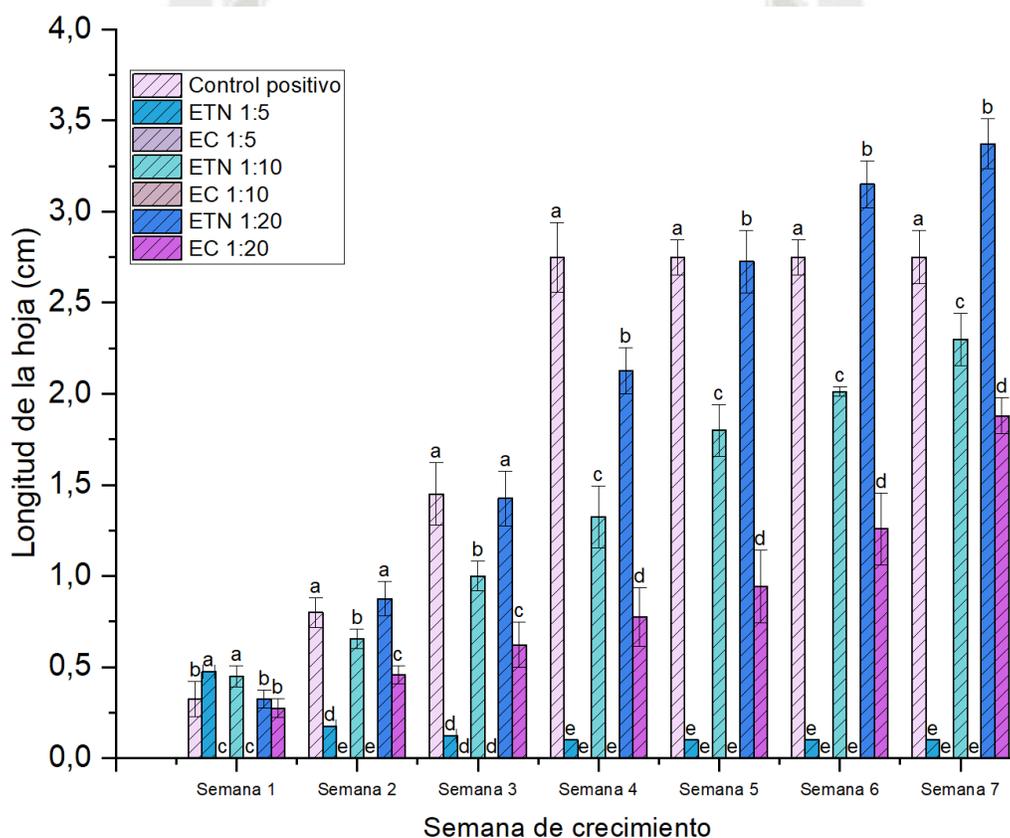
Como se observa en la Figura 14, durante la primera semana de crecimiento los sistemas de hidroponía tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto a ETN 1:20 dio un valor promedio de 0.69 cm de diámetro en comparación a los resultados de CP, ETN 1:5, ETN 1:10 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.48 cm, 0.10 cm, 0.53 cm y 0.65

cm de diámetro de tallo, respectivamente. Cabe resaltar que, a la actualidad no se evaluó este parámetro con este tipo de efluente; sin embargo, Magwaza et al., (2020) evaluaron este parámetro para *Solanum lycopersicum L.* nutrido con efluente de un reactor anaeróbico, donde reportaron que se obtuvo un promedio de 0.76 cm en el día 30 de crecimiento en el caso de las especies nutridas con efluente del reactor anaeróbico respecto a aquellas que utilizaron una mezcla de fertilizantes hidropónicos comerciales (0.83 cm), el estudio menciona que, a lo largo de los experimentos, las soluciones nutritivas no tuvieron un efecto significativo sobre el diámetro del tallo. Por tal, se concluye que, en comparación al estudio de Magwaza et al., (2020), el presente estudio tuvo mayor diámetro de tallo para la solución de ETN 1:20 respecto a CP. Los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no desarrollaron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- Longitud de hoja

Figura 15.

Largo de la hoja de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



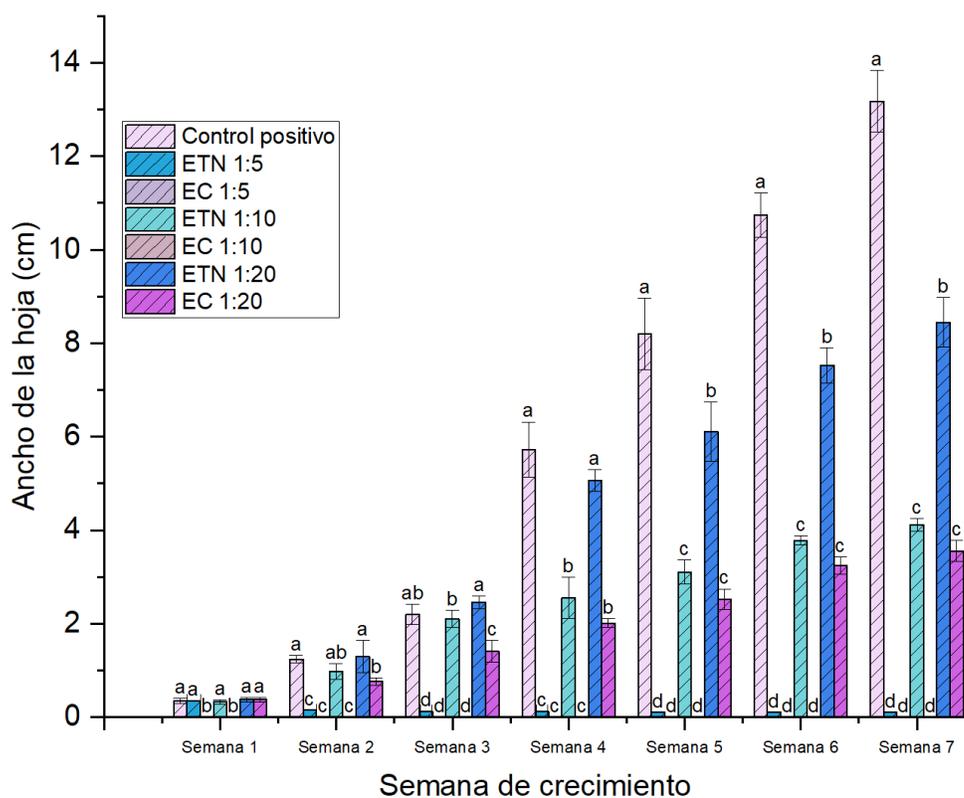
Como se observa en la Figura 15 durante la primera semana de crecimiento los sistemas de hidroponía tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto CP dio un valor promedio de 4,483 cm de longitud de hoja en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.10 cm, 2.30 cm, 3.37 cm y 1.88 cm de longitud de hoja, respectivamente. Cabe resaltar que, a la actualidad

no se evaluó este parámetro con este tipo de efluente; sin embargo, Magwaza et al., (2020) evaluaron este parámetro para *Solanum lycopersicum L.* nutrido con efluente de un reactor anaeróbico, donde reportaron que se obtuvo un promedio de 2.40 cm en el día 30 de crecimiento en el caso de las especies nutridas con efluente del reactor anaeróbico respecto a aquellas que utilizaron una mezcla de fertilizantes hidropónicos comerciales (3.15 cm). De esta manera, se concluye que el presente estudio y el reportado por Magwaza et al., (2020), indican que las soluciones nutritivas comerciales tienen mayor desarrollo de longitud de hoja respecto a aquellos efluentes tratados como soluciones nutritivas. Los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no desarrollaron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Ancho de la hoja**

Figura 16.

Ancho de la hoja de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



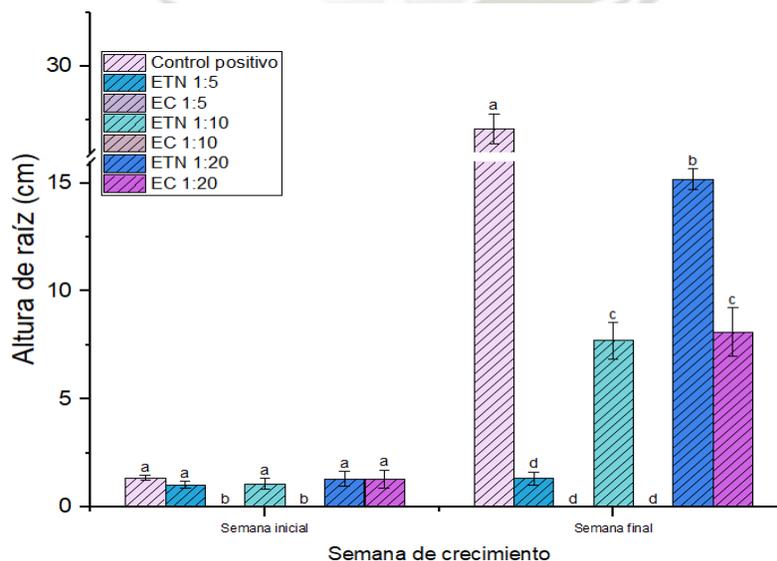
Como se observa en la Figura 16 durante la primera semana de crecimiento los sistemas de hidroponía tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto CP dio un valor promedio de 6,43 cm de ancho de hoja en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 1.23 cm, 1.81 cm, 3.42 cm y 2.86 cm de ancho de hoja, respectivamente. Cabe resaltar que, a la actualidad no se evaluó este parámetro con este tipo

de efluente; sin embargo, Magwaza et al., (2020) evaluaron este parámetro para *Solanum lycopersicum L.* nutrido con efluente de un reactor anaeróbico, donde reportaron que se obtuvo un promedio de 2.87 cm en el día 30 de crecimiento en el caso de las especies nutridas con efluente del reactor anaeróbico respecto a aquellas que utilizaron una mezcla de fertilizantes hidropónicos comerciales (3.08 cm). De esta manera, se concluye que el presente estudio y el reportado por Magwaza et al., (2020), indican que las soluciones nutritivas comerciales tienen mayor desarrollo de ancho de hoja respecto a aquellos efluentes tratados como soluciones nutritivas. Los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no desarrollaron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante. La Figura 82 se centra en la evaluación del parámetro de altura de la planta.

- **Altura de la raíz**

Figura 17.

Altura de la raíz de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



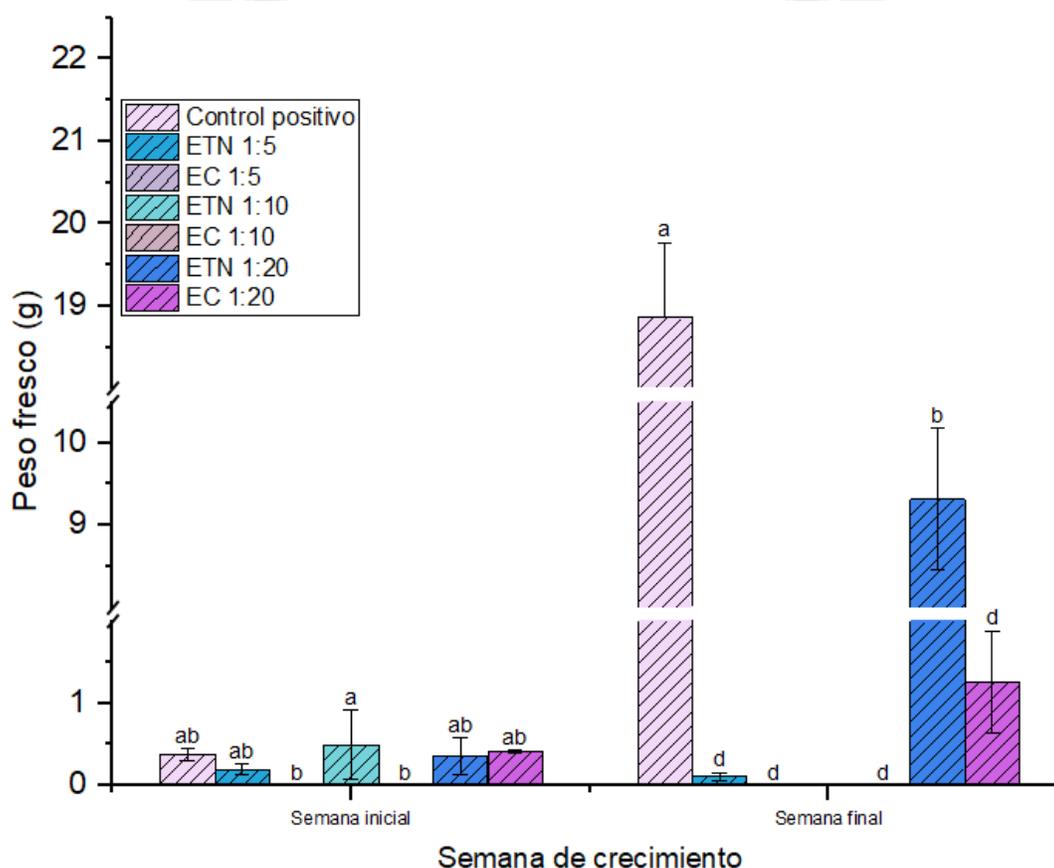
Como se observa en la Figura 17, durante la primera semana de crecimiento los sistemas hidropónicos tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto CP dio un valor promedio de 27.13 cm de altura de raíz en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 1.33 cm, 7.70 cm, 15.18 cm y 28.1 cm de altura de raíz, respectivamente.

Hasta la fecha, no se ha evaluado este parámetro para este tipo de especie. Sin embargo, en un estudio previo, Sato et al. (2006) observaron un incremento significativo, entre 10 y 18 veces, en la altura de las raíces de una especie de tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill., cuando fueron expuestos a un efluente tratado que contenía NaCl, en comparación con otros tipos de efluentes. Esto sugiere que esta especie es resistente a condiciones salinas y puede desarrollarse de manera óptima, como se observa en el presente estudio. Por otro lado, es importante señalar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron desarrollo vegetativo hasta la última semana 7, debido a que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Peso fresco**

Figura 18.

Peso fresco de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 18, en la semana inicial todas las especies tuvieron un desarrollo vegetativo similar respecto a este parámetro. Para la semana final, se observó una clara diferencia entre el CP: 18.86 g y los sistemas hidropónicos ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 con valores de: 0.11 g, 2.67 g, 9.32 g, y 1.26 g de peso fresco respectivamente. Esto indica que el efluente tratado neutralizado no tuvo diferencia significativa respecto a los valores de solución

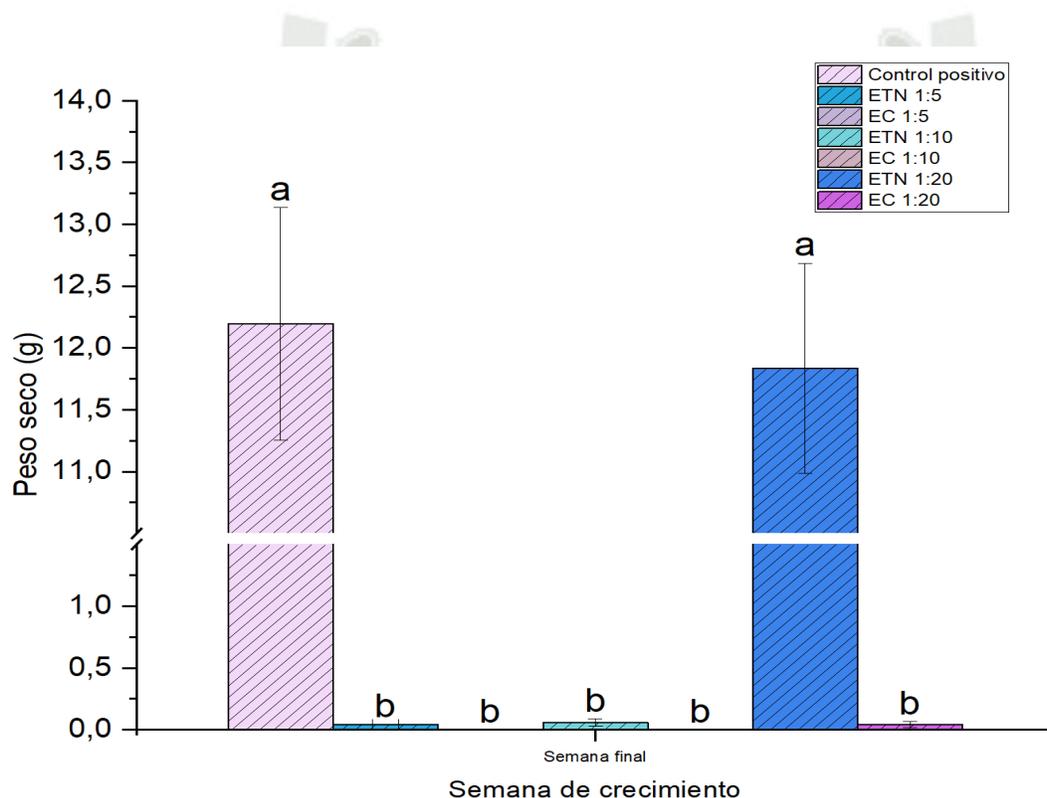
hidropónica (CP). Por otro lado, Prazeres, et al. (2016), llevaron a cabo una investigación en la que sometieron un cultivar de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Cultivar de tomate de Rio Grande) al riego con aguas residuales de suero de queso tratadas con NaOH durante un período de 72 días. Este experimento, reveló diferencias significativas en el peso fresco de las plantas en comparación con el grupo de control, que utilizó agua fresca. El control dio un valor de 52.0 ± 6.8 g de peso fresco. Por el contrario, los tratamientos que involucraron lactosuero tratado con precipitación de NaOH y sus diferentes diluciones con agua fresca, como T1 (dilución 1:50), T2 (dilución 1:22), T3 (dilución 1:10), T4 (dilución 1:5) y T5 (dilución 1:2), exhibieron valores de: 66.0 ± 4.9 g, 57.4 ± 6.5 g, 58.0 ± 3.8 g, 43.2 ± 5.6 g, 38.0 ± 1.6 g y 6.81 g, respectivamente. Esto indica claramente la influencia de la fuente de riego en el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate. Es importante señalar que, a diferencia de la investigación previa, en el presente estudio los sistemas ETN 1:5 y ETN 1:10 no lograron un desarrollo óptimo o similar al de ETN 1:20 (9.32 g); no obstante, ETN 1:20 evidenció un desarrollo muy similar al control positivo (CP) tal como se observó en el estudio de Prazeres et al. (2016).

En adición a ello, Sato et al. (2006), evaluaron este parámetro el última día de experimentación (día 97), donde determinaron 133.7 g. de peso fresco de las especies que crecieron con un efluente tratado solución nutritiva con NaCl, respecto a las 188.4 g de peso fresco de las especies que utilizaron solo con solución nutritiva, por lo que se observó una diferencia significativa entre los tratamientos mediante Prueba T al nivel del 5%. Por otro lado, es importante señalar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron desarrollo vegetativo hasta la última semana 7, debido a que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Peso seco**

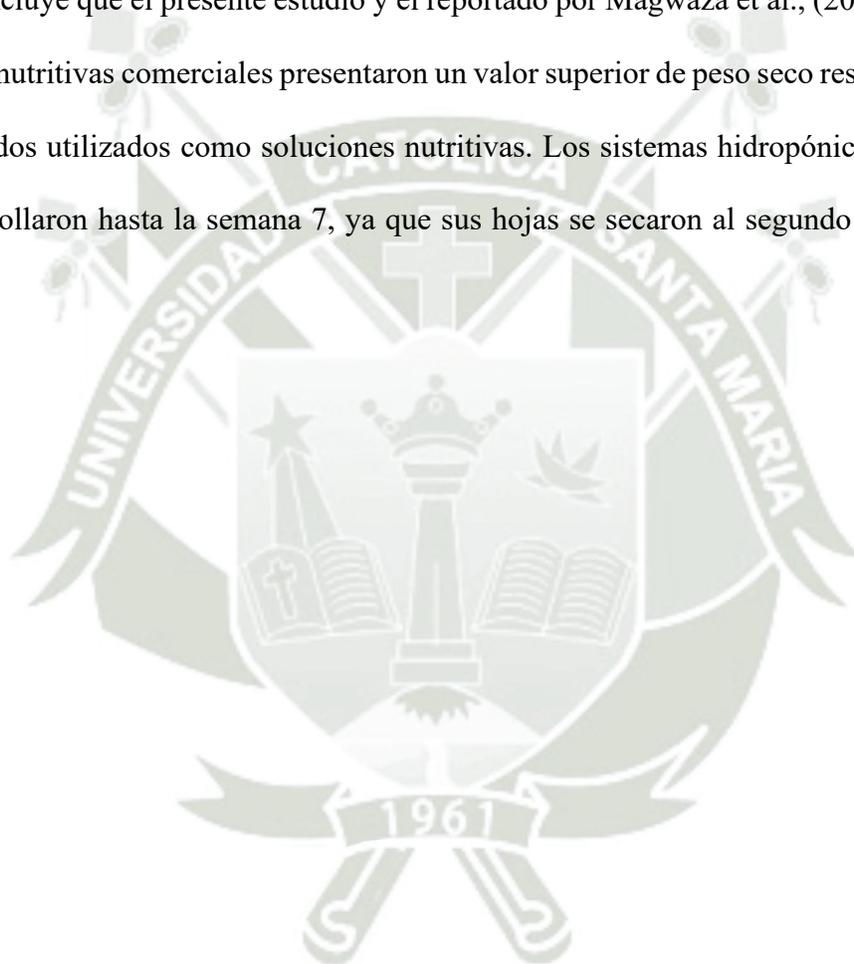
Figura 19.

Peso seco de Solanum lycopersicum vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 19, este parámetro fue evaluado solamente en la semana final (semana 7), por lo que se observó una clara diferencia entre el CP: 12.19 g y los sistemas hidropónicos ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 con valores de: 0.04 g, 0.06 g, 11.84 g y 1.26 g de peso fresco respectivamente. Esto indica que el efluente tratado neutralizado no tuvo diferencia significativa respecto a los valores de solución hidropónica (CP). Cabe resaltar que, a la actualidad no se evaluó este parámetro con este tipo de efluente; sin embargo, Magwaza, et al. (2020) evaluaron este parámetro para *Solanum lycopersicum L.* nutrido con efluente de un reactor

anaeróbico, donde reportaron que se obtuvo un promedio de 42 g. de peso seco en el día 30 de crecimiento en el caso de las especies nutridas con efluente del reactor anaeróbico respecto a aquellas que utilizaron una mezcla de fertilizantes hidropónicos comerciales (102 g.). De esta manera, se concluye que el presente estudio y el reportado por Magwaza et al., (2020), indican que las soluciones nutritivas comerciales presentaron un valor superior de peso seco respecto a aquellos efluentes tratados utilizados como soluciones nutritivas. Los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no desarrollaron hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

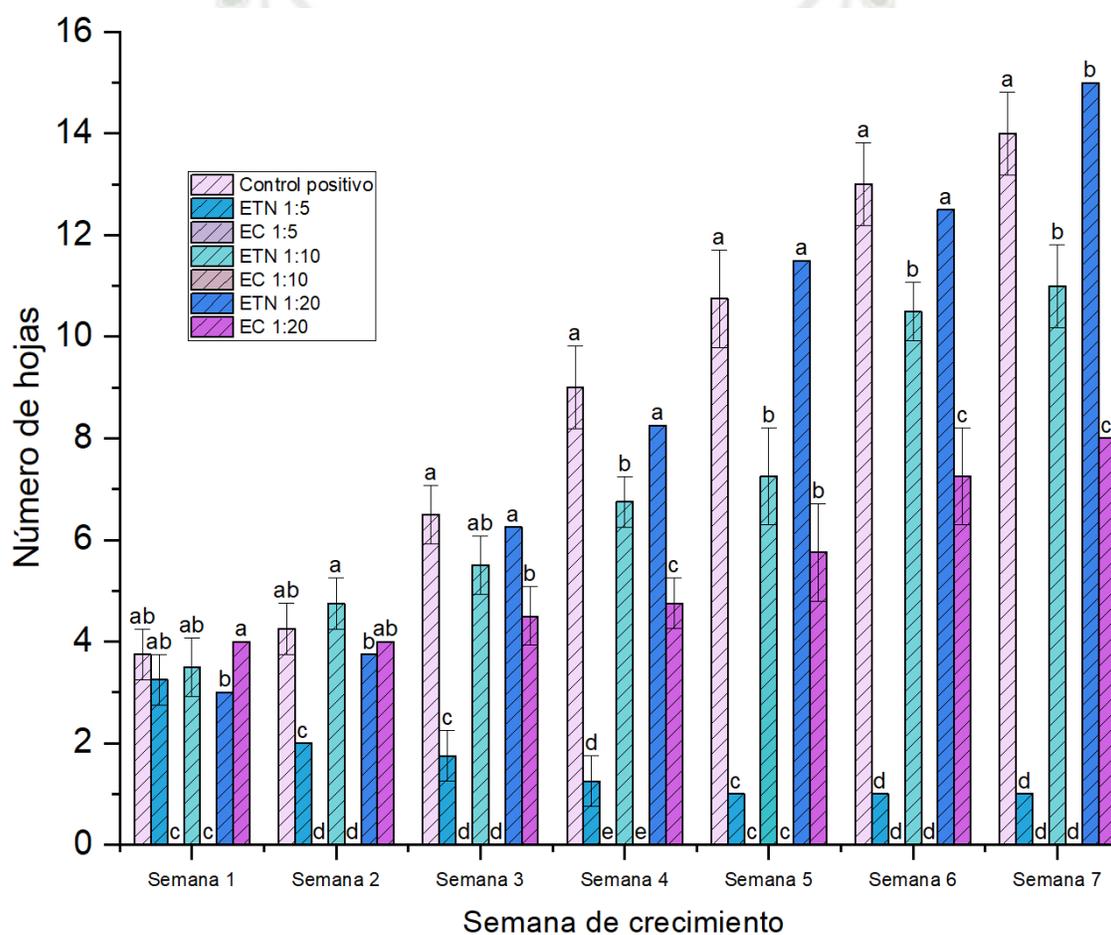


4.3.2.2. Parámetros evaluados para *Lactuca sativa*.

- Número de hojas

Figura 20.

Número de hojas de *Lactuca sativa* vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 20 durante la primera semana de crecimiento las unidades experimentales tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto

CP dio un valor promedio de 14 hojas en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 1, 11, 15 y 8 hojas, respectivamente.

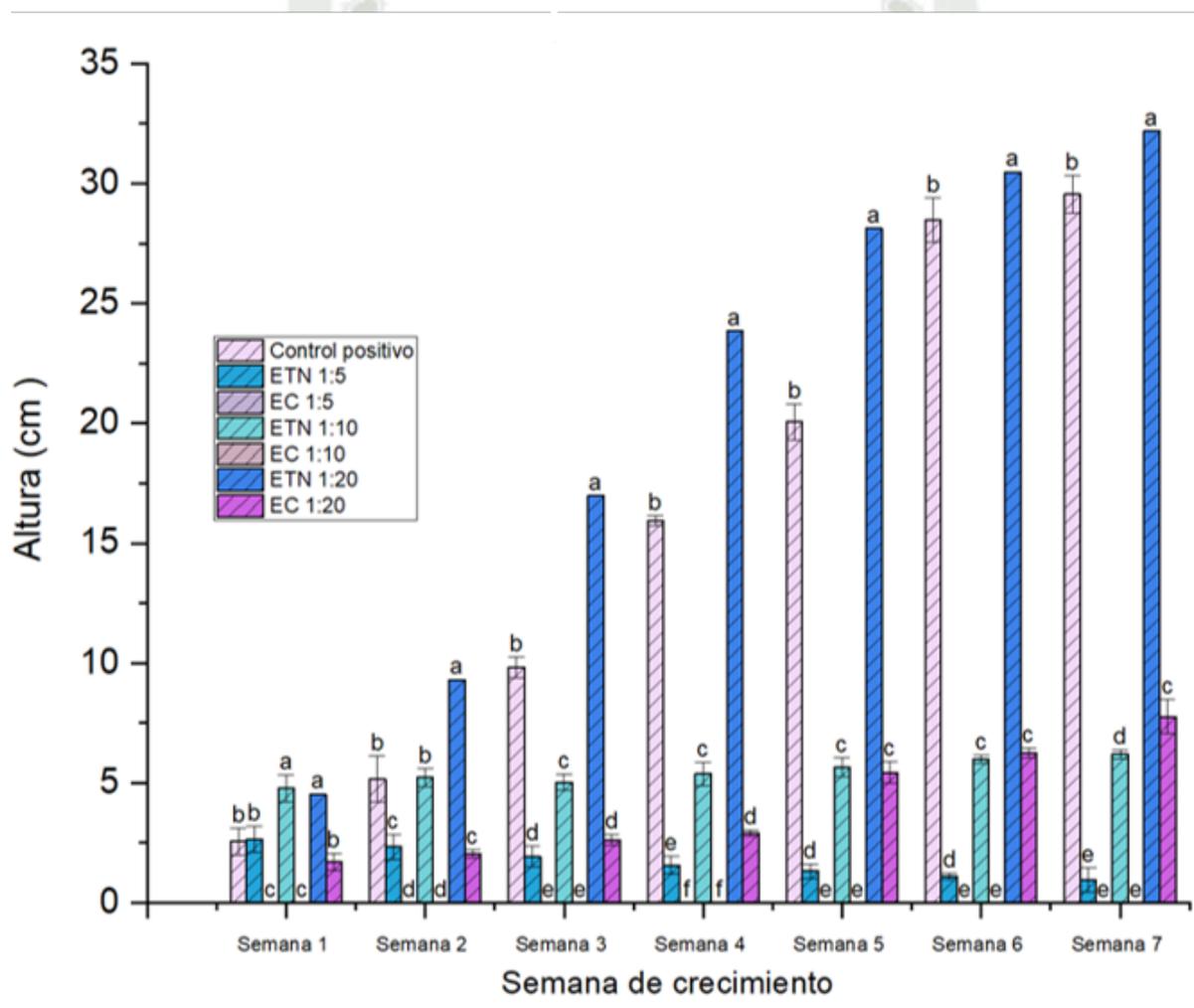
A la actualidad no se reportaron trabajos de investigación que hayan utilizado lactosuero tratado en *Lactuca sativa*, sin embargo, si se evidenció reportes en *Solanum lycopersicum* como lo anteriormente expuesto (Magwaza et al. 2020; Prazeres et al., 2014; Prazeres et al., 2016). Sin embargo, Lee et al. (2021) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* con aguas residuales domésticas tratadas durante un período de 4 semanas. Al finalizar las 4 semanas, obtuvieron un total de 26 hojas desarrolladas de lechuga en el grupo de control, que utilizó una solución de Hoagland (en adelante, HHS), una solución rica en nutrientes. En comparación, las plantas nutridas con aguas residuales domésticas tratadas en dilución 1:20 (en adelante, NAE) presentaron 17 hojas desarrolladas en la misma semana. Esto indica que, a diferencia del estudio de Lee et al. (2021), en el presente estudio, las unidades experimentales que utilizaron lactosuero tratado ETN 1:20 (15 hojas) alcanzaron un mayor desarrollo en comparación con el CP (14 hojas). Asimismo, los investigadores destacaron que, en su investigación, no se evidenció diferencias significativas en términos de altura, número de hojas, peso de biomasa seca y fresca.

Es relevante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Altura de planta**

Figura 21.

Altura de la planta de Lactuca sativa vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 21 durante la primera semana de crecimiento las unidades experimentales tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto

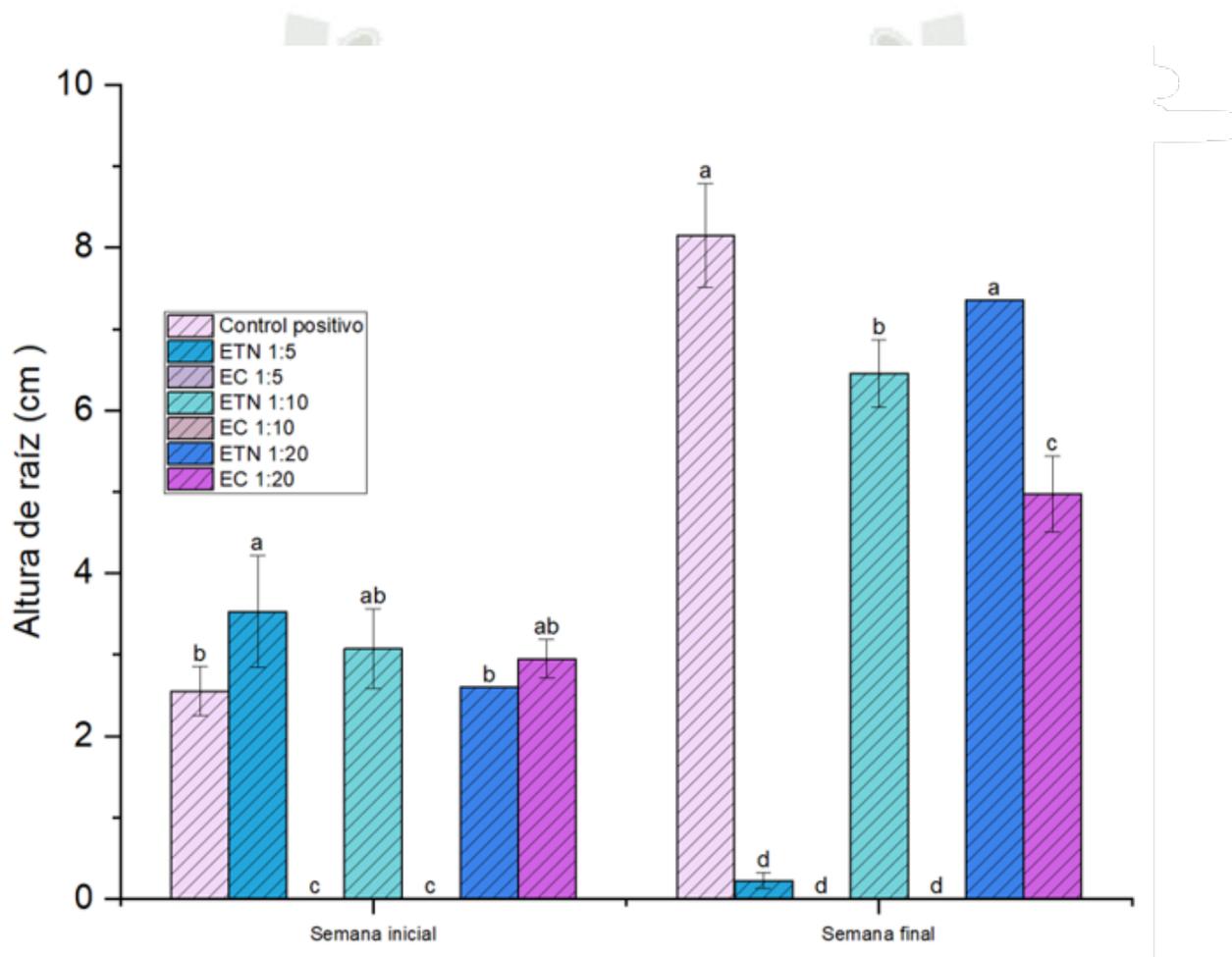
CP dio un valor promedio de 18.10 cm. en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 1.10 cm., 9.33 cm., 14.28 cm y 9.65 cm., respectivamente.

A la actualidad no se reportaron trabajos de investigación que hayan utilizado lactosuero tratado en *Lactuca sativa*, sin embargo, Lee et al. (2021) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* con aguas residuales domésticas tratadas durante un período de 4 semanas. Al finalizar las 4 semanas, el grupo de control evidenció 11.4 cm. de altura de planta al igual que las lechugas que fueron nutridas con ARD (11,4 cm.). Esto sugiere que, si bien en el presente estudio el resultado de este parámetro no tuvo valores iguales en ambas unidades experimentales (CP y ETN 1:20) como lo reportado por Lee et al. (2021), las unidades experimentales que utilizaron lactosuero tratado ETN 1:20 (14.28 cm.) alcanzaron una altura similar al CP (18.10 cm.). Es relevante destacar que, los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Altura de la raíz**

Figura 22.

Altura de la raíz de Lactuca sativa vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 22 durante la primera semana de crecimiento las unidades experimentales se evaluaron al inicio y fin de la experimentación; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto CP dio un valor promedio de 8.15 cm. en comparación a los resultados de ETN 1:5,

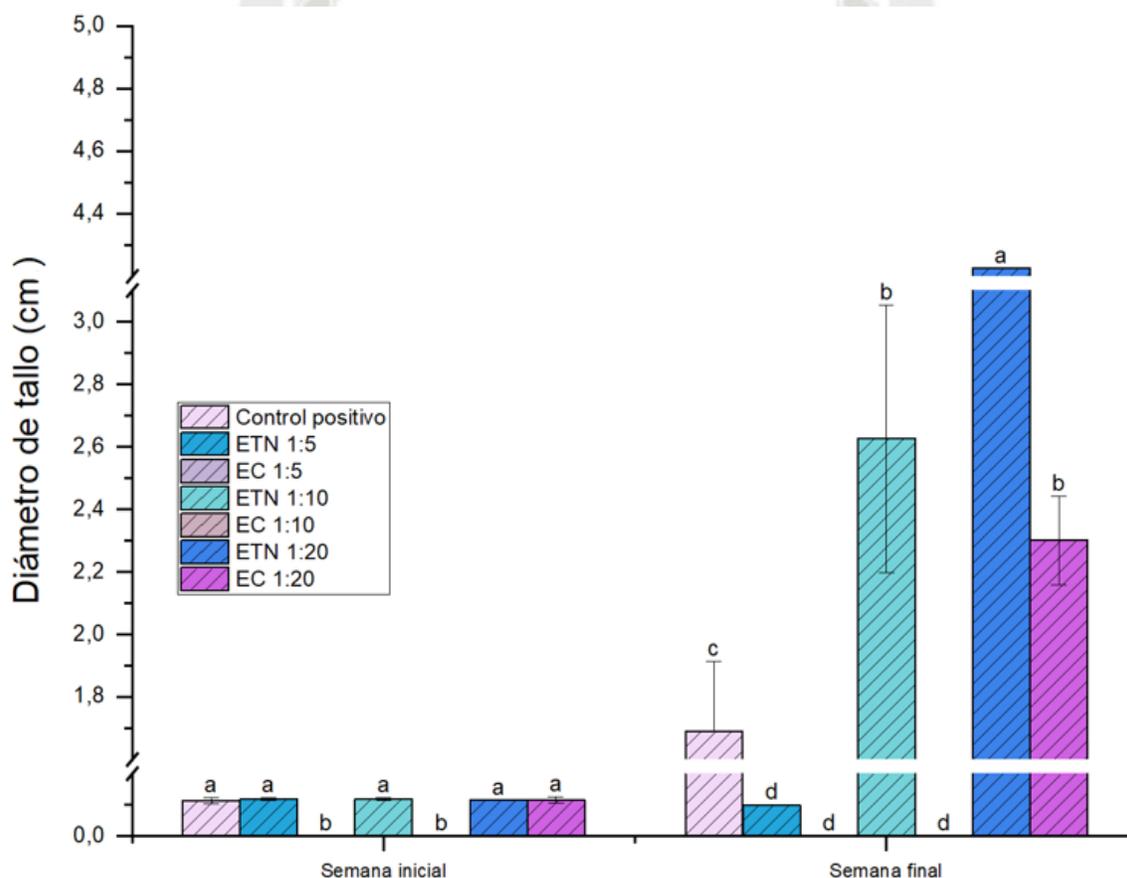
ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.23 cm., 6.45 cm., 7.35 cm y 4.97 cm., respectivamente. Es importante resaltar que, los resultados de este parámetro pueden variar debido a que en la semana final las raíces se enredaron con la esponja hidropónica; sin embargo, se obtuvieron mediciones favorables.

Hasta la fecha, no se han documentado trabajos de investigación que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Lactuca sativa*. No obstante, Egbuikwem et al. (2020) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* en un sistema hidropónico utilizando aguas residuales mixtas compuestas por efluentes domésticos, vertidos farmacéuticos, textiles, petrolíferos y escorrentías agrícolas que fueron tratadas en un biorreactor biológico. Estas aguas residuales mixtas se diluyeron en agua potable en una dilución de 1:30 y se aplicaron durante un período de 45 días. Al final de este período, el grupo de control (denominado TPW) presentó una altura de raíz de 15 cm en comparación con el sistema que utilizó aguas residuales tratadas (denominado TPW+NUS), el cual alcanzó un promedio de 21 cm en altura de raíz. Si bien en el presente estudio, la altura de la raíz no superó al control en las unidades experimentales que emplearon agua residual tratada (21 cm frente a 15 cm), es importante destacar que los sistemas hidropónicos que emplearon lactosuero tratado ETN 1:20 alcanzaron una altura similar a la del CP (7.35 cm en comparación con 8.15 cm). Es relevante señalar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

• **Diámetro de tallo**

Figura 23.

Diámetro de tallo de Lactuca sativa vs. Tratamiento.



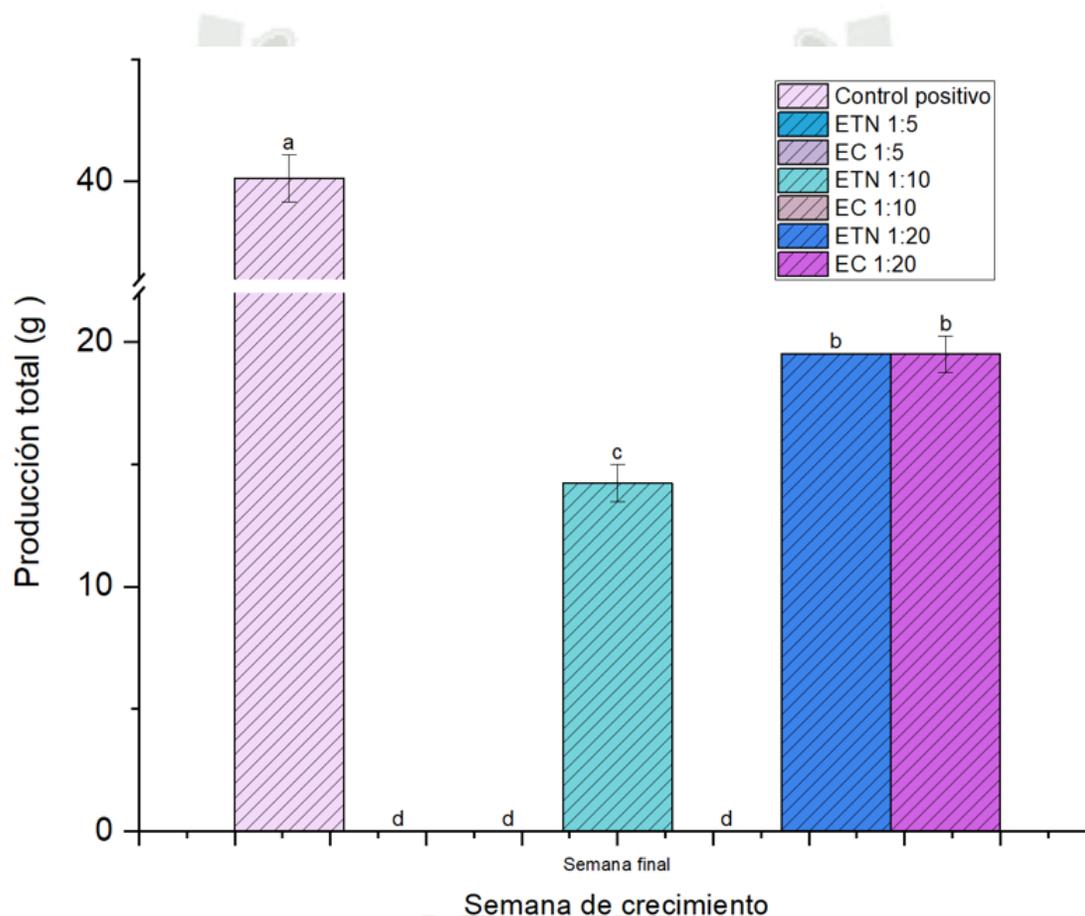
Según la Figura 23 en la semana 1 se muestra que todas las especies tuvieron un desarrollo similar; no obstante, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. El CP dio un valor promedio de 1.69 cm. de diámetro de tallo en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.10 cm., 2.63 cm., 4.23 cm y 0.37 cm. de diámetro de tallo, respectivamente. Por otro lado, hasta

la fecha, no se han documentado trabajos de investigación que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Lactuca sativa*. No obstante, Xavier et al. (2019) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* en un sistema hidropónico utilizando aguas residuales domésticas tratadas en un reactor UASB durante un período de 30 días. Al final de este período, el grupo de control (agua fresca enriquecida con soluciones nutritivas) presentó un diámetro de tallo promedio de 13.30 cm en comparación con el sistema que utilizó aguas residuales domésticas tratadas, el cual alcanzó un promedio de 12.89 cm de diámetro de tallo. Esto indica que, en comparación con la investigación de Xavier et al. (2019), el presente estudio tuvo un mejor resultado en las unidades experimentales que utilizaron lactosuero tratado ETN 1:20 (4.23 cm) respecto al valor de CP (1.69 cm.). Es relevante señalar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Producción total**

Figura 24.

Producción total de Lactuca sativa vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 24, este parámetro fue evaluado solamente en la semana final (semana 7), por lo que se observó una clara diferencia entre el CP: 40.15 g y los sistemas hidropónicos ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 con valores de: 0.02 g, 14.23 g, 19.51 g y 19.50 g de peso fresco respectivamente. A la actualidad no se reportaron trabajos de investigación

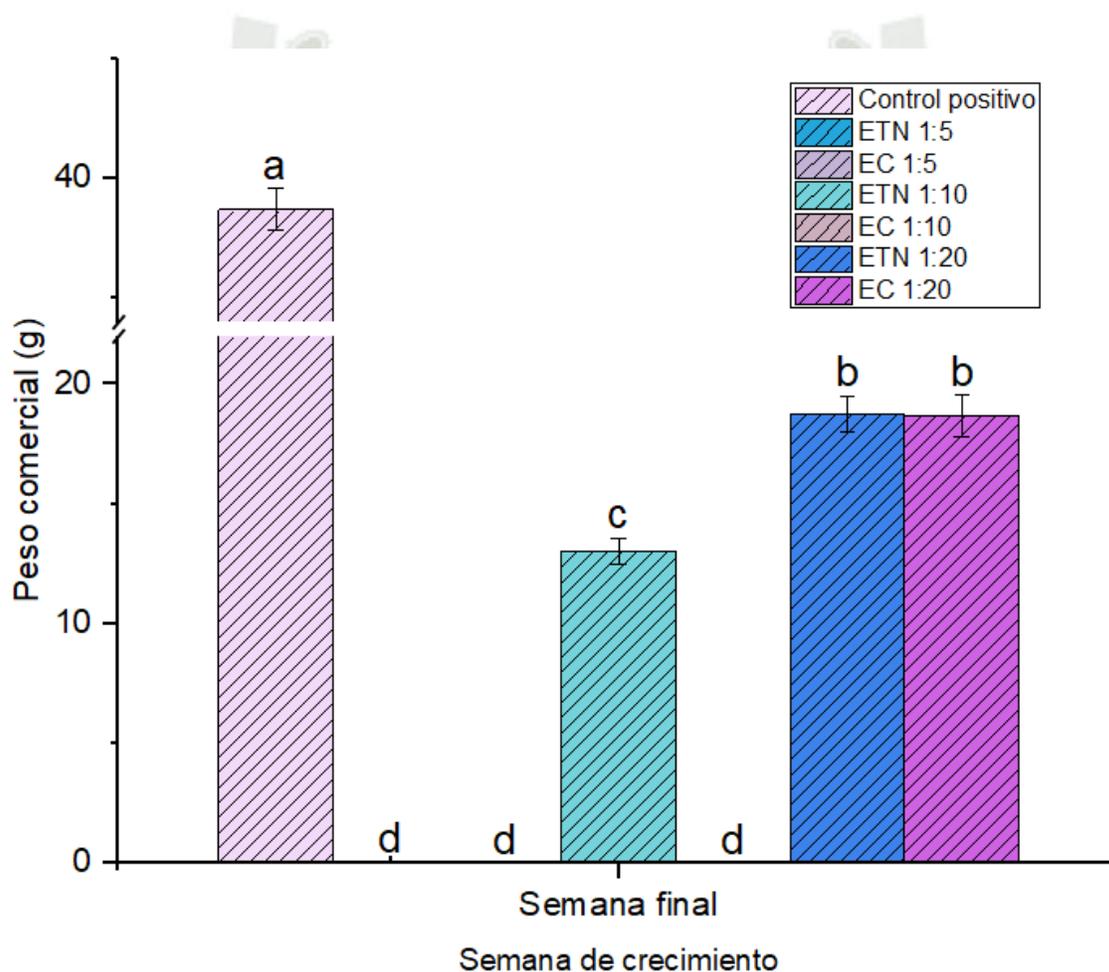
que hayan utilizado lactosuero tratado en *Lactuca sativa*, sin embargo, si se evidenció reportes en *Solanum lycopersicum* como lo anteriormente expuesto.

Por otro lado, Xavier et al. (2019) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* en un sistema hidropónico utilizando aguas residuales domésticas tratadas en un reactor UASB a lo largo de un período de 30 días. Al concluir este período, el grupo de control (que utilizó agua fresca enriquecida con soluciones nutritivas) mostró un peso total promedio de 33.14 g, en contraste con el sistema que empleó aguas residuales domésticas tratadas, el cual alcanzó un promedio de 22.81 g en términos de peso total. Esto sugiere que los resultados obtenidos en las unidades experimentales que utilizaron agua residual tratada (ETN 1:20) se acercaron más a los CP (14.23 g frente a 19.50 g), como lo informaron Xavier et al. (2019). Cabe destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Producción comercial**

Figura 25.

Producción comercial de Lactuca sativa vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 25, este parámetro fue evaluado solamente en la semana final (semana 7), por lo que se observó una clara diferencia entre el CP: 38.68 g y los sistemas hidropónicos ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 con valores de: 0.01 g, 13.01 g, 18.73 g y 18.65 g de peso fresco respectivamente. A la actualidad no se reportaron trabajos de investigación

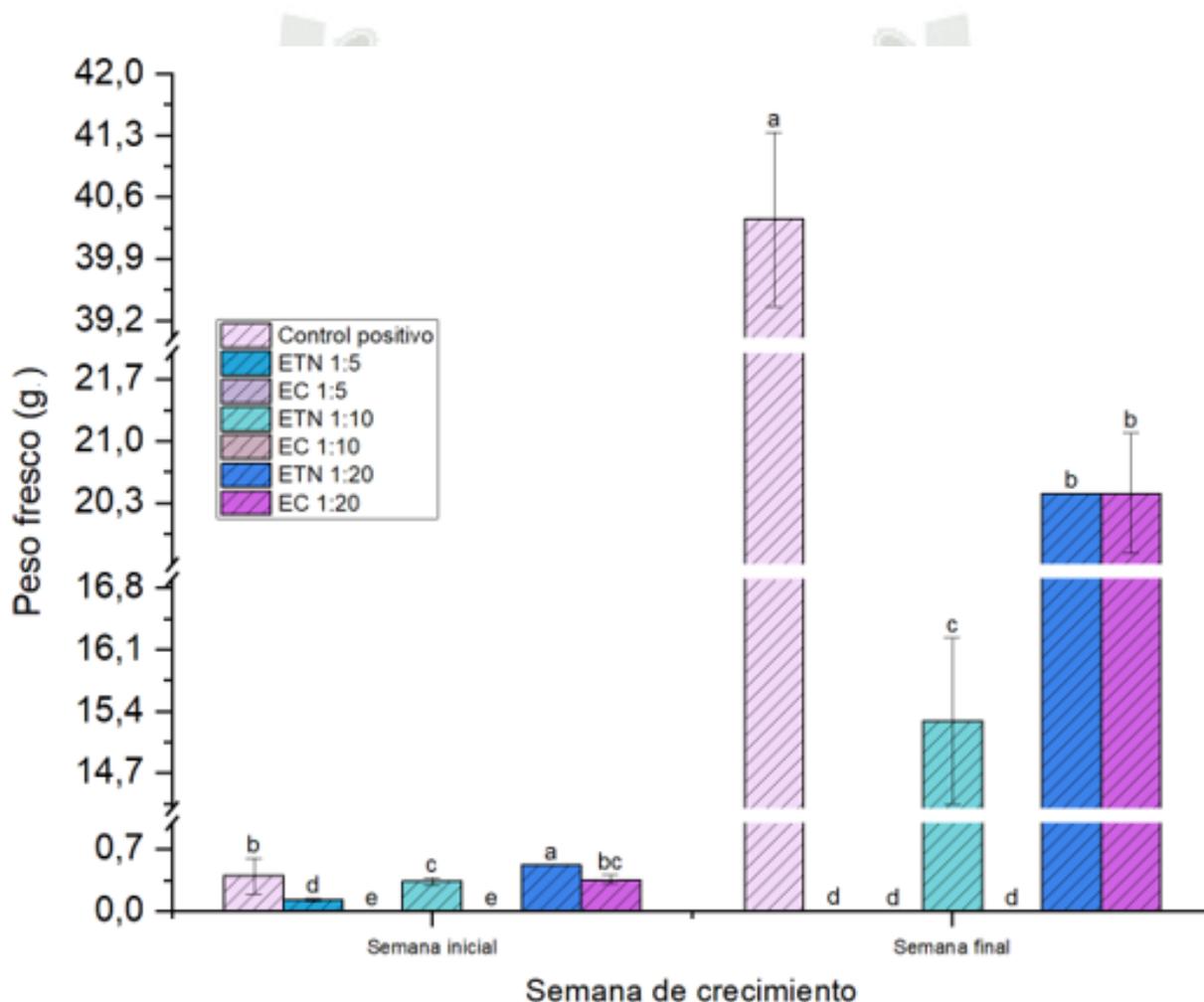
que hayan utilizado lactosuero tratado en *Lactuca sativa*, sin embargo, si se evidenció reportes en *Solanum lycopersicum* como lo anteriormente expuesto.

Por otro lado, Xavier et al. (2019) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* en un sistema hidropónico utilizando aguas residuales domésticas tratadas en un reactor UASB a lo largo de un período de 30 días. Al concluir este período, el grupo de control (que utilizó agua fresca enriquecida con soluciones nutritivas) mostró un peso total comercial promedio de 22.80 g, en contraste con el sistema que empleó aguas residuales domésticas tratadas, el cual alcanzó un promedio de 21.91 g en términos de peso comercial. Esto sugiere que los resultados obtenidos en las unidades experimentales que utilizaron agua residual tratada (ETN 1:20) se acercaron más a los CP (38.68 g. frente a 18.73 g.), como lo informaron Xavier et al. (2019). Cabe destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Peso fresco**

Figura 26.

Peso fresco de Lactuca sativa vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 26 durante la primera semana de crecimiento las unidades experimentales tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, en la semana final se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto

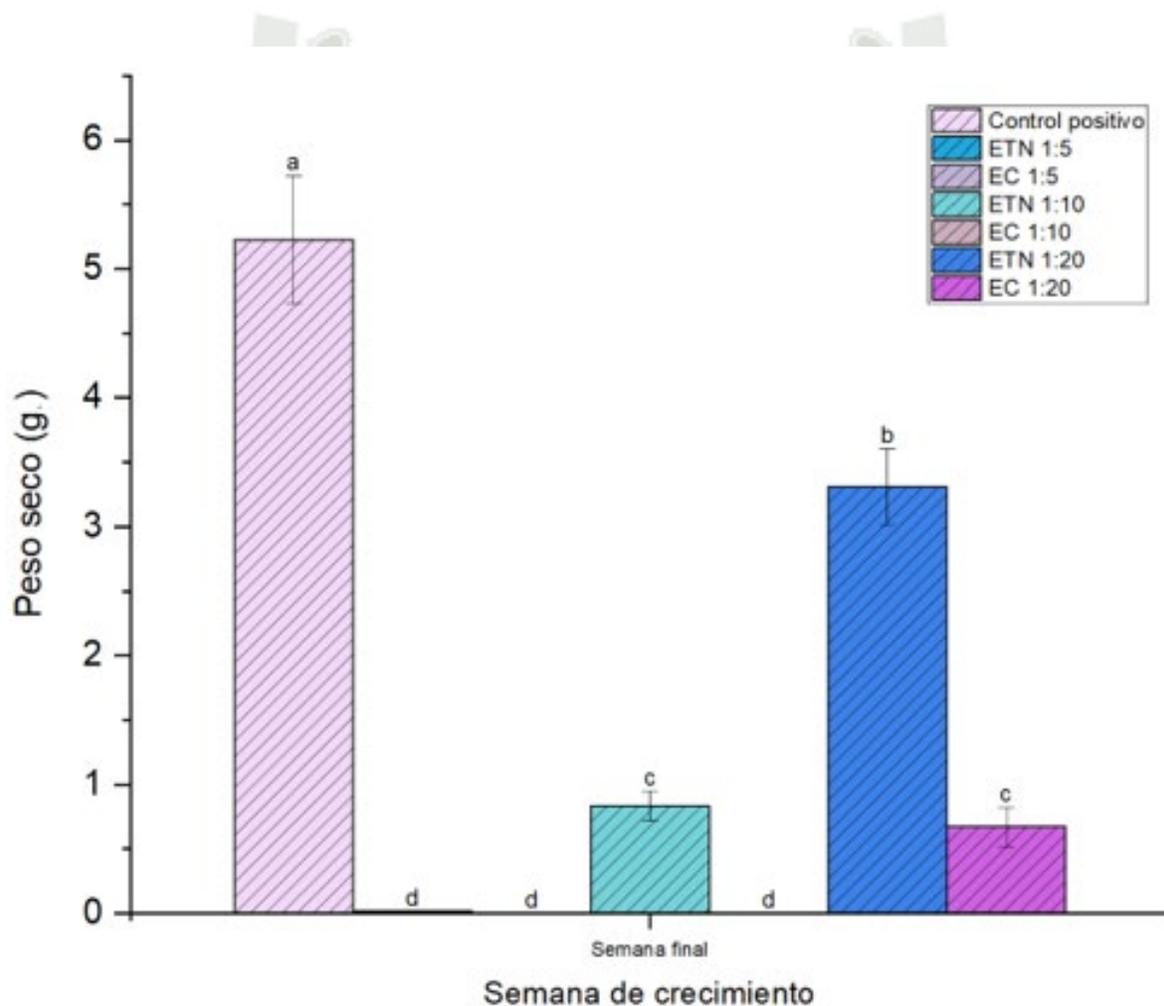
CP dio un valor promedio de 40.35 g. en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.01 g., 15.29 g., 20.40 g. y 20.40 g., respectivamente.

A la actualidad no se reportaron trabajos de investigación que hayan utilizado lactosuero tratado en *Lactuca sativa*, sin embargo, Lee et al. (2021) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* con aguas residuales domésticas tratadas durante un período de 4 semanas. Al finalizar las 4 semanas, el grupo de control evidenció 5.10 g de peso fresco frente a los 4.23 g. de peso fresco de las lechugas que fueron nutridas con NAE. Esto sugiere que, si bien en ambos estudios los controles tuvieron resultados mayores respecto a las unidades experimentales de aguas residuales tratadas, los sistemas hidropónicos que utilizaron lactosuero tratado ETN 1:20 (20.40 g.) alcanzaron un peso fresco similar al CP (40.35 g.). Es relevante destacar que, los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Peso seco**

Figura 27.

Peso seco de Lactuca sativa vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 27 solo se evaluó este parámetro en la semana final, donde se observaron diferencias en los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. Respecto CP dio un valor promedio de 5.23 g. en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.02 g., 0.83 g., 3.31 g. y 0.67 g., respectivamente.

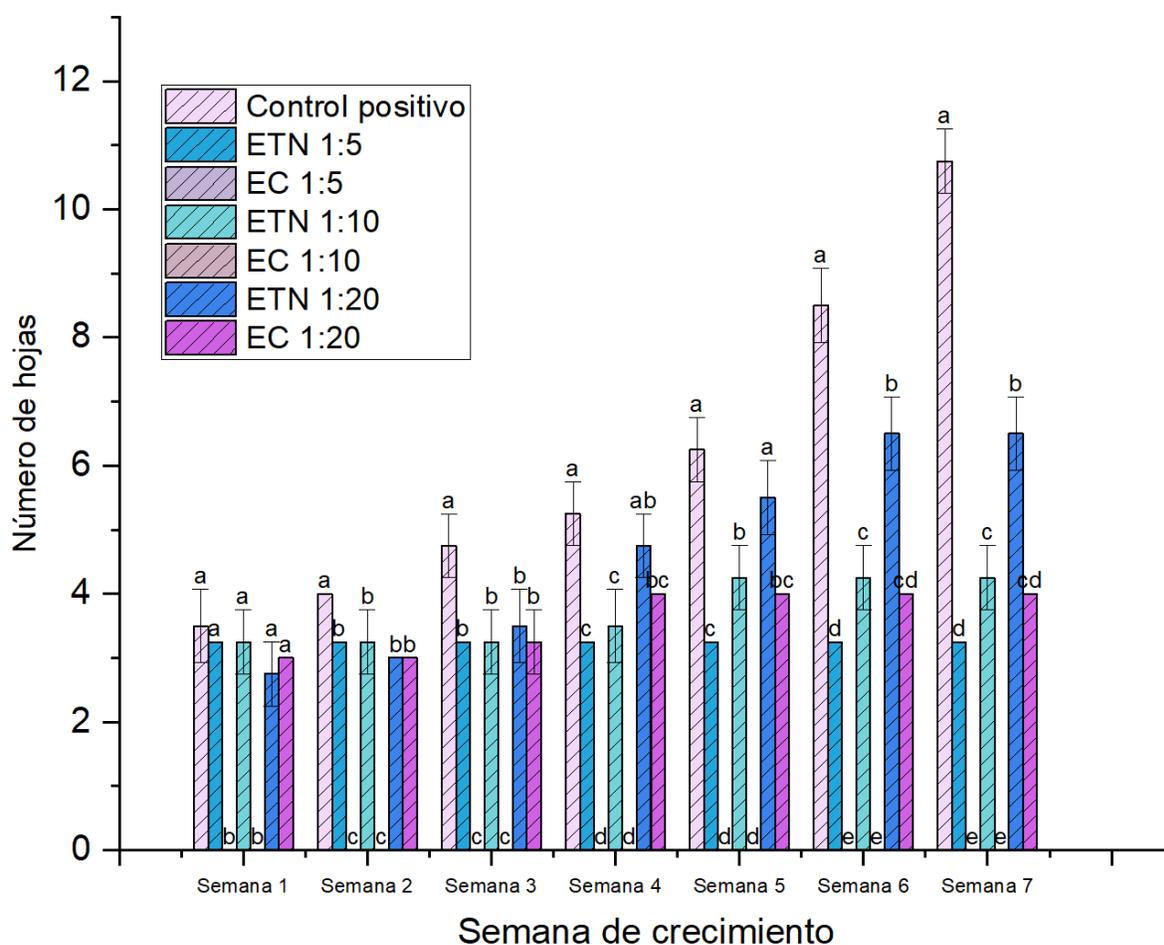
A la actualidad no se reportaron trabajos de investigación que hayan utilizado lactosuero tratado en *Lactuca sativa*, sin embargo, Lee et al. (2021) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Lactuca sativa* con aguas residuales domésticas tratadas durante un período de 4 semanas. Al finalizar las 4 semanas, el grupo de control evidenció 0.24 g de peso fresco frente a los 0.20 g. de peso seco de las lechugas que fueron nutridas con NAE. Esto sugiere que, si bien en ambos estudios los controles tuvieron resultados mayores respecto a las unidades experimentales de aguas residuales tratadas, los sistemas hidropónicos que utilizaron lactosuero tratado ETN 1:20 (3.31 g.) alcanzaron un peso seco similar al CP (5.23 g.). Es relevante destacar que, los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron un crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

4.3.2.3. Parámetros evaluados para *Brassica oleracea*.

- Número de hojas

Figura 28.

Número de hojas de Brassica oleracea vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 28 durante la primera semana de crecimiento los sistemas hidropónicos tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, a partir de la semana 3 se observaron las diferencias de los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En la

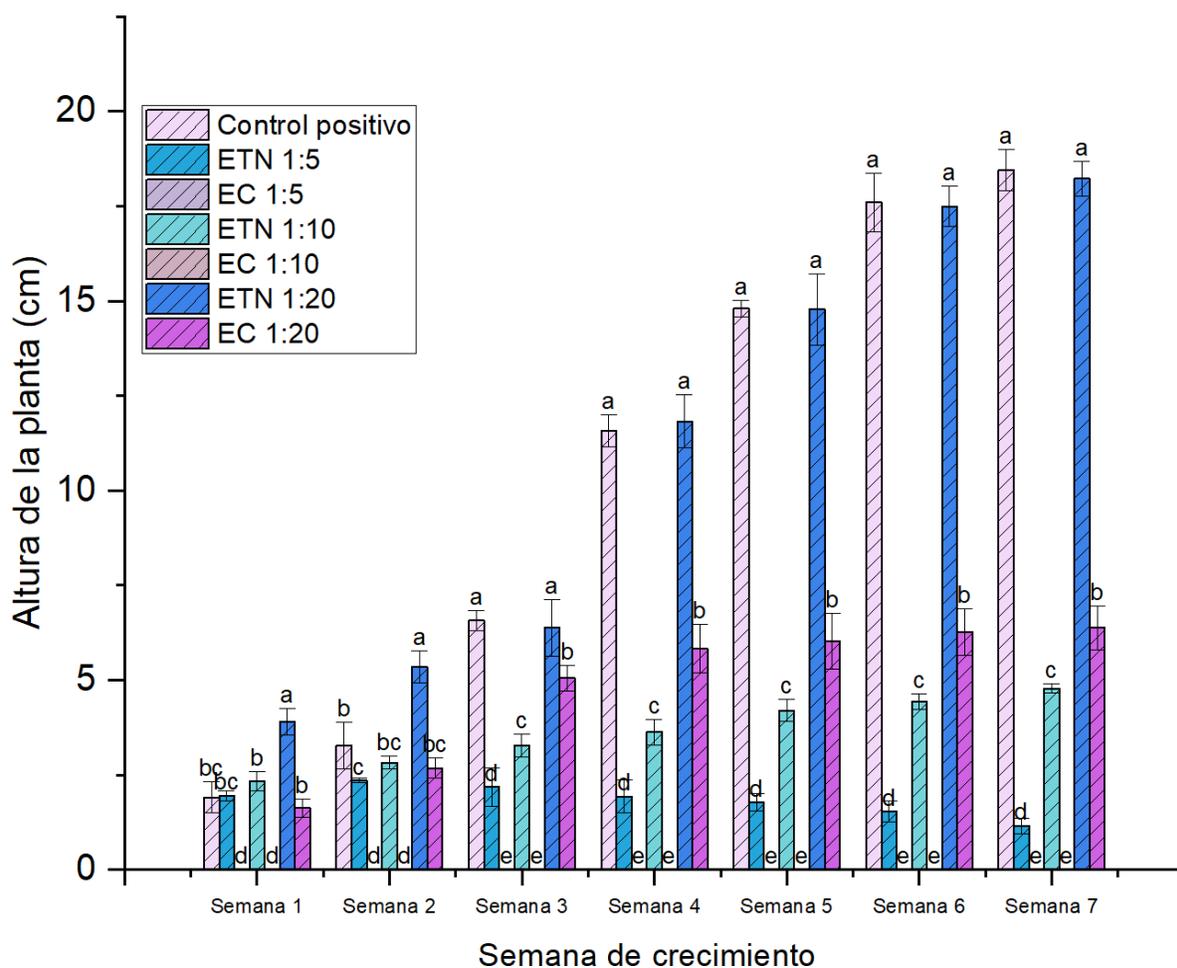
última semana de evaluación, CP dio un valor promedio de 10.75 hojas, en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 3.25, 4.25, 6.5 y 4 hojas, respectivamente.

Hasta la fecha, no se han registrado investigaciones que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Brassica oleracea*. Sin embargo, Choi et al. (2011) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Brassica oleracea* utilizando aguas residuales agrícolas tratadas en dilución 1:30 con agua subterránea a lo largo de un período de 26 días. Al finalizar el día 26, el grupo de control, que utilizó agua subterránea enriquecida con sustrato de coco, presentó 16 hojas desarrolladas, en comparación con un promedio de 14.6 hojas desarrolladas en las unidades experimentales que emplearon el efluente tratado. Esto indica que, en ambos estudios, los controles obtuvieron resultados superiores en comparación con las unidades experimentales que utilizaron aguas residuales tratadas. En el caso de los sistemas hidropónicos que emplearon lactosuero tratado ETN 1:20 (4.25 hojas), alcanzaron aproximadamente la mitad del número de hojas desarrolladas en comparación con el control positivo (16 hojas). Es importante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Altura de planta**

Figura 29.

Altura de la planta de Brassica oleracea vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 29 durante la primera semana de crecimiento los sistemas hidropónicos tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, a partir de la semana 2 se observaron las diferencias de los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En la última semana de evaluación, CP dio un valor promedio de 18.45 cm. de altura de planta, en

comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 1.15 cm., 4.78 cm., 18.23 cm. y 6.38 cm.. de altura de planta, respectivamente.

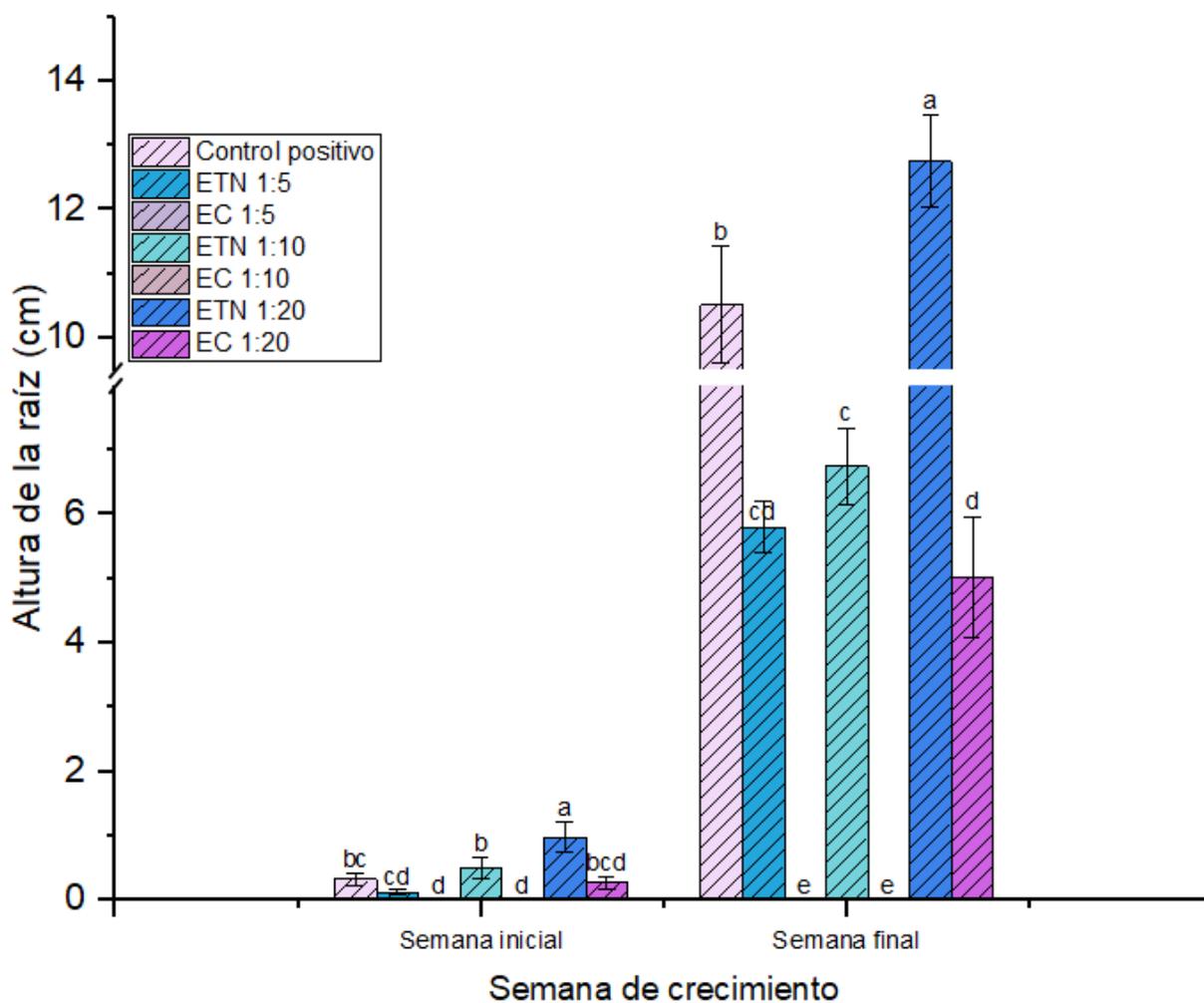
Hasta la fecha, no se han registrado investigaciones que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Brassica oleracea*. Sin embargo, Choi et al. (2011) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Brassica oleracea* utilizando aguas residuales agrícolas tratadas en dilución 1:30 con agua subterránea a lo largo de un período de 26 días. Al finalizar el día 26, el grupo de control, que utilizó agua subterránea enriquecida con sustrato de coco, presentó 27.89 cm. de altura de planta, en comparación con un promedio de 25.43 cm. de altura de planta desarrolladas en las unidades experimentales que emplearon el efluente tratado.

Es importante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Altura de la raíz**

Figura 30.

Altura de la raíz de Brassica oleracea vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 30 durante la primera semana de crecimiento los sistemas hidropónicos tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, a partir de la semana 2 se observaron las diferencias de los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En la

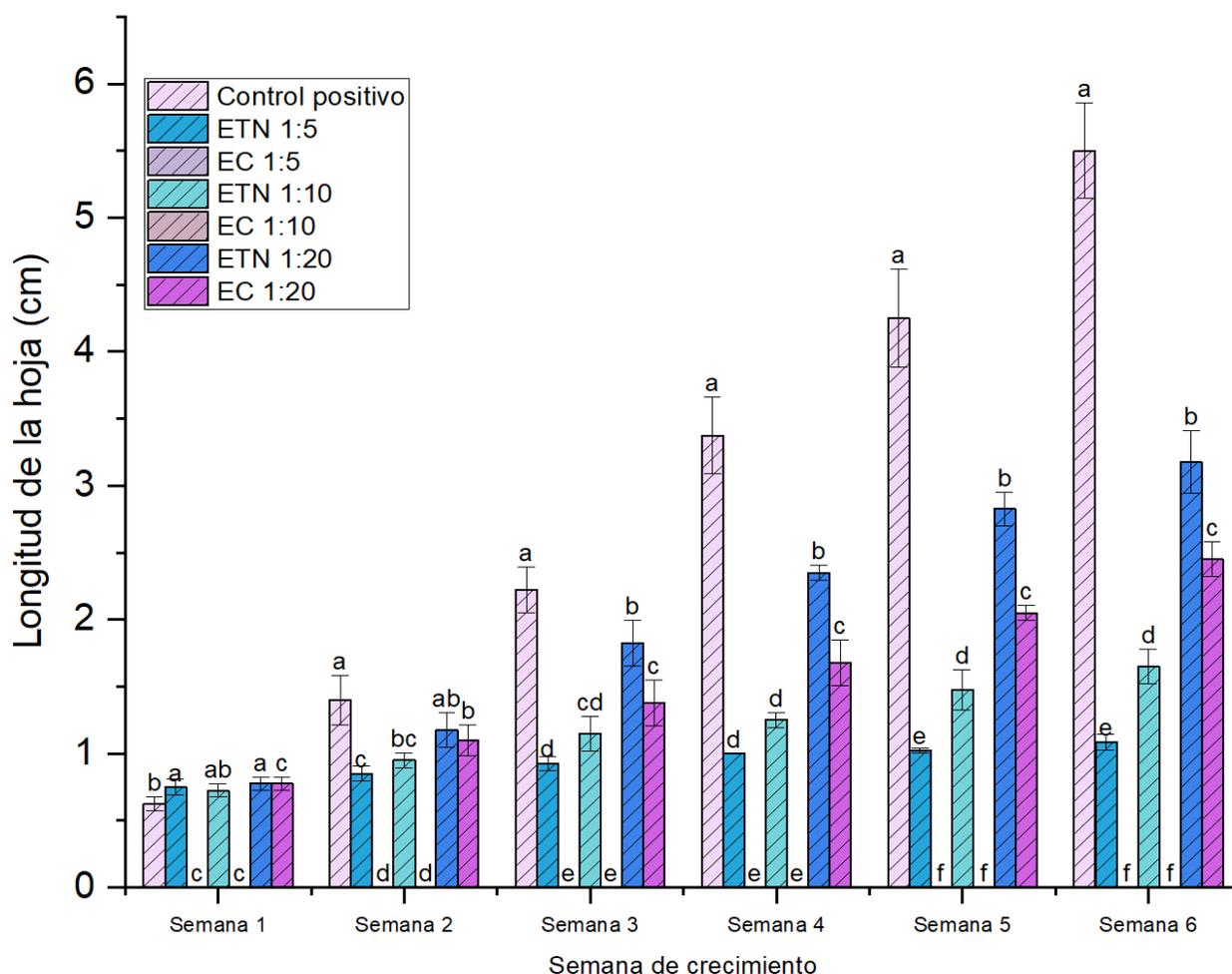
última semana de evaluación, CP dio un valor promedio de 10.53 cm. de altura de raíz, en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 5.8 cm., 6.75 cm., 12.75 cm. y 5.03 cm. de altura de raíz, respectivamente. Es importante resaltar que, los resultados de este parámetro pueden variar debido a que las raíces se enredaron con la esponja hidropónica; sin embargo, se obtuvieron mediciones favorables.

Hasta la fecha, no se han registrado investigaciones que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Brassica oleracea*. Sin embargo, Choi et al. (2011) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Brassica oleracea* utilizando aguas residuales agrícolas tratadas en dilución 1:30 con agua subterránea a lo largo de un período de 26 días. Al finalizar el día 26, el grupo de control, que utilizó agua subterránea enriquecida con sustrato de coco, presentó 8.25 cm. de altura de raíz, en comparación con un promedio de 6.12 cm. de altura de raíz desarrolladas en las unidades experimentales que emplearon el efluente tratado. Esto indica que, a diferencia de lo reportado por la literatura, en el presente estudio los sistemas hidropónicos que emplearon lactosuero tratado ETN 1:20 (12.75 cm.), alcanzaron un resultado superior respecto al control positivo (10.53 cm.). Es importante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Longitud de la hoja**

Figura 31.

Largo de la hoja de Brassica oleracea vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 31 durante la primera semana de crecimiento los sistemas hidropónicos tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, a partir de la semana 2 se observaron las diferencias de los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En la

última semana de evaluación, CP dio un valor promedio de 4.48 cm. de longitud de hoja, en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.10 cm., 2.30 cm., 3.37 cm. y 1.88 cm. de longitud de hoja, respectivamente.

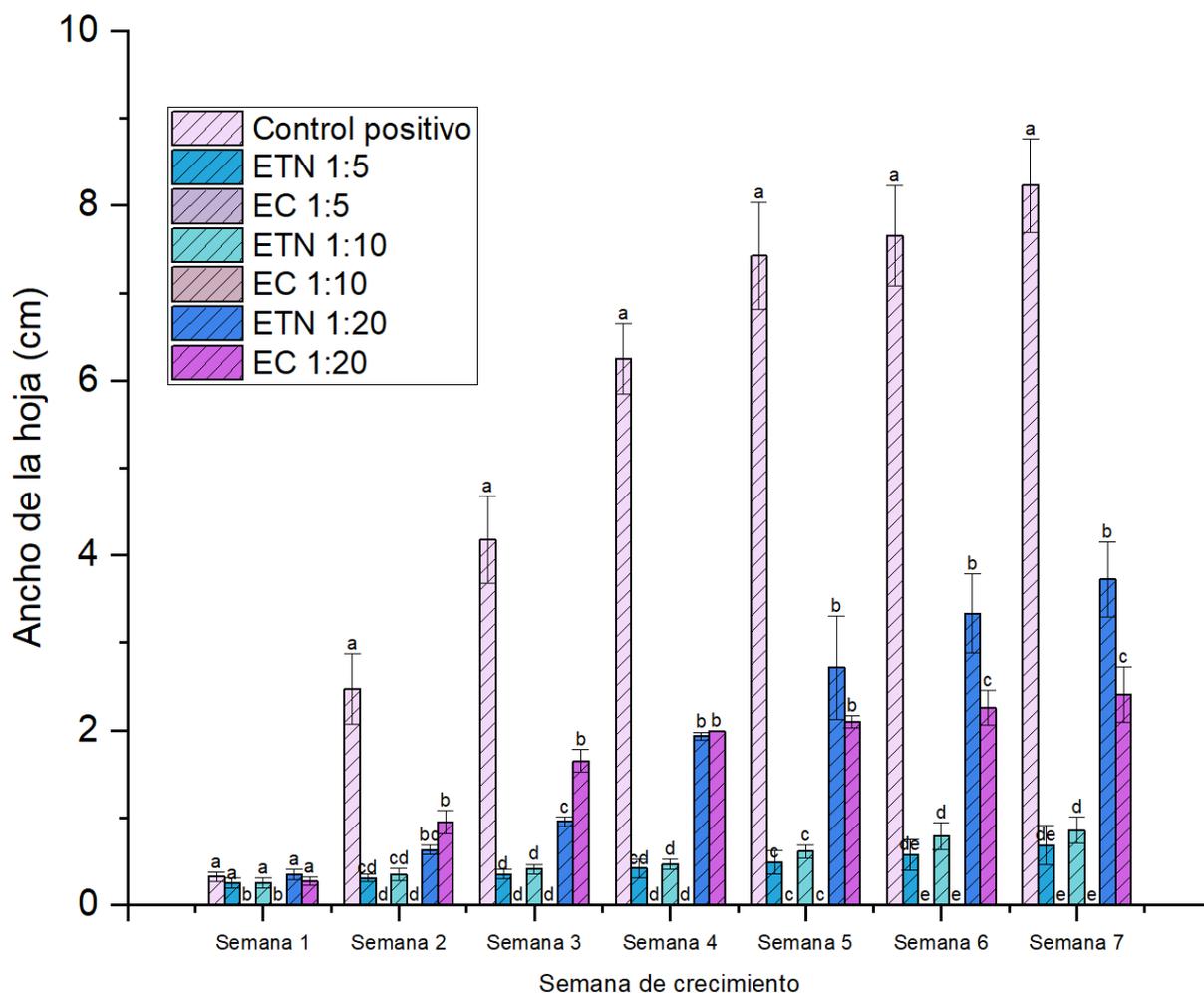
Hasta la fecha, no se han registrado investigaciones que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Brassica oleracea*. Sin embargo, Choi et al. (2011) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Brassica oleracea* utilizando aguas residuales agrícolas tratadas en dilución 1:30 con agua subterránea a lo largo de un período de 26 días. Al finalizar el día 26, el grupo de control, que utilizó agua subterránea enriquecida con sustrato de coco, presentó 18.2 cm. de longitud de hoja, en comparación con un promedio de 19.4 cm. de longitud de hoja desarrolladas en las unidades experimentales que emplearon el efluente tratado. Esto indica que, si bien según lo reportado por Choi et al. (2011) en el presente estudio la longitud de la hoja desarrollada en lactosuero tratado (ETN 1:20 = 3.37 cm.) no fue mayor al CP (4.48 cm.), los resultados en ambas unidades experimentales fueron similares.

Es importante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Ancho de la hoja**

Figura 32.

Ancho de la hoja de Brassica oleracea vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 32 durante la primera semana de crecimiento los sistemas hidropónicos tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, a partir de la semana 2 se observaron las diferencias de los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En la

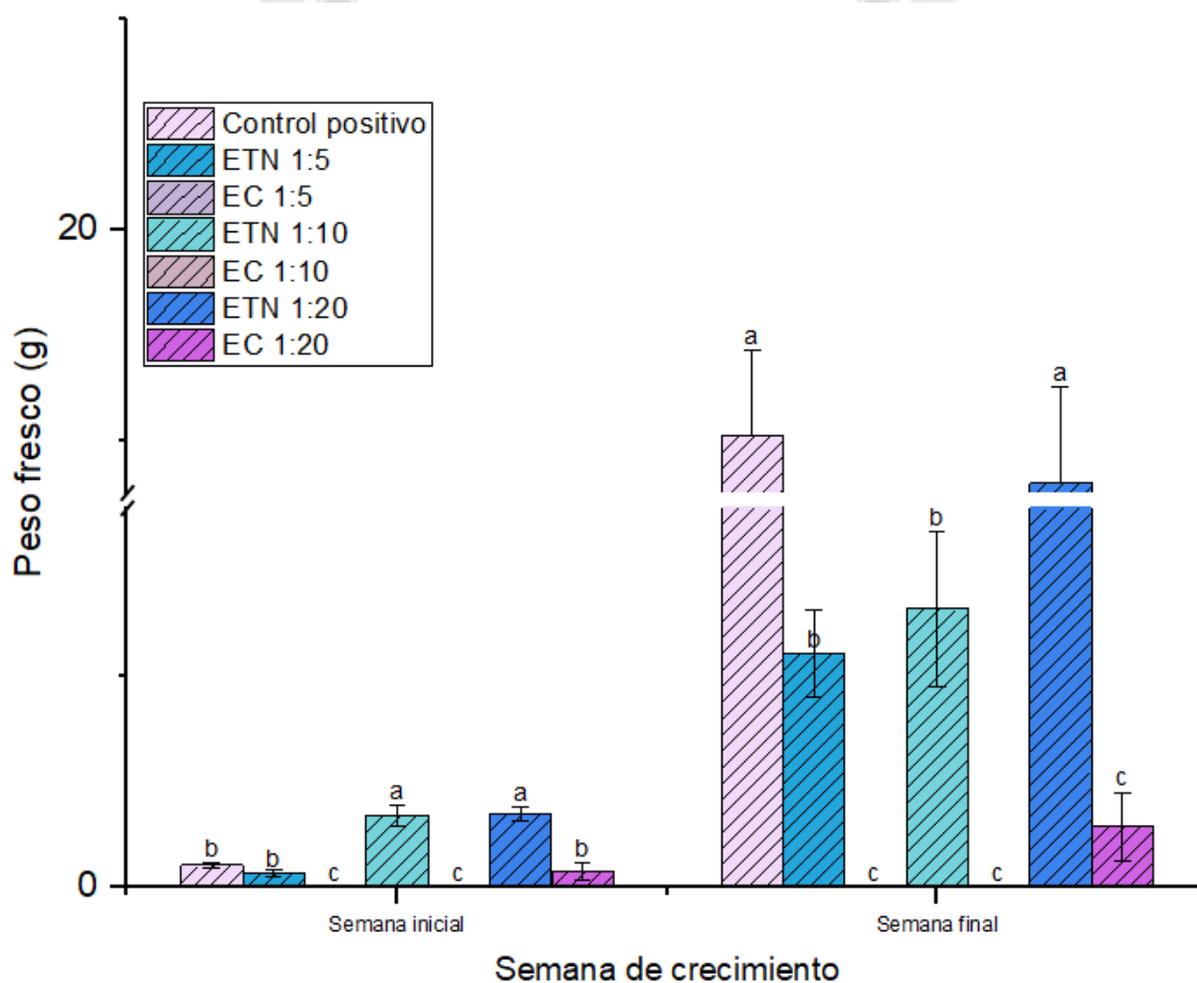
última semana de evaluación, CP dio un valor promedio de 13.17 cm. de ancho de la hoja, en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.10 cm., 4.12 cm., 8.45 cm. y 3.56 cm. de ancho de hoja, respectivamente.

Hasta la fecha, no se han registrado investigaciones que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Brassica oleracea*. Sin embargo, Choi et al. (2011) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Brassica oleracea* utilizando aguas residuales agrícolas tratadas en dilución 1:30 con agua subterránea a lo largo de un período de 26 días. Al finalizar el día 26, el grupo de control, que utilizó agua subterránea enriquecida con sustrato de coco, presentó 11.7 cm. de ancho de la hoja, en comparación con un promedio de 10.7 cm. de ancho de la hoja desarrolladas en las unidades experimentales que emplearon el efluente tratado. Esto indica que, en ambos estudios, los controles obtuvieron resultados superiores en comparación con las unidades experimentales que utilizaron aguas residuales tratadas. En el caso de los sistemas hidropónicos que emplearon lactosuero tratado ETN 1:20 (8.45 cm.), alcanzaron valores similares respecto al control positivo (13.17 cm.). Es importante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

- **Peso fresco**

Figura 33.

Peso fresco de Brassica oleracea vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 33 durante la primera semana de crecimiento los sistemas hidropónicos tuvieron un desarrollo similar; sin embargo, a en la semana final se observaron las diferencias de los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En la última semana de evaluación, CP dio un valor promedio de 18.86 g. de peso fresco, en comparación

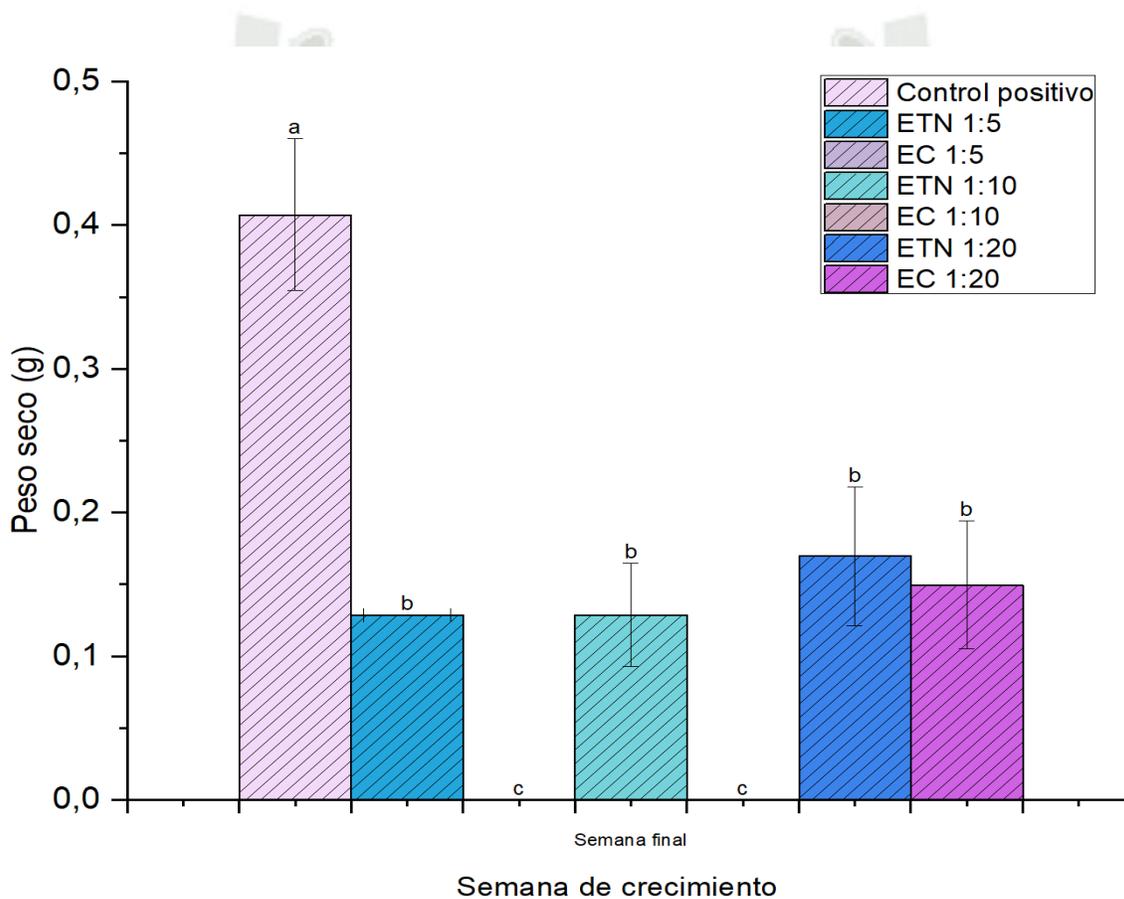
a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.11 g., 2.67 g., 9.32 g. y 1.26 g. de peso fresco, respectivamente.

Hasta la fecha, no se han registrado investigaciones que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Brassica oleracea*. Sin embargo, Choi et al. (2011) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Brassica oleracea* utilizando aguas residuales agrícolas tratadas en dilución 1:30 con agua subterránea a lo largo de un período de 26 días. Al finalizar el día 26, el grupo de control, que utilizó agua subterránea enriquecida con sustrato de coco, presentó 319 g. de peso fresco, en comparación con un promedio de 269 g. de peso fresco desarrolladas en las unidades experimentales que emplearon el efluente tratado. Esto indica que, en ambos estudios, los controles obtuvieron resultados superiores en comparación con las unidades experimentales que utilizaron aguas residuales tratadas. En el caso de los sistemas hidropónicos que emplearon lactosuero tratado ETN 1:20 (9.32 g.), alcanzaron valores similares respecto al control positivo (18.86 g.). Es importante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

• **Peso seco**

Figura 34.

Peso seco de Brassica oleracea vs. Tratamiento.



Como se observa en la Figura 34 solo se evaluó este parámetro la semana final de experimentación, donde se observaron las diferencias de los sistemas hidropónicos CP, ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20. En la última semana de evaluación, CP dio un valor promedio de 12.19 g. de peso seco, en comparación a los resultados de ETN 1:5, ETN 1:10, ETN 1:20 y EC 1:20 los cuales fueron de: 0.04 g., 0.06 g., 11.83 g. y 0.04 g. de peso seco, respectivamente.

Hasta la fecha, no se han registrado investigaciones que hayan empleado lactosuero tratado en el cultivo de *Brassica oleracea*. Sin embargo, Choi et al. (2011) llevaron a cabo una evaluación de este parámetro en *Brassica oleracea* utilizando aguas residuales agrícolas tratadas en dilución 1:30 con agua subterránea a lo largo de un período de 26 días. Al finalizar el día 26, el grupo de control, que utilizó agua subterránea enriquecida con sustrato de coco, presentó 46.2 g. de peso seco, en comparación con un promedio de 41.9 g. de peso seco en las unidades experimentales que emplearon el efluente tratado. Esto indica que, en ambos estudios, los controles obtuvieron resultados superiores en comparación con las unidades experimentales que utilizaron aguas residuales tratadas. En el caso de los sistemas hidropónicos que emplearon lactosuero tratado ETN 1:20 (11.83 g.), alcanzaron valores similares respecto al control positivo (12.19 g.). Es importante destacar que los sistemas hidropónicos EC 1:5 y EC 1:10 no experimentaron crecimiento vegetativo hasta la semana 7, ya que sus hojas se secaron al segundo día después del trasplante.

Figura 35.

Comparación de peso fresco inicial y final de Solanum lycopersicum.

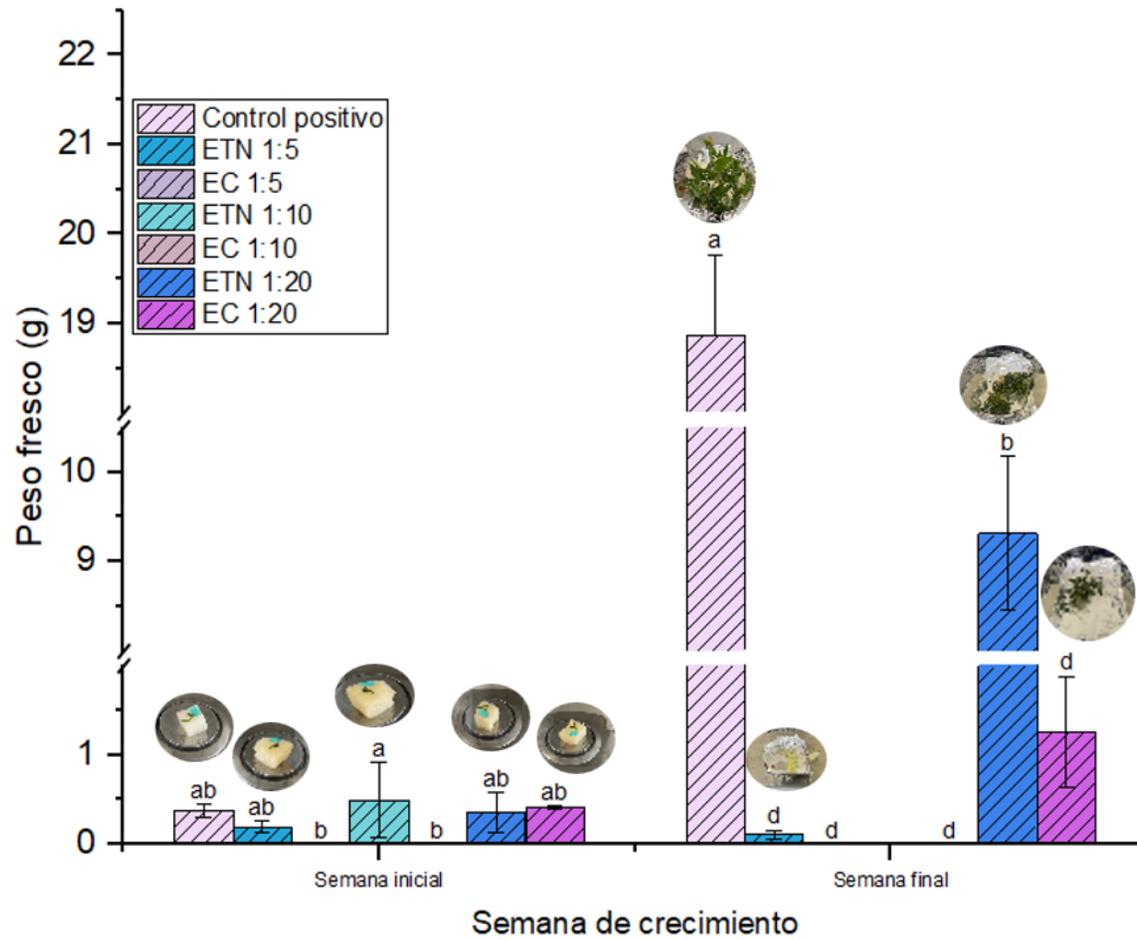


Figura 36.

Comparación de peso fresco inicial y final de Brassica oleracea.

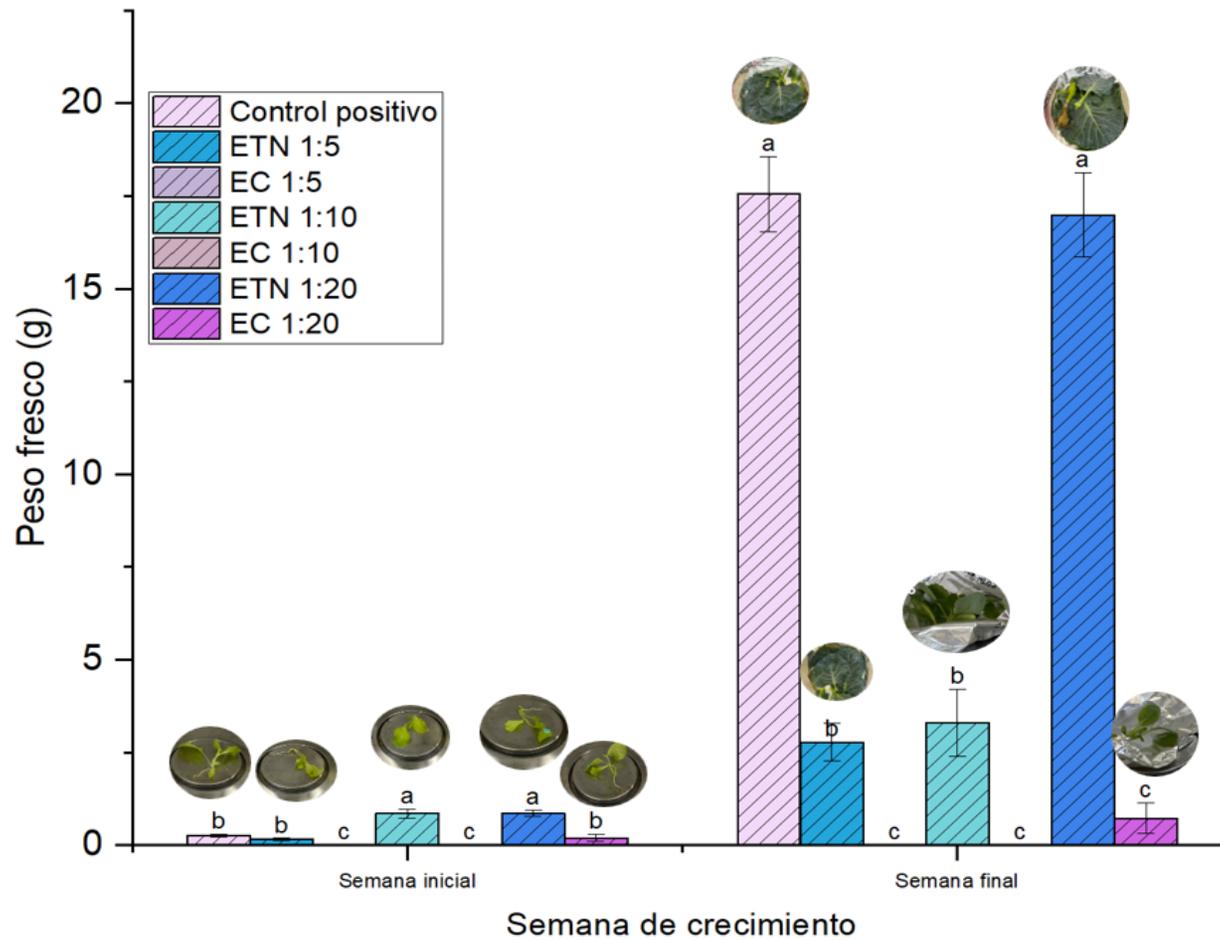
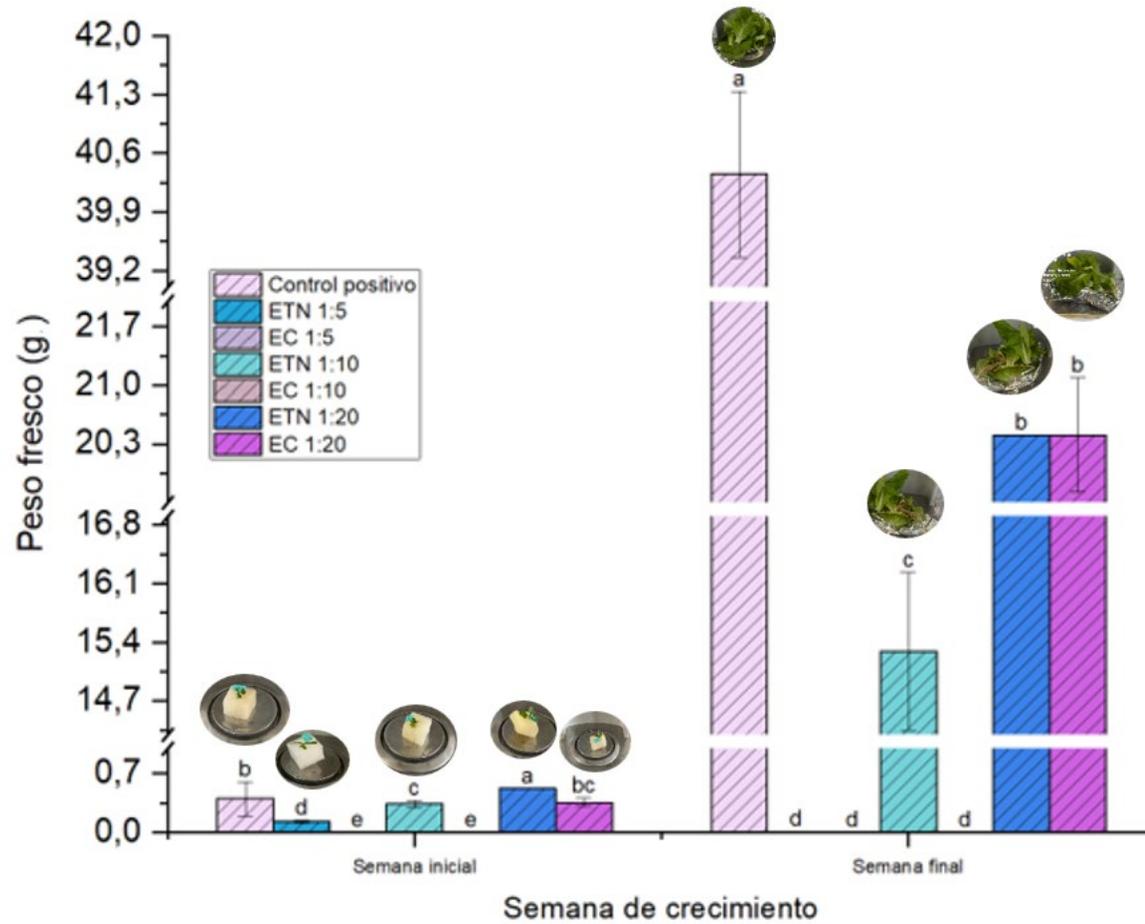


Figura 37.
Comparación de peso fresco inicial y final de Lactuca sativa.



La literatura refuerza los resultados mostrados en el Capítulo IV, por lo que con lo que respecta a la especie *Lactuca sativa*, se puede sugerir que el lactosuero tratado sirve como solución nutritiva a ciertas diluciones, especialmente a dilución 1:20 con el efluente tratado neutralizado, dando resultados favorables en el desarrollo vegetativo, Lee et al., (2021) también sugirió que la utilización de un efluente puede ser un recurso atractivo de valiosos nutrientes y agua, de esta manera se podría utilizar como medio nutritivo y solución hidropónica. Las Figura 35, Figura 36 y Figura 37 evidencian la comparación inicial y final de cada especie; no obstante, en el ANEXO 3 en la Figura 38, Figura 39 y Figura 40 se resume de manera efectiva la evolución de los parámetros más significativos de las especies vegetales que han sido objeto de estudio. Cada gráfico representa una síntesis de información que permite analizar de manera concisa el comportamiento de estas plantas a lo largo del tiempo.

Respecto a los resultados de *Brassica oleracea* presentados en el presente trabajo de investigación fueron favorables para la mayoría de los parámetros, el estudio presentado por Choi et al. (2011) se evaluó la posibilidad de utilizar soluciones nutritivas residuales como recurso hídrico alternativo para el riego de este tipo de especie especialmente si existe escasez de agua en la agricultura. Es así como, utilizar soluciones nutritivas a partir de aguas residuales puede disminuir la contaminación ambiental y la cantidad de fertilizantes químicos durante el cultivo. Magwaza et al. (2020) mencionaron en los hallazgos de su investigación que las aguas residuales tratadas para usarlas como soluciones hidropónicas resultan potenciales para usarse como fuente de fertilizante para tomates. El continuo crecimiento de las plantas en sistemas hidropónicos se debe a la capacidad de las aguas residuales por tener múltiples nutrientes, además esto puede ser relacionado

al contenido de micronutrientes como Cu, Zn, Fe y Mg. Además, se evidencia que la baja concentración de nutrientes esenciales como N, P, K, Ca y Zn en las aguas residuales es la razón del menor crecimiento y rendimiento en comparación con las plantas alimentadas con mezclas de fertilizantes comerciales. El estudio presentado por Prazeres et al. (2014) evidenciaron que es posible la producción comercializable de tomate en condiciones de salinidad mediante la reutilización de aguas residuales pretratadas y diluidas de la industria quesera. El pretratamiento elegido para tratar lactosuero es altamente recomendable según Prazeres et al. (2016), puesto que la con NaOH es un proceso fisicoquímico viable para el tratamiento de lactosuero. Debido a que en condiciones favorables esta precipitación produce un efluente claro, disminuyendo la carga orgánica aproximadamente a la mitad. El lactosuero tratado es salido producto de la precipitación lo cual constituye una opción para el riego de tomate debido a que esta especie tolera niveles de salinidad. Cuando las plantas enfrentan un desequilibrio en la disponibilidad de nutrientes, experimentan cambios en su metabolismo según Prazeres et al. (2013b). La reacción del cultivo de tomate ante condiciones adversas como la salinidad está influenciada por diversos factores, que incluyen las condiciones del entorno, la etapa de desarrollo de la planta, el grado de salinidad y la duración de la exposición. Por lo tanto, la Figura 35, Figura 36, y Figura 37 presentan una representación gráfica que muestra la evolución del peso fresco inicial y final para tres especies vegetales distintas. Estas figuras permiten observar la variación del peso fresco a lo largo del tiempo para cada una de estas especies, de esta manera se puede apreciar cómo el peso fresco ha experimentado cambios a lo largo del tiempo. Estos gráficos detallan la evolución de cada especie en términos de crecimiento, y proporcionan una visión general de cómo se han comportado a lo largo del tiempo.



CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

PRIMERO: Se caracterizó los parámetros físicos y químicos del efluente lácteo crudo y tratado, obteniendo resultados favorables. De esta manera se demostró que, los parámetros como bicarbonatos (<1.2 mg/L), nitrato (<0.007 mg/L), nitrito (<0.007 mg/L) y sulfato (<140.225 mg/L) cumplen con la normativa ambiental vigente posterior a la aplicación del tratamiento (ECA, VMA). Sumado a esto, se concluye que parámetros como DBO y DQO no cumplieron la normativa ambiental; no obstante, lograron reducciones significativas, evidenciando de esta manera que un adecuado tratamiento logra reducir diversos parámetros como: DQO (92.82%), DBO (75.58%), fósforo (22.12%), dureza (75.62%) y STD (48.26%),

SEGUNDO: Se estableció un tratamiento adecuado para el correcto aprovechamiento del efluente lácteo, demostrando que la aplicación de precipitación alcalina con hidróxido de sodio a 0.2 N es un tratamiento idóneo para la minimización de contaminantes existentes en el suero de leche, resultando factible su aplicación como solución hidropónica para especies vegetales como *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* y *Brassica oleracea*. Asimismo, este tipo de tratamiento resulta eficiente en la eliminación de STS, posee una mayor velocidad de reacción respecto a la coagulación-floculación y su proceso resulta más sencillo minimizando procesos y costos. En adición a ello, también se demostró un porcentaje mayor de remoción de DQO (91.21%) respecto al 85.5% obtenido en la coagulación-floculación.

TERCERO: Se evaluó el efluente lácteo crudo y tratado en diferentes diluciones, demostrando que *Solanum lycopersicum*, *Lactuca sativa* y *Brassica oleracea* evidenciaron un desarrollo vegetativo similar a la solución hidropónica comercial en las unidades experimentales con ETDN 1:20, demostrando que el uso del lactosuero tratado diluido es viable como solución hidropónica.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo un análisis microbiológico de la muestra de lactosuero. De esta manera se tendrá una mejor comprensión en cuanto a su composición y características, lo cual resulta beneficioso para conocer la variedad de propósitos que puede tener, desde evaluar su valor nutricional hasta su determinar su uso potencial en la industria alimentaria. El análisis biológico de esta muestra puede proporcionar información que ayudará a mejorar el uso de este recurso y al desarrollo de procesos o productos relacionados con el lactosuero.
- Dado que el lactosuero posee una alta biodegradabilidad los procesos biológicos pueden ser una alternativa viable como post tratamiento, debido a esto es recomendable la realización de investigaciones focalizadas en la aplicación de tratamientos biológicos como la digestión anaeróbica con bacterias acidogénicas y metanogénicas, donde las bacterias descomponen los compuestos orgánicos y convierten estos productos en metano y dióxido de carbono, otra opción sería el tratamiento con microorganismos específicos como bacterias lácticas pueden metabolizar la lactosa en ácido láctico, este proceso no solo ayuda a reducir la concentración de lactosa en el lactosuero, sino que también puede contribuir a la acidificación, lo que es beneficioso para la eliminación de patógenos. La utilización de este tipo de tratamientos permitiría conocer la interrelación de microorganismos y plantas, los cuales cumplen un papel importante en cuanto a la descomposición de compuestos orgánicos y la eliminación de contaminantes en el agua.
- Es recomendable llevar a cabo una investigación adicional, donde se determine los parámetros operativos idóneos en el sistema hidropónico, desde el tiempo de retención de nutrientes, las condiciones de aireación y el ajuste de la conductividad eléctrica (CE). Desde esta perspectiva, se podría evaluar la absorción de nutrientes por las plantas al aumentar la disponibilidad de estos compuestos. En adición a ello, la remoción de

contaminantes presentes en el lactosuero podría optimizarse, lo que podría resultar en una mayor disponibilidad de nutrientes y a su vez en un mejor rendimiento del sistema hidropónico. Además, es recomendable utilizar este tipo de tratamiento en otras especies vegetales con el propósito de evaluar su desarrollo vegetativo.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou-Hadid, A. F., Abd-Elmoniem, E. M., El-Shinawy, M. Z., & Abou-Elsoud, M. (1996). Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Horticulturae*, 434, 59–66.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.434.6>
- Achaw, O.-W., & Danso-Boateng, E. (2021). Milk and Dairy Products Manufacture. In *Chemical and Process Industries with Examples of Industries in Ghana* (pp. 293–374).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1_11
- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. ur, Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Almada, R. B., Vendramel, S. M. R., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 88(April), 361–372.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Akansha, J., Nidheesh, P. V., Gopinath, A., Anupama, K. V., & Suresh Kumar, M. (2020). Treatment of dairy industry wastewater by combined aerated electrocoagulation and phytoremediation process. *Chemosphere*, 253, 126652.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126652>

- Alais, Charles. (1985). *Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera*.
[https://books.google.com.pe/books/about/Ciencia_de_la_leche.html?id=bW_ULacGBZMC
&redir_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Ciencia_de_la_leche.html?id=bW_ULacGBZMC&redir_esc=y)
- Alex Bombana, W., & Fernanda Gai, V. (2019). Vista do Cultivo de milho hidropônico com diferentes adubações.
<https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/955/877>
- Altuntas, S., & Hapoglu, H. (2019). Kefir-Type Drinks from Whey. In Non-alcoholic Beverages (Issue 2017). *Elsevier Inc.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815270-6.00007-4>
- Amado, I. R., Vázquez, J. A., Pastrana, L., & Teixeira, J. A. (2016). Cheese whey: A cost-effective alternative for hyaluronic acid production by *Streptococcus zooepidemicus*. *Food Chemistry*, 198, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.062>
- Andrade, L. H., Espíndola, Jonathan., & Amaral, Miriam. (2014). Nanofiltration as tertiary treatment for the reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor, 126, 21–29. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.seppur.2014.01.056>
- Apaza-Aquino, H. (2021). Eficiencia de un sistema combinado para la remoción de carga orgánica de efluentes. *Revista de Investigación y Cultura -Universidad César Vallejo*.
<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-hacer/article/view/573/562>

- Araujo, Alvaro., Monsalve, Lina., & Quintero, Andrés. (2013). Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 55.
<https://doi.org/10.22490/21456453.992>
- Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021). Whey: environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms. *Agroindustrial Science*, 11(1), 105–116.
<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.13>
- ASTM D3921-96. Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water (2011). <https://www.astm.org/standards/d3921>
- Athanasiadou, V., Klontza, E. E., Dimitriou-Christidis, P., Fountoulakis, M., & Lekkas, D. F. (2023). Evaluation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* growth on cheese whey in the context of circular economy. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 34.
<https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101173>
- Azbar, N., Çetinkaya Dokgöz, F. T., Keskin, T., Korkmaz, K. S., & Syed, H. M. (2009). Continuous fermentative hydrogen production from cheese whey wastewater under thermophilic anaerobic conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(17), 7441–7447.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.04.032>
- Baena, S., Campos, C., & Rojas, Germán. (1994). *Aguas residuales de la industria láctea: I Naturaleza y composición de las aguas residuales: Colombia, Ambiente y Desarrollo* (p. 83).

<https://scienti.minciencias.gov.co/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=0000000000799>

5

Blonskaja, V., & Vaalu, T. (2006). Investigation of different schemes for anaerobic treatment of food industry wastes in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*, 55(1), 14. <https://doi.org/10.3176/chem.2006.1.02>

Bouchra, L., Boudine, L., Allali, A., & Chaouch, M. (2018). Physico-chemical and biological treatment of a dairy liquid effluent. https://www.researchgate.net/publication/334448057_Physico-chemical_and_biological_treatment_of_a_dairy_liquid_effluent

Brousett-Minaya, M., Torres Jiménez, A., Chambi Rodríguez, A., Mamani Villalba, B., & Gutiérrez Samata, H. (2015). Physicochemical, microbiological and toxicological quality of raw milk in cattle basins of the region Puno-Peru. *Scientia Agropecuaria*, 165–176. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.03.03>

Cabrera, R. (2002). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. 31, 101-173. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. https://www.researchgate.net/publication/259910311_Propiedades_uso_y_manejo_de_sustratos_de_cultivo_para_la_produccion_de_plantas_en_maceta

Callejas Hernández, J., Prieto García, F., Reyes Cruz, V. E., Marmolejo Santillán, Y., & Méndez Marzo, M. A. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de

recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, 22(1), 11–18.

<https://doi.org/10.15174/au.2012.304>

Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of The Total Environment*, 385–396.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>

Choi, B.-S., Lee, S.-S., & Ok, Y.-S. (2011). Effects of Waste Nutrient Solution on Growth of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L.) in Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(2), 125–131. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2011.30.2.125>

Choi, H. S., Yang, X., Kim, D. S., Yang, J. H., Han, S. O., Park, C., & Kim, S. W. (2020). Power generation from cheese whey using enzymatic fuel cell. *Journal of Cleaner Production*, 254.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120181>.

Constitución Política de Perú [Const]. Art. 67. 29 de diciembre de 1993. (1993).

<https://www.congreso.gob.pe/constitucionyreglamento/>

Correia, T., Regato, M., Almeida, A., Santos, T., Amaral, L., & Carvalho, M. de F. (2020). Manual Treatment of Urban Wastewater by Chemical Precipitation for Production of Hydroponic Nutrient Solutions. *Journal of Ecological Engineering*, 21(3), 143–152.

<https://doi.org/10.12911/22998993/118286>

- Costa, L. F. DA, Soares, T. M., Silva, M. G. DA, Modesto, F. J. N., Queiroz, L. D. A., & Pereira, J. D. S. (2020). Cauliflower growth and yield in a hydroponic system with brackish water. *Revista Caatinga*, 33(4), 1060–1070. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n421rc>
- Dinkçi, N., Akdeniz, V., & Akalın, A. S. (2023). Probiotic Whey-Based Beverages from Cow, Sheep and Goat Milk: Antioxidant Activity, Culture Viability, Amino Acid Contents. *Foods*, 12(3), 610. <https://doi.org/10.3390/foods12030610>
- Divitiis, M., Ami, D., Pessina, A., Palmioli, A., Sciandrone, B., Airolidi, C., Regonesi, M. E., Brambilla, L., Lotti, M., Natalello, A., Brocca, S., & Mangiagalli, M. (2023). Cheese-whey permeate improves the fitness of Escherichia coli cells during recombinant protein production. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 16(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02281-8>
- D. L. 25902-1992. Ley Orgánica del Ministerio de Agricultura. Artículo 19 [Ministerio de Agricultura] (1992). <https://deperu.com/legislacion/ley-25902-pdf.html>
- D.L. N°1278. Decreto Legislativo N°1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2017). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3610-1278>.
- D.S. N. ° 034-2008-AG. Reglamento de la Ley de Inocuidad de los Alimentos (2008) <https://www.gob.pe/institucion/senasa/normas-legales/1050281-34-2008-ag>

D.S N° 004-2017-MINAM. Decreto Supremo que Aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (2017).
<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam>

D.S. N.° 010-2019-VIVIEND. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario <https://www.gob.pe/12808-valores-maximos-admisibles-vma>

Ebrahimi, A., Najafpour, G., Mohammadi, M., & Hashemiyeh, B. (2010). Biological treatment of whey in an UASFF bioreactor followed a three-stage RBC. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 16(2), 175–182. <https://doi.org/10.2298/CICEQ100315025E>

Egbuikwem, P. N., Mierzwa, J. C., & Saroj, D. P. (2020a). Assessment of suspended growth biological process for treatment and reuse of mixed wastewater for irrigation of edible crops under hydroponic conditions. *Agricultural Water Management*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106034>

Elia, S., Stylianou, M., & Agapiou, A. (2023). Combined EC/EO processes for treating goat cheese whey wastewater. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100963>

EPA, & AID. (2004). Guidelines for Water Reuse. U.S.Environmental Protection Agency. Municipal Support Division, Office of Wastewater Management, Office of Water, Washington, DC, Technology Transfer and Support Division, National Risk Management Research Laboratory. *Office of Research and Development*. Cincinnati, OH.

- Ergüder, T. H., Tezel, U., Güven, E., & Demirer, G. N. (2001). Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors. *Waste Management, 21*(7), 643–650. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00114-8)
- Farizoglu, B., Keskinler, B., Yildiz, E., & Nuhoglu, A. (2004). Cheese whey treatment performance of an aerobic jet loop membrane bioreactor. *Process Biochemistry, 39*(12), 2283–2291. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2003.11.028>
- Ferchichi, M., Crabbe, E., Gil, G.-H., Hintz, W., & Almadidy, A. (2005). Influence of initial pH on hydrogen production from cheese whey. *Journal of Biotechnology, 120*(4), 402–409. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2005.05.017>
- Franco, Christian., & Murillo, Jhoan. (2019). Aplicación de un blend emulsificante en el desarrollo de una bebida láctea por medio del proceso UHT, con sustitución parcial de leche por suero dulce de leche.
- Gannoun, H., Khelifi, E., Bouallagui, H., Touhami, Y., & Hamdi, M. (2008). Ecological clarification of cheese whey prior to anaerobic digestion in upflow anaerobic filter. *Bioresource Technology, 99*(14), 6105–6111. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.037>
- García, José., López, Gabriel., & Quintero, Rodrigo. (2003). *Biología Alimentaria*. (Limusa, Ed.; 4th ed.). <https://libreria-limusa.com/producto/biologia-alimentaria/>
- Gaviola, Enzo., Rivera, Renzo., Gutiérrez, Fernando., Corrales, Bruno., & Roncagliolo, Eduardo. (2020). *Análisis sectorial de la ganadería láctea en el Perú*.

- Ghaly, A. E., & Kamal, M. A. (2004). Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction. *Water Research*, 38(3), 631–644. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.019>
- Ghaly, A. E., & Singh, R. K. (1989). Pollution potential reduction of cheese whey through yeast fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 22(2), 181–203. <https://doi.org/10.1007/BF02921744>
- Guerrero-Rodríguez, Windy., Castilla-Hernández, P., Cárdenas-Medina, K., Gómez-Aldapa, C., & Castro-Rosas, J. (2012). Degradación anaerobia de dos tipos de lactosuero en reactores UASB. *Centro de Investigaciones Químicas ICBI*, Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, México. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543775012>
- Gutiérrez, J. L. R., Encina, P. A. G., & Fdz-Polanco, F. (1991). Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 37(3), 271–276. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90194-O](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90194-O)
- Herrera, J. (2019, August 27). *Comercio Agrario*. <https://ecomercioagrario.com/uso-eficiente-del-agua-a-traves-de-la-hidroponia/>
- Hosseinelou, D. (2021). Determination of design loading rates for simultaneous anaerobic oxidation/partial nitrification–denitrification process and application in treating dairy industry effluent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105176. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105176>

- INETI. (2001). Guia Técnico – Indústria de Lacticínios. In *Guia Técnico – Indústria de Lacticínios*.
[https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/13705/1/Guia de apoio às Boas Práticas de Higiene na indústria de laticínios em Angola.pdf](https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/13705/1/Guia%20de%20apoio%20às%20Boas%20Práticas%20de%20Higiene%20na%20indústria%20de%20laticínios%20em%20Angola.pdf)
- Janczukowicz, W., Zieliński, M., & Dębowski, M. (2008). Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production. *Bioresource Technology*, 99(10), 4199–4205. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.077>
- Kargi, F., & Uzunçar, S. (2012). Electro-hydrolysis of cheese whey solution for hydrogen gas production and chemical oxygen demand (COD) removal using photo-voltaic cells (PVC). *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(21), 15841–15849. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.08.025>
- Kaur, V., Sharma, G., & Kirpalani, C. (2018). Agro-potentiality of dairy industry effluent on the characteristics of *Oryza sativa* L. (Paddy). *Environmental Technology & Innovation*, 12, 132–147. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.08.009>
- Khan, N., Fahad, S., Naushad, M., & Faisal, S. (2020). Critical Review of Dairy Cow Industry in the World. *Social Science Research Resources Network*, 33. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3564129
- Kuzin, E., Kruchinina, N., Gromovykh, P., & Tyaglova, Y. (2020). Complex Coagulants in the Processes of Waste Water Treatment in Dairy Industry. *Chemistry for Sustainable Development*, 4. <https://doi.org/10.15372/CSD2020244>

- Lee, E., Rout, P. R., & Bae, J. (2021a). The applicability of anaerobically treated domestic wastewater as a nutrient medium in hydroponic lettuce cultivation: Nitrogen toxicity and health risk assessment. *Science of The Total Environment*, 780, 146482. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146482>
- Lee, E., Rout, P. R., & Bae, J. (2021b). The applicability of anaerobically treated domestic wastewater as a nutrient medium in hydroponic lettuce cultivation: Nitrogen toxicity and health risk assessment. *Science of The Total Environment*, 780, 146482. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146482>.
- Ley N.º 28611. Ley General del Ambiente (2017). <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/3569-28611>.
- Lozada, Eloy., Ortiz, H., Tupayachi, R., Choqueneira, C., & Tenorio, R. (2022). Informe preliminar estudio de mercado sobre el sector lácteo en el Perú.
- Lucakova, S., Branyikova, I., Branyik, T., Matoulkova, D., & Krausova, G. (2022). Wastewater from the demineralization of cheese whey for cost-efficient cultivation of spirulina. *Journal of Applied Phycology*, 34(1), 89–99. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02644-4>
- Luhovyy, B. L., Akhavan, T., & Anderson, G. H. (2007). Whey Proteins in the Regulation of Food Intake and Satiety. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(6), 704S-712S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2007.10719651>

Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., & Mditshwa, A. (2020a). Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science of The Total Environment*, 698, 134154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134154>

Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., & Mditshwa, A. (2020b). Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science of The Total Environment*, 698, 134154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134154>

Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., Mditshwa, A., & Buckley, C. (2020). Partially treated domestic wastewater as a nutrient source for tomatoes (*Lycopersicum solanum*) grown in a hydroponic system: effect on nutrient absorption and yield. *Heliyon*, 6(12), e05745. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05745>

Malaspina, F., Cellamare, C. M., Stante, L., & Tilche, A. (1996). Anaerobic treatment of cheese whey with a downflow-upflow hybrid reactor. *Bioresource Technology*, 55(2), 131–139. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00187-5](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00187-5)

Maya Waiba, K., Himachal Pradesh Krishi, C., Pradesh, H., Parveen Sharma, I., & Sharma, P. (2020). Study of growth parameters and germination of tomato seedlings in soil-less media under protected environment. ~ 308 ~ *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5). www.phytojournal.com

- Ministerio del Ambiente. (2017). Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA). *El Peruano*, 6–9. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Muñoz, Jose. (2018). Reutilización del lactosuero y su efecto en la sostenibilidad ambiental de la Cooperativa de Producción Agropecuaria del Cantón Chone – Ecuador [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. In *Medicina* (Vol. 447, Issue May). http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4147/Diaz_rc.pdf;jsessionid=CD5A7FF3022F1A5526948369A600356D?sequence=1
- OECD/FAO. (2021). *Agricultural outlook OECD agriculture statistics (database)*. <https://doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>
- Paredes Montoya, P., Chávez Martínez, A., Rodríguez Figueroa, J. C., Aguilar Palma, N., Rentería Monterrubio, A. L., & Rodríguez Hernández, G. (2014). Características fisicoquímicas y microbiológicas de suero de leche de queso Chihuahua. *Dialnet*.
- Parra Huertas, Ricardo. (2010). Digestión Anaerobia De Lactosuero: Efecto De Altas Cargas Puntuales. *Dialnet*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472010000100014&script=sci_arttext
- Parra, R. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/37068?show=full>

Pedrero, Frederick. Kalavrouziotis, Louis., Alarcon, J. José., Koukoulakis, Pedro., & Asano, Tier. (2010). *Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture - review of some practices in Spain and Greece. Agric.* (pp. 1233–1241.). *Water Management*.

Pérez-Morales, J., B.-Arroyo, C., Morales-Zarate, E., Hernández-García, H., Méndez-Acosta, H. O., & Hernández-Martínez, E. (2021). Mathematical modeling of volatile fatty acids production from cheese whey: Evaluation of pH and substrate-inoculum ratio effects. *Fuel*, 287, 119510. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119510>

Pilatakis, G., Manios, T., & Tzortzakis, N. (2013). The use of primary and secondary treated municipal wastewater for cucumber irrigation in hydroponic system. *Water Practice and Technology*, 8(3–4), 433–439. <https://doi.org/10.2166/wpt.2013.044>

Poveda E, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(4), 397–403. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182013000400011>

Prazeres, A. R., Albuquerque, A., Luz, S., Jerónimo, E., Carvalho, F., Centro, C., Agricultura, D., Alimentaria, A., Alentejo, I., & Beja, P. De. (2014). Sistema hidropónico: Un Biotecnología prometedor para la producción de alimentos y de Tratamiento de Aguas Residuales. In *Food Biosynthesis* (pp. 317–350). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811372-1/00011-7>

Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, 110, 48–68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.018>

Prazeres, A. R., Carvalho, F., Rivas, J., Patanita, M., & Dôres, J. (2014). Reuse of pretreated cheese whey wastewater for industrial tomato production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agricultural Water Management*, 140, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.002>

Prazeres, A. R., Luz, S., Fernandes, F., & Jerónimo, E. (2020). Cheese wastewater treatment by acid and basic precipitation: Application of H₂SO₄, HNO₃, HCl, Ca (OH)₂ and NaOH. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103556. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103556>

Prazeres, A. R., Rivas, J., Almeida, M. A., Patanita, M., Dôres, J., & Carvalho, F. (2016). Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management. *Agricultural Water Management*, 167, 62–74. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.025>

Prazeres, A. R., Rivas, J., Paulo, Ú., Ruas, F., & Carvalho, F. (2016). Sustainable treatment of different high-strength cheese whey wastewaters: an innovative approach for atmospheric CO₂ mitigation and fertilizer production. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 13062–13075. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6429-3>

Puerta, C. E., Russián, Tania., & Ruiz, César. (2012). *Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco.*

Quispe, J. E., Cotacallapa, H., & Apaza, E. (2019). Eficiencia productiva y económica, perspectivas de los microorganismos de la leche - Puno Region. *UNAP*, 08(2), 7–38. <http://revistas.unap.edu.pe/seconomico/index.php/SECONOMICO/article/view/326/311>

Ramírez, I. K., & Chávez-Martínez, A. (2017). Efecto del ultrasonido aplicado al suero de leche previo al calentamiento en la elaboración de requesón. <https://www.redalyc.org/journal/339/33953770008/html/>

Recsetar, M. S., Fitzsimmons, K. M., Cuello, J. L., Hoppe-Jones, C., & Snyder, S. A. (2020). Evaluation of a Recirculating Hydroponic Bed Bioreactor for Removal of Contaminants of Emerging Concern from Tertiary-Treated Wastewater Effluent. *Chemosphere*, 262, 128121. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128121>

Reglamento N° 852/2004. Por el cual se establece normas generales para la higiene de alimentos en la Unión Europea. 29 de abril de 2004. N°852/2004. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2004-81035>

Reglamento N° 854/2004. Por el cual se establece Controles Oficiales de Productos de Origen Animal destinados al Consumo Humano. 29 de abril de 2004. N°854/2004. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.boe.es/doue/2004/139/L00206-00320.pdf>

Reglamento N.º 1881/2006. Por el cual se definen los límites máximos para diversos contaminantes en los alimentos, incluidos los productos lácteos. 29 de abril de 2004. N°1881/2004. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2006-82588>

Rektor, A., & Vatai, G. (2004). Membrane filtration of Mozzarella whey. *Desalination*, 162, 279–286. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(04\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(04)00052-9)

- Rincón-Pérez, J., Celis, L. B., Morales, M., Alatraste-Mondragón, F., Tapia-Rodríguez, A., & Razo-Flores, E. (2021). Improvement of methane production at alkaline and neutral pH from anaerobic co-digestion of microalgal biomass and cheese whey. *Biochemical Engineering Journal*, 169, 107972. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.107972>
- Rivas, J., Prazeres, A. R., & Carvalho, F. (2011). Aerobic Biodegradation of Precoagulated Cheese Whey Wastewater. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2511–2517. <https://doi.org/10.1021/jf104252w>
- Rosas, J. C., Gómez Aldapa, C., & González Ramírez, C. (2014). Lactosuero y su problemática en el medio ambiente. *Academia*, 1, 1–6. https://www.academia.edu/3743239/Lactosuero_y_su_problema_tica_en_el_medio_ambiente
- Ruiz Reyes, M. (2019). Estudio del efecto de la velocidad y la presión transmembrana en el flux másico en la ultrafiltración de suero de leche.
- Saddoud, A., Hassaïri, I., & Sayadi, S. (2007). Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresource Technology*, 98(11), 2102–2108. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.013>
- Santamaría, J., Sifuentes, E., Albuja, V., Cajas, J., & León, C. (2017). Producción Agrícola y Ganadera 2017 MINAGRI. In *Produccion Agricola Y Ganadera*. http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/produccion-agricola-ganadera-ii trimestre2017_041017.pdf

- Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H., & Ikeda, H. (2006). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae*, 109 (3), 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.05.003>
- Shaikh SY, R., SD, P., & VD, A. B. (2021). Studies on development of a process for preparation of fermented carbonated whey beverage. *Eur. Food Res. Technol.* 38: 519-521.
- Sierra, J. H., Wills, B. A., & Saldarriaga, J. C. (1999). Estudio de tratabilidad de las aguas residuales de una planta pulverizadora de leche. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/5880>
- Sirmacekic, E., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Jagosz, B., Rolbiecki, S., Gokdogan, O., Niemiec, M., & Kocięcka, J. (2022). Possibilities of Using Whey Wastes in Agriculture: Case of Turkey. *Energies*, 15(24), 9636. <https://doi.org/10.3390/en15249636>
- Siso, M. I. G. (1996). The biotechnological utilization of cheese whey: A review. *Bioresource Technology*, 57(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00036-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00036-3)
- Son, J. E., Kim, H. J., & Ahn, T. I. (2020). Chapter 20 - Hydroponic systems. In *Plant Factory*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0>
- Soto Cuevas, J. A. (2022). Valorización de suero de leche como sustrato en cultivo de *Arthrospira maxima* y su aplicación como suplemento en dietas de codorniz japonesa *Coturnix japonica*. <https://eprints.uanl.mx/24793/>

Spreer, Ernesto. (1991). Lactología industrial. *Acribia*, Ed.; p. 528.

https://www.editorialacribia.com/libro/lactologia-industrial_53969/

Teniza, Olgiver. (2018). Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta para el reuso del

mismo (p. 137). *Instituto Politécnico Nacional*.

[https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8662/1/Tesis de Grado Ogilver.pdf](https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8662/1/Tesis%20de%20Grado%20Ogilver.pdf)

Tiw-an, C., Gavino, R., Gavino, H., & Lavarias, J. (2020). Development of a seedling tray seeder for lettuce (*Lactuca sativa* L.) production. *E3S Web of Conferences*, 187, 05002.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018705002>

Trujillo, M., Suarez, F., & Gallego, D. (1997). *Fermentación láctica a partir del suero de leche*.

45–50.

Uuh-Narvaez, J. J., & Segura-Campos, M. R. (2021). Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*):

A food with functional properties aimed to type 2 diabetes prevention and management.

Journal of Food Science, 86(11), 4775–4798. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15939>.

U.S. EPA. 1993. Method 300.0 Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography John

D. Pfaff Inorganic Chemistry Branch Chemistry Research Division Revision 2.1 August 1993.

<https://www.epa.gov/esam/epa-method-3001-revision-10-determination-inorganic-anions-drinking-water-ion-chromatography>

- U.S. EPA. 1994. Method 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Revision 5.4. Cincinnati, OH. <https://www.epa.gov/esam/epa-method-2008-determination-trace-elements-waters-and-wastes-inductively-coupled-plasma-mass>
- Vaillant, N., Monnet, F., Sallanon, H., Coudret, A., & Hitmi, A. (2003). Treatment of domestic wastewater by a hydroponic NFT system. *Chemosphere*, 50(1), 121–129. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00371-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00371-5)
- Vourch, M., Balannec, B., Chaufer, B., & Dorange, G. (2008). Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. 219, 190–202. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.013>
- Williams Zambrano, M. B., & Dueñas Rivadeneira, A. A. (2021). Alternativas para el aprovechamiento del lactosuero: Antecedentes investigativos y usos tradicionales. *La Técnica Revista de Las Agrociencias*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8232844>
- Xavier, J. F., Azevedo, C. A. V. de, Azevedo, M. R. de Q. A., Dantas, J. F., Filho, A. F. M., & Lima, V. L. A. de. (2019a). Application of wastewater for production of lettuce (*Lactuca sativa*) in hydroponic system. *Australian Journal of Crop Science*, 13(10):2019, 1586–1593. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.10.p1752>
- Xavier, J. F., Azevedo, C. A. V. de, Azevedo, M. R. de Q. A., Dantas, J. F., Filho, A. F. M., & Lima, V. L. A. de. (2019b). Application of wastewater for production of lettuce (*Lactuca*

sativa) in hydroponic system. *Australian Journal of Crop Science*, 13(10):2019, 1586–1593.

<https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.10.p1752>

Yorgun, M. S., Balcioglu, I. A., & Saygin, O. (2008). Performance comparison of ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis on whey treatment. *Desalination*, 229(1–3), 204–216.

<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.09.008>

Zárate, Angel., Anchiraico, Sergio., Lagos, Sara., & Bustamente, Gloria. (2011). *Tratamiento de suero de quesería por método electroquímico.*

<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1285/1425>

Zhou, X., Hua, X., Huang, L., & Xu, Y. (2019). Bio-utilization of cheese manufacturing wastes (cheese whey powder) for bioethanol and specific product (galactonic acid) production via a two-step bioprocess. *Bioresource Technology*, 272, 70–76.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.001>

7. ANEXOS





ANEXO 1. Resultados De Laboratorio

7.1.1. Resultados de laboratorio: lactosuero crudo



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2212216 Rev. 0**

| IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA | | | | | 01 |
|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|----------|----------|---------------------------|
| FECHA DE MUESTREO | | | | | 19/03/2022 |
| HORA DE MUESTREO | | | | | 13:00:00 |
| CATEGORIA | | | | | AGUA RESIDUAL |
| SUB CATEGORIA | | | | | AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL |
| Parámetro | Referencia | Unidad | LD | LC | Resultado ± Incertidumbre |
| Análisis Generales | | | | | |
| Color Verdadero | EW APHA2120C DIS AQ | UC | 0.4 | 1.0 | 884.4 ± 196.9 |
| Bicarbonatos | EW APHA2320B AQ | mg HCO ₃ /L | 0.6 | 1.2 | 591.1 ± 124.1 |
| Dureza Total | EW APHA2340C AQ | mgCaCO ₃ /L | 0.5 | 1.1 | 1,231.8 ± 52.1 |
| Conductividad | EW APHA2510B AQ | µS/cm | -- | -- | 6,460.00 ± 1744.20 |
| Salinidad | EW APHA2520AB | ‰ | -- | -- | 0.5 * ± 0.1 |
| Sólidos Totales Disueltos | EW_APHA2540C_AQ | mg Sólidos Totales Disueltos/L | 1 | 3 | 50,850 ± 11696 |
| Sólidos Totales en Suspensión | EW_APHA2540D_AQ | mg Sólidos Totales en Suspensión/L | 1 | 3 | 6,960 ± 2018 |
| Potencial de Hidrógeno | EW APHA4500HB AQ | pH | -- | -- | 5.00 * ± 0.14 |
| Oxígeno disuelto | EW APHA4500OC AQ | mg DO/L | 0.3 | 1.0 | 10.1 * ± 2.6 |
| Nitrógeno Total | EW APHA4500PJ | mg N/L | 0.04 | 0.10 | 1,236.11 ± 30.90 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | EW APHA5210B AQ | mg/L | 1.0 | 2.6 | 4,705.0 ± 894.0 |
| Demanda Química de Oxígeno | EW APHA5220D AQ | mgO ₂ /L | 1.8 | 4.5 | 34,511.9 ± 425.3 |
| Acetatos y Grasas | EW ASTM3921 AQ | mg/L | 0.2 | 0.4 | 455.5 ± 6.4 |
| Aniones | | | | | |
| Cloruro | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.029 | 0.093 | 1,168.590 ± 26,542 |
| Nitrato | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.018 | 0.062 | 31,562 ± 7,259 |
| Nitrilo | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.003 | 0.007 | 55,927 ± 11,185 |
| Sulfato | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.010 | 0.031 | 166,840 ± 17,159 |
| Metales Totales | | | | | |
| Aluminio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.001 | 0.003 | <0.003 |
| Antimonio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00004 | 0.00013 | <0.00013 |
| Arsénico Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00010 | 0.00254 ± 0.00061 |
| Bario Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | <0.0003 |
| Berilio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | <0.00006 |
| Bismuto Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00001 | 0.00003 | <0.00003 |
| Boro Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.002 | 0.006 | 0.250 ± 0.050 |
| Cadmio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00001 | 0.00003 | <0.00003 |
| Calcio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.003 | 0.009 | 325,855 ± 81,464 |
| Cerio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00008 | 0.00024 | 0.01506 ± 0.00196 |
| Cesio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | 0.0079 ± 0.0013 |
| Cobalto Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00001 | 0.00003 | <0.00003 |
| Cobre Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00009 | <0.00009 |
| Cromo Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | <0.0003 |
| Estaño Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00010 | <0.00010 |
| Estroncio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 0.2385 ± 0.0501 |
| Fósforo Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.015 | 0.047 | 314,425 ± 14,855 |
| Galio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00004 | 0.00012 | 0.00142 ± 0.00030 |
| Germanio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | <0.0006 |
| Hafnio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00005 | 0.00015 | <0.00015 |
| Hierro Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0004 | 0.0013 | <0.0013 |
| Lantano Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0005 | 0.0015 | <0.0015 |
| Litio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | 0.0145 ± 0.0030 |
| Lutecio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | <0.00006 |
| Magnesio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.001 | 0.003 | 85,310 ± 17,915 |
| Manganeso Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00010 | <0.00010 |
| Mercurio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00009 | <0.00009 |
| Molibdeno Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | 0.02750 ± 0.00578 |
| Niobio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0005 | 0.0015 | 0.0332 ± 0.0070 |
| Niquel Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | <0.0006 |
| Plata Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.000003 | 0.000010 | <0.000010 |
| Plomo Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | <0.0006 |
| Potasio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.04 | 0.13 | 1,314.15 ± 105.13 |
| Rubidio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0003 | 0.0009 | 1.0860 ± 0.2281 |
| Selenio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0004 | 0.0013 | <0.0013 |
| Silice Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.09 | 0.27 | 23.11 * ± 6.01 |
| Silicio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.04 | 0.13 | -0.80 ± 2.81 |
| Sodio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.006 | 0.019 | 847,530 ± 135,981 |
| Talio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | <0.00006 |
| Tantalo Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0007 | 0.0021 | 0.1186 ± 0.0249 |
| Teluro Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.001 | 0.003 | <0.003 |
| Thorio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00006 | 0.00019 | <0.00019 |
| Titanio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 1.0930 ± 0.0020 |
| Uranio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.000003 | 0.000010 | <0.000010 |
| Vanadio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | <0.0003 |
| Wolframio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | <0.0006 |
| Yterbio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | <0.00006 |
| Zinc Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.0008 | 0.0026 | 0.0996 ± 0.0209 |
| Zirconio Total | EW EPA200 8 AQ | mg/L | 0.00015 | 0.00045 | 0.01669 ± 0.00350 |

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

| IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA | | | | | UCSM-LTN 8194563.867N / 227823.636E 08/03/2023 14:47:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL |
|---------------------------|--------------------|--------|---------|---------|---|
| FECHA DE MUESTREO | | | | | |
| HORA DE MUESTREO | | | | | |
| CATEGORIA | | | | | |
| SUB CATEGORIA | | | | | |
| Parámetro | Referencia | Unidad | LD | LC | Resultado ± Incertidumbre |
| Metales Disueltos | | | | | |
| Yterbio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | 0.00009 ± 0.000020 |
| Zinc Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0008 | 0.0026 | 0.2622 ± 0.055 |
| Zirconio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00015 | 0.00045 | 0.00349 ± 0.00045 |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 3 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 | Callao | t (511) 517 1900 | www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa | t (054) 213 506 | e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca | t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

| Parámetro | Unidad | LC | MB | DUP %RPD | LCS %Recovery | MS %Recovery | MSD %RPD |
|-------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|---------------|--------------|----------|
| Aceites y Grasas | mg/L | 0.4 | <0.4 | 0 - 4% | 98% | 96% | |
| Color Verdadero | UC | 1.0 | <1.0 | 0 - 1% | 97 - 104% | | |
| Conductividad | µS/cm | | | 0% | 100% | | |
| Cloruro | mg/L | 0.093 | <0.093 | | 100 - 101% | 101 - 103% | 0 - 2% |
| Nitrato | mg/L | 0.062 | <0.062 | | 98 - 102% | 101% | 0% |
| Nitrilo | mg/L | 0.007 | <0.007 | | 98 - 100% | 102% | 0% |
| Sulfato | mg/L | 0.031 | <0.031 | | 99 - 100% | 100 - 103% | 0% |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 2.6 | <2.6 | 3% | 99 - 100% | | |
| Bicarbonatos | mg HCO3/L | 1.2 | <1.2 | 0% | 97 - 103% | | |
| Demanda Química de Oxígeno | mgO2/L | 4.5 | <4.5 | | 102% | 104% | 0% |
| Dureza Total | mgCaCO3/L | 1.1 | <1.1 | 0% | 98 - 99% | | |
| Aluminio Disuelto | mg/L | 0.003 | <0.003 | 8% | 99 - 100% | 99% | 0% |
| Antimonio Disuelto | mg/L | 0.00013 | <0.00013 | 0% | 97 - 103% | 97% | 1% |
| Arsénico Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 92 - 98% | 101% | 0% |
| Bario Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 99 - 102% | 100% | 0% |
| Berilio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 103% | 92% | 0% |
| Bismuto Disuelto | mg/L | 0.00003 | <0.00003 | 0% | 99 - 100% | 99% | 0% |
| Boro Disuelto | mg/L | 0.006 | <0.006 | 5% | 96 - 98% | 97% | 0% |
| Cadmio Disuelto | mg/L | 0.00003 | <0.00003 | 0% | 98 - 100% | 100% | 1% |
| Calcio Disuelto | mg/L | 0.009 | <0.009 | 3% | 98 - 103% | 98% | 0% |
| Cerio Disuelto | mg/L | 0.00024 | <0.00024 | 0% | 85 - 91% | 95% | 0% |
| Cesio Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 98 - 99% | 99% | 0% |
| Cobalto Disuelto | mg/L | 0.00003 | <0.00003 | 4% | 96% | 100% | 0% |
| Cobre Disuelto | mg/L | 0.00009 | <0.00009 | 0% | 93 - 96% | 99% | 0% |
| Cromo Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 97 - 98% | 96% | 1% |
| Estaño Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 97 - 107% | 97% | 0% |
| Estroncio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 97 - 98% | 94% | 0% |
| Fósforo Disuelto | mg/L | 0.047 | <0.047 | 0% | 99% | 97% | 0% |
| Galio Disuelto | mg/L | 0.00012 | <0.00012 | 0% | 96 - 100% | 102% | 0% |
| Germanio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 102 - 105% | 100% | 0% |
| Hafnio Disuelto | mg/L | 0.00015 | <0.00015 | 0% | 92 - 97% | 102% | 1% |
| Hierro Disuelto | mg/L | 0.0013 | <0.0013 | 0% | 97 - 98% | 102% | 1% |
| Lantano Disuelto | mg/L | 0.0015 | <0.0015 | 0% | 96 - 97% | 103% | 0% |
| Litio Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 5% | 97 - 102% | 103% | 0% |
| Lutecio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 100 - 102% | 99% | 0% |
| Magnesio Disuelto | mg/L | 0.003 | <0.003 | 3% | 99 - 104% | 96% | 0% |
| Manganeso Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 98 - 100% | 96% | 1% |
| Mercurio Disuelto | mg/L | 0.00009 | <0.00009 | 0% | 100 - 103% | 105% | 0% |
| Molibdeno Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 100% | 99% | 1% |
| Niobio Disuelto | mg/L | 0.0015 | <0.0015 | 0% | 98 - 100% | 98% | 1% |
| Niquel Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 101 - 104% | 100% | 0% |
| Plata Disuelto | mg/L | 0.000010 | <0.000010 | 0% | 94 - 104% | 100% | 0% |
| Plomo Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 90 - 106% | 100% | 0% |
| Potasio Disuelto | mg/L | 0.13 | <0.13 | 4% | 99% | 100% | 1% |
| Rubidio Disuelto | mg/L | 0.0009 | <0.0009 | 2% | 103 - 106% | 105% | 0% |
| Selenio Disuelto | mg/L | 0.0013 | <0.0013 | 0% | 99 - 101% | 98% | 1% |
| Silice Disuelto | mg/L | 0.27 | <0.27 | 0% | 96 - 102% | 112% | 1% |
| Silicio Disuelto | mg/L | 0.13 | <0.13 | 0% | 96 - 102% | 111% | 1% |
| Sodio Disuelto | mg/L | 0.019 | <0.019 | 0% | 96 - 101% | 98% | 0% |
| Talio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 95 - 98% | 96% | 0% |
| Tantalo Disuelto | mg/L | 0.0021 | <0.0021 | 0% | 94 - 95% | 99% | 0% |
| Teluro Disuelto | mg/L | 0.003 | <0.003 | 0% | 92 - 97% | 99% | 0% |
| Thorio Disuelto | mg/L | 0.00019 | <0.00019 | 0% | 98 - 99% | 104% | 0% |
| Titanio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 4% | 100 - 109% | 100% | 0% |
| Uranio Disuelto | mg/L | 0.000010 | <0.000010 | 0% | 96 - 101% | 100% | 0% |
| Vanadio Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 90% | 99% | 0% |
| Wolframio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 101% | 100% | 0% |
| Yterbio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 91 - 93% | 100% | 0% |
| Zinc Disuelto | mg/L | 0.0026 | <0.0026 | 4% | 100 - 103% | 99% | 0% |
| Zirconio Disuelto | mg/L | 0.00045 | <0.00045 | 0% | 100 - 102% | 103% | 0% |
| Oxígeno disuelto | mg DO/L | 1.0 | <1.0 | 0% | 98% | | |
| Salinidad | ‰ | -- | | 2% | 92% | | |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 4 de 7

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

| Parámetro | Unidad | LC | MB | DUP %RPD | LCS %Recovery | MS %Recovery | MSD %RPD |
|-------------------------------|------------------------------------|------|-------|----------|---------------|--------------|----------|
| Sólidos Totales Disueltos | mg Sólidos Totales Disueltos/L | 3 | <3 | 1 - 2% | 102 - 104% | | |
| Sólidos Totales en Suspensión | mg Sólidos Totales en Suspensión/L | 3 | <3 | 1% | 101 - 102% | | |
| Nitrógeno Total | mg N/L | 0.10 | <0.10 | | 92 - 100% | 97 - 98% | 4 - 8% |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 5 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 | Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Ps.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

| Referencia | Sede | Parámetro | Método de Ensayo |
|---------------------|----------|-------------------------------|--|
| EW_APHA2120C_DIS_AQ | Arequipa | Color Verdadero | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Color. Spectrophotometric Single-Wavelength Method (Proposed) |
| EW_APHA2320B_AQ | Arequipa | Bicarbonatos | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed: 2017. Alkalinity Titration Method |
| EW_APHA2340C_AQ | Arequipa | Dureza Total | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C.23rd Ed: 2017. Hardness: EDTA Titrimetric Method. |
| EW_APHA2510B_AQ | Arequipa | Conductividad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed: 2017. Conductivity: Laboratory Method |
| EW_APHA2520AB | Callao | Salinidad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520-A,B, 23rd Ed: 2017. Electrical Conductivity Method |
| EW_APHA2540C_AQ | Arequipa | Sólidos Disueltos Totales | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-C, 23rd Ed.:2017. Solids:Total Dissolved Solid dried at 180°C |
| EW_APHA2540D_AQ | Arequipa | Sólidos Totales en Suspensión | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C |
| EW_APHA4500OC_AQ | Arequipa | Oxígeno Disuelto | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O-C; 23rd Ed: 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification |
| EW_APHA4500PJ | Callao | Nitrógeno Total | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P J; 23rd Ed: 2017. Phosphorus. Persulfate Method for Simultaneous Determination of Total Nitrogen and Total Phosphorus (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017 |
| EW_APHA5210B_AQ | Arequipa | Demanda Bioquímica de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD test |
| EW_APHA5220D_AQ | Arequipa | Demanda Química de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method |
| EW_ASTMD3921_AQ | Arequipa | Aceites y Grasas | ASTM D3921-96 (Reapproved 2011) (VALIDADO - Modificado). 2014. Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water |
| EW_EPA200_8_DIS_AQ | Arequipa | Metales Disueltos | EPA- Method 200.8 Rev. 5.4, 1994 (VALIDADO - Modificado). 2016. Determination of trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Cloruro | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Nitrato | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Nitrito | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Sulfato | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 6 de 7

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

| Referencia | Sede | Parámetro | Método de Ensayo |
|---------------------|----------|-------------------------------|--|
| EW_APHA2120C_DIS_AQ | Arequipa | Color Verdadero | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Color. Spectrophotometric Single-Wavelength Method (Proposed) |
| EW_APHA2320B_AQ | Arequipa | Bicarbonatos | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed: 2017. Alkalinity Titration Method |
| EW_APHA2340C_AQ | Arequipa | Dureza Total | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C, 23rd Ed: 2017. Hardness: EDTA Titrimetric Method. |
| EW_APHA2510B_AQ | Arequipa | Conductividad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed: 2017. Conductivity: Laboratory Method |
| EW_APHA2520AB | Callao | Salinidad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520-A,B, 23rd Ed: 2017. Electrical Conductivity Method |
| EW_APHA2540C_AQ | Arequipa | Sólidos Disueltos Totales | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-C, 23rd Ed.:2017. Solids:Total Dissolved Solid dried at 180°C |
| EW_APHA2540D_AQ | Arequipa | Sólidos Totales en Suspensión | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C |
| EW_APHA4500OC_AQ | Arequipa | Oxígeno Disuelto | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O-C; 23rd Ed: 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification |
| EW_APHA4500PJ | Callao | Nitrógeno Total | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P J; 23rd Ed: 2017. Phosphorus. Persulfate Method for Simultaneous Determination of Total Nitrogen and Total Phosphorus (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017 |
| EW_APHA5210B_AQ | Arequipa | Demanda Bioquímica de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD test |
| EW_APHA5220D_AQ | Arequipa | Demanda Química de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method |
| EW_ASTMD3921_AQ | Arequipa | Aceites y Grasas | ASTM D3921-96 (Reapproved 2011) (VALIDADO - Modificado). 2014. Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water |
| EW_EPA200_8_DIS_AQ | Arequipa | Metales Disueltos | EPA- Method 200.8 Rev. 5.4, 1994 (VALIDADO - Modificado). 2016. Determination of trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Cloruro | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Nitrato | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Nitrito | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Sulfato | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 6 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 | Callao 1 | Callao | (511) 517 1900 | www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 | Parque Industrial | Arequipa | (054) 213 506 | e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez | Ba. San Antonio | Cajamarca | (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

7.1.2. Resultados de laboratorio: lactosuero tratado



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

| IDENTIFICACION DE MUESTRA | | | | | UCSMLTN 8184563.867N / 227823.636E 08/03/2023 14:47:00 |
|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|----------|----------|--|
| FECHA DE MUESTREO | | | | | AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL |
| HORA DE MUESTREO | | | | | |
| CATEGORIA | | | | | |
| SUB CATEGORIA | | | | | |
| Parámetro | Referencia | Unidad | LD | LC | Resultado ± Incertidumbre |
| Análisis Generales | | | | | |
| Color Verdadero | EW APHA2120C DIS AQ | UC | 0.4 | 1.0 | 575.6 ± 115.10 |
| Carbonatos | EW APHA2320B AQ | mg HCO3/L | 0.6 | 1.2 | <1.2 |
| Dureza Total | EW APHA2340C AQ | mgCaCO3/L | 0.5 | 1.1 | 303.3 ± 11.90 |
| Conductividad | EW APHA2510B AQ | µS/cm | -- | -- | 9,530.00 ± 2,573.10 |
| Salinidad | EW APHA2520AB | °/oo | -- | -- | 6.0 * ± 0.90 |
| Sólidos Totales Disueltos | EW APHA2540C_AQ | mg Sólidos Totales Disueltos/L | 1 | 3 | 54,060 ± 12,434 |
| Sólidos Totales en Suspensión | EW APHA2540D_AQ | mg Sólidos Totales en Suspensión/L | 1 | 3 | 3,620 ± 1,050 |
| Oxígeno disuelto | EW APHA4500OC AQ | mg DO/L | 0.3 | 1.0 | <1.0 * |
| Nitrógeno Total | EW APHA4500PJ | mg N/L | 0.04 | 0.10 | 195.00 ± 4.88 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | EW APHA5210B AQ | mg/L | 1.0 | 2.6 | 27,750.0 |
| Demanda Química de Oxígeno | EW APHA5220D AQ | mgO2/L | 1.8 | 4.5 | 42,860.6 |
| Aceites y Grasas | EW ASTM03521 AQ | mg/L | 0.2 | 0.4 | >500.0 ± 6.90 |
| Aniones | | | | | |
| Cloruro | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.029 | 0.093 | 116,755 ± 2,86 |
| Nitrato | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.018 | 0.062 | <0.062 |
| Nitrito | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.003 | 0.007 | <0.007 |
| Sulfato | EW EPA300 0 AQ | mg/L | 0.010 | 0.031 | 140,225 ± 14,61 |
| Metales Disueltos | | | | | |
| Aluminio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.001 | 0.003 | 1,441 ± 0.12 |
| Antimonio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00004 | 0.00013 | 0.00178 ± 0.00080 |
| Arsénico Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00010 | 0.04893 ± 0.00010 |
| Bario Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | 0.0328 ± 0.0037 |
| Berilio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | 0.00029 ± 0.00010 |
| Bismuto Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00001 | 0.00003 | 0.00006 ± 0.000050 |
| Boro Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.002 | 0.006 | 2,443 ± 0.25 |
| Cadmio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00001 | 0.00003 | 0.00132 ± 0.00020 |
| Calcio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.003 | 0.009 | 109,888 ± 3,068 |
| Cerio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00008 | 0.00024 | 0.00073 ± 0.000090 |
| Cesio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | 0.0153 ± 0.0018 |
| Cobalto Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00001 | 0.00003 | 0.02143 ± 0.0030 |
| Cobre Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00009 | 0.06230 ± 0.011 |
| Cromo Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | 0.0182 ± 0.0024 |
| Estatio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00010 | 0.01456 ± 0.00019 |
| Estroncio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 0.4110 ± 0.029 |
| Fósforo Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.015 | 0.047 | 244,912 ± 9,91 |
| Galio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00004 | 0.00012 | 0.00569 ± 0.00068 |
| Germanio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | <0.0006 |
| Hafnio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00005 | 0.00015 | 0.00122 ± 0.00018 |
| Hierro Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0004 | 0.0013 | 0.9751 ± 0.073 |
| Lantano Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0005 | 0.0015 | <0.0015 |
| Litio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | 0.0578 ± 0.0053 |
| Lutecio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | <0.00006 |
| Magnesio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.001 | 0.003 | 90,047 ± 2,37 |
| Manganeso Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00010 | 0.11245 ± 0.0087 |
| Mercurio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00009 | 0.00192 ± 0.00025 |
| Molibdeno Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | 0.08283 ± 0.0068 |
| Niobio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0005 | 0.0015 | <0.0015 |
| Niquel Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 0.0638 ± 0.013 |
| Plata Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00003 | 0.00010 | 0.000224 ± 0.000029 |
| Plomo Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 0.0044 ± 0.0010 |
| Potasio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.04 | 0.13 | 1,079.49 ± 86.36 |
| Rubidio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0003 | 0.0009 | 3,8173 ± 0.47 |
| Selenio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0004 | 0.0013 | 0.0706 ± 0.0020 |
| Slice Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.09 | 0.27 | 67.90 * ± 1.68 |
| Silicio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.04 | 0.13 | 31.74 ± 0.77 |
| Sodio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.006 | 0.019 | 9,347,767 ± 280,43 |
| Talio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | 0.00024 ± 0.000030 |
| Tantalo Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0007 | 0.0021 | <0.0021 |
| Teluro Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.001 | 0.003 | <0.003 |
| Thorio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00006 | 0.00019 | 0.00257 ± 0.00033 |
| Titanio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 0.4479 ± 0.00090 |
| Uranio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.000003 | 0.000010 | 0.000481 ± 0.000063 |
| Vanadio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0001 | 0.0003 | 0.0330 ± 0.0037 |
| Wolframio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 0.0178 ± 0.0023 |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 2 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao | (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa | (054) 213 506 e Pa.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca | (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

| IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA | | | | | UCSM-LTN 8184563.867N / 227823.636E 08/03/2023 14:47:00 |
|---------------------------|--------------------|--------|---------|---------|---|
| FECHA DE MUESTREO | | | | | AGUA RESIDUAL |
| HORA DE MUESTREO | | | | | AGUA RESIDUAL |
| CATEGORIA | | | | | INDUSTRIAL |
| SUB CATEGORIA | | | | | |
| Parámetro | Referencia | Unidad | LD | LC | Resultado ± Incertidumbre |
| Método Disueltos | | | | | |
| Yterbio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00002 | 0.00006 | 0.00009 ± 0.000020 |
| Zinc Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.0008 | 0.0026 | 0.2622 ± 0.055 |
| Zirconio Disuelto | EW EPA200 8 DIS AQ | mg/L | 0.00015 | 0.00045 | 0.00349 ± 0.00045 |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 3 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 | Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

| Parámetro | Unidad | LC | MB | DUP %RPD | LCS %Recovery | MS %Recovery | MSD %RPD |
|-------------------------------|------------------------|---------|----------|----------|---------------|--------------|----------|
| Aceites y Grasas | mg/L | 0.4 | <0.4 | 0 - 4% | 98% | 98% | |
| Color Verdadero | UC | 1.0 | <1.0 | 0 - 1% | 97 - 104% | | |
| Conductividad | µS/cm | --- | | 0% | 100% | | |
| Cloruro | mg/L | 0.093 | <0.093 | | 100 - 101% | 101 - 103% | 0 - 2% |
| Nitrato | mg/L | 0.062 | <0.062 | | 98 - 102% | 101% | 0% |
| Nitrilo | mg/L | 0.007 | <0.007 | | 98 - 100% | 102% | 0% |
| Sulfato | mg/L | 0.031 | <0.031 | | 99 - 100% | 100 - 103% | 0% |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 2.6 | <2.6 | 3% | 99 - 100% | | |
| Bicarbonatos | mg HCO ₃ /L | 1.2 | <1.2 | 0% | 97 - 103% | | |
| Demanda Química de Oxígeno | mgO ₂ /L | 4.5 | <4.5 | | 102% | 104% | 0% |
| Dureza Total | mgCaCO ₃ /L | 1.1 | <1.1 | 0% | 98 - 99% | | |
| Aluminio Disuelto | mg/L | 0.003 | <0.003 | 8% | 99 - 100% | 99% | 0% |
| Antimonio Disuelto | mg/L | 0.00013 | <0.00013 | 0% | 97 - 103% | 97% | 1% |
| Arsénico Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 92 - 99% | 101% | 0% |
| Bario Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 99 - 102% | 100% | 0% |
| Berilio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 103% | 92% | 0% |
| Bismuto Disuelto | mg/L | 0.00003 | <0.00003 | 0% | 99 - 100% | 99% | 0% |
| Boro Disuelto | mg/L | 0.006 | <0.006 | 5% | 96 - 98% | 97% | 0% |
| Cadmio Disuelto | mg/L | 0.00003 | <0.00003 | 0% | 98 - 100% | 100% | 1% |
| Calcio Disuelto | mg/L | 0.009 | <0.009 | 3% | 98 - 103% | 98% | 0% |
| Cerio Disuelto | mg/L | 0.00024 | <0.00024 | 0% | 85 - 91% | 95% | 0% |
| Cesio Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 98 - 99% | 99% | 0% |
| Cobalto Disuelto | mg/L | 0.00003 | <0.00003 | 4% | 96% | 100% | 0% |
| Cobre Disuelto | mg/L | 0.00009 | <0.00009 | 0% | 93 - 96% | 99% | 0% |
| Cromo Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 97 - 98% | 96% | 1% |
| Estaño Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 97 - 107% | 97% | 0% |
| Estroncio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 97 - 98% | 94% | 0% |
| Fósforo Disuelto | mg/L | 0.047 | <0.047 | 0% | 99% | 97% | 0% |
| Galio Disuelto | mg/L | 0.00012 | <0.00012 | 0% | 98 - 100% | 102% | 0% |
| Germanio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 102 - 105% | 100% | 0% |
| Hafnio Disuelto | mg/L | 0.00015 | <0.00015 | 0% | 92 - 97% | 102% | 1% |
| Hierro Disuelto | mg/L | 0.0013 | <0.0013 | 0% | 97 - 98% | 102% | 1% |
| Lantano Disuelto | mg/L | 0.0015 | <0.0015 | 0% | 96 - 97% | 103% | 0% |
| Litio Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 5% | 97 - 102% | 103% | 0% |
| Lutecio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 100 - 102% | 99% | 0% |
| Magnesio Disuelto | mg/L | 0.003 | <0.003 | 3% | 99 - 104% | 98% | 0% |
| Manganeso Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 98 - 100% | 98% | 1% |
| Mercurio Disuelto | mg/L | 0.00009 | <0.00009 | 0% | 100 - 103% | 105% | 0% |
| Molibdeno Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 100% | 99% | 1% |
| Niobio Disuelto | mg/L | 0.0015 | <0.0015 | 0% | 98 - 100% | 98% | 1% |
| Níquel Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 101 - 104% | 100% | 0% |
| Plata Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 94 - 104% | 100% | 0% |
| Piombo Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 90 - 106% | 100% | 0% |
| Potasio Disuelto | mg/L | 0.13 | <0.13 | 4% | 99% | 100% | 1% |
| Rubidio Disuelto | mg/L | 0.0009 | <0.0009 | 2% | 103 - 106% | 105% | 0% |
| Selenio Disuelto | mg/L | 0.0013 | <0.0013 | 0% | 99 - 101% | 98% | 1% |
| Silice Disuelto | mg/L | 0.27 | <0.27 | 0% | 96 - 102% | 112% | 1% |
| Silicio Disuelto | mg/L | 0.13 | <0.13 | 0% | 96 - 102% | 111% | 1% |
| Sodio Disuelto | mg/L | 0.019 | <0.019 | 0% | 96 - 101% | 98% | 0% |
| Talio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 95 - 98% | 96% | 0% |
| Tantalio Disuelto | mg/L | 0.0021 | <0.0021 | 0% | 94 - 95% | 99% | 0% |
| Teluro Disuelto | mg/L | 0.003 | <0.003 | 0% | 92 - 97% | 99% | 0% |
| Thorio Disuelto | mg/L | 0.00019 | <0.00019 | 0% | 98 - 99% | 104% | 0% |
| Titanio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 4% | 100 - 109% | 100% | 0% |
| Uranio Disuelto | mg/L | 0.00010 | <0.00010 | 0% | 98 - 101% | 100% | 0% |
| Vanadio Disuelto | mg/L | 0.0003 | <0.0003 | 0% | 90% | 99% | 0% |
| Wolframio Disuelto | mg/L | 0.0006 | <0.0006 | 0% | 101% | 100% | 0% |
| Yterbio Disuelto | mg/L | 0.00006 | <0.00006 | 0% | 91 - 93% | 100% | 0% |
| Zinc Disuelto | mg/L | 0.0026 | <0.0026 | 4% | 100 - 103% | 99% | 0% |
| Zirconio Disuelto | mg/L | 0.00045 | <0.00045 | 0% | 100 - 102% | 103% | 0% |
| Oxígeno disuelto | mg DO ₂ /L | 1.0 | <1.0 | 0% | 99% | | |
| Salinidad | ‰ | --- | | 2% | 92% | | |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 4 de 7

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
 MB: Blanco del proceso.
 LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
 MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
 MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
 Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

| Parámetro | Unidad | LC | MB | DUP %RPD | LCS %Recovery | MS %Recovery | MSD %RPD |
|-------------------------------|------------------------------------|------|-------|----------|---------------|--------------|----------|
| Sólidos Totales Disueltos | mg Sólidos Totales Disueltos/L | 3 | <3 | 1 - 2% | 102 - 104% | | |
| Sólidos Totales en Suspensión | mg Sólidos Totales en Suspensión/L | 3 | <3 | 1% | 101 - 102% | | |
| Nitrógeno Total | mg N/L | 0.10 | <0.10 | | 92 - 100% | 97 - 98% | 4 - 8% |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 5 de 7

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
 Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
 Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 368 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2308325 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

| Referencia | Sede | Parámetro | Método de Ensayo |
|---------------------|----------|-------------------------------|--|
| EW_APHA2120C_DIS_AQ | Arequipa | Color Verdadero | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Color. Spectrophotometric Single-Wavelength Method (Proposed) |
| EW_APHA2320B_AQ | Arequipa | Bicarbonatos | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed: 2017. Alkalinity Titration Method |
| EW_APHA2340C_AQ | Arequipa | Dureza Total | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C, 23rd Ed: 2017. Hardness: EDTA Titrimetric Method. |
| EW_APHA2510B_AQ | Arequipa | Conductividad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed: 2017. Conductivity: Laboratory Method |
| EW_APHA2520AB | Callao | Salinidad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520-A,B, 23rd Ed: 2017. Electrical Conductivity Method |
| EW_APHA2540C_AQ | Arequipa | Sólidos Disueltos Totales | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-C, 23rd Ed.:2017. Solids:Total Dissolved Solid dried at 180°C |
| EW_APHA2540D_AQ | Arequipa | Sólidos Totales en Suspensión | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C |
| EW_APHA4500OC_AQ | Arequipa | Oxígeno Disuelto | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O-C; 23rd Ed: 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification |
| EW_APHA4500PJ | Callao | Nitrógeno Total | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P J; 23rd Ed: 2017. Phosphorus. Persulfate Method for Simultaneous Determination of Total Nitrogen and Total Phosphorus (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017 |
| EW_APHA5210B_AQ | Arequipa | Demanda Bioquímica de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD test |
| EW_APHA5220D_AQ | Arequipa | Demanda Química de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method |
| EW_ASTMD3921_AQ | Arequipa | Aceites y Grasas | ASTM D3921-96 (Reapproved 2011) (VALIDADO - Modificado). 2014. Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water |
| EW_EPA200_8_DIS_AQ | Arequipa | Metales Disueltos | EPA- Method 200.8 Rev. 5.4, 1994 (VALIDADO - Modificado). 2016. Determination of trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Cloruro | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Nitrato | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Nitrito | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |
| EW_EPA300_0_AQ | Arequipa | Sulfato | EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography. |

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 6 de 7

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2327753 Rev. 0**

| IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA | | | | | CHVR-01 |
|-------------------------------|-----------------|--------|-----|-----|--|
| FECHA DE MUESTREO | | | | | 8184511N / 227798E |
| HORA DE MUESTREO | | | | | 11/08/2023 |
| CATEGORÍA | | | | | 14:42:00 |
| SUB CATEGORÍA | | | | | AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL |
| Parámetro | Referencia | Unidad | LD | LC | Resultado ± Incertidumbre |
| Análisis Generales | | | | | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | EW_APHA5210B_AQ | mg/L | 1.0 | 2.6 | 1,148.8 (**) ± 34.70 |
| Demanda Química de Oxígeno | EW_APHA5220D_AQ | mgO2/L | 1.8 | 4.5 | 2,479.0 ± 52.80 |



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2327753 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

| Parámetro | Unidad | LC | MB | DUP %RPD | LCS %Recovery | MS %Recovery | MSD %RPD |
|-------------------------------|---------------------|-----|------|----------|---------------|--------------|----------|
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 2.6 | <2.6 | 4 - 8% | 97 - 102% | | |
| Demanda Química de Oxígeno | mgO ₂ /L | 4.5 | <4.5 | | 107% | 96% | 0% |



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



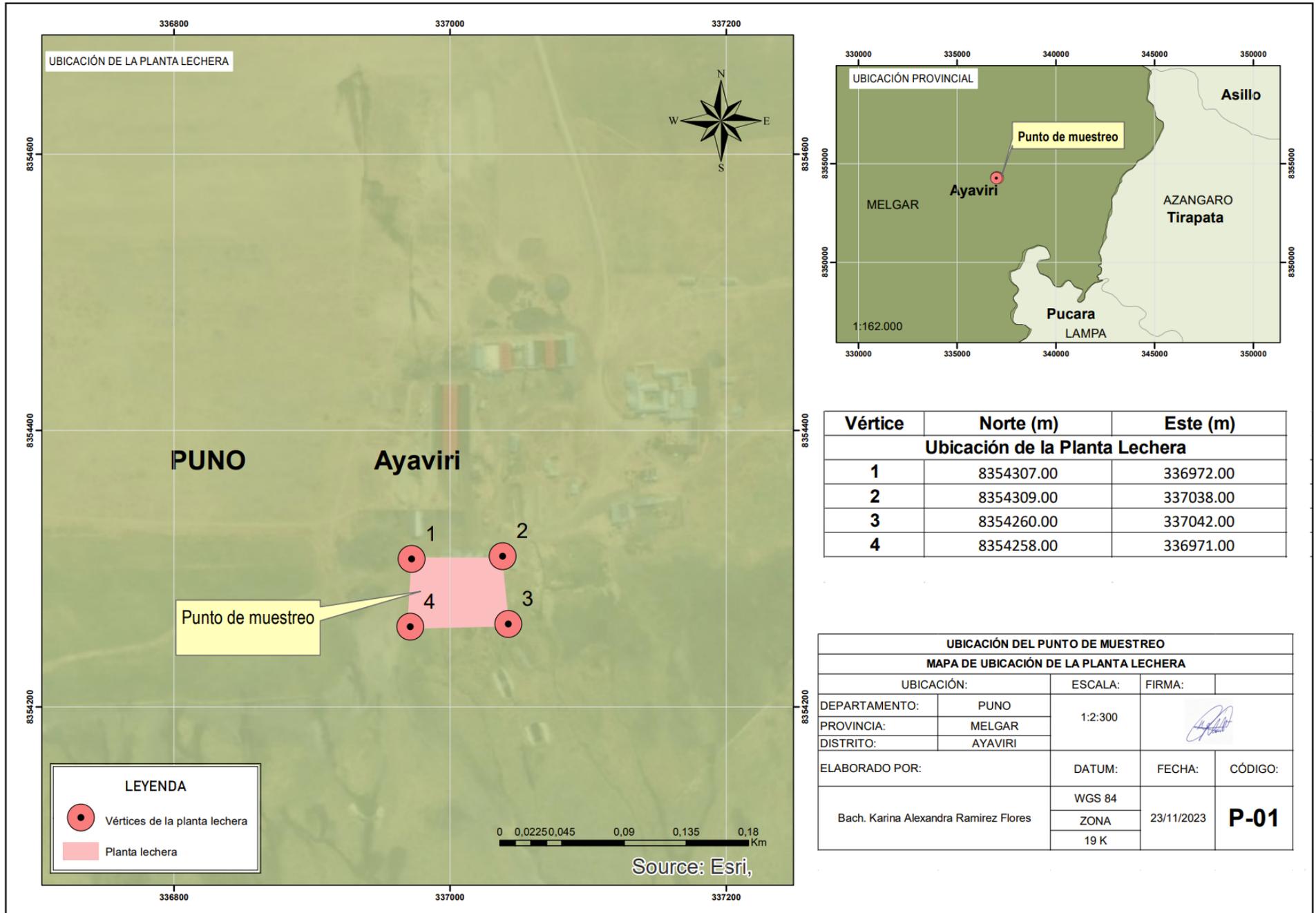
**INFORME DE ENSAYO
MA2327753 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

| Referencia | Sede | Parámetro | Método de Ensayo |
|-----------------|----------|-------------------------------|--|
| EW_APHA5210B_AQ | Arequipa | Demanda Bioquímica de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD test |
| EW_APHA5220D_AQ | Arequipa | Demanda Química de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method |



ANEXO 2. **Mapa de Ubicación de la Industria lechera**

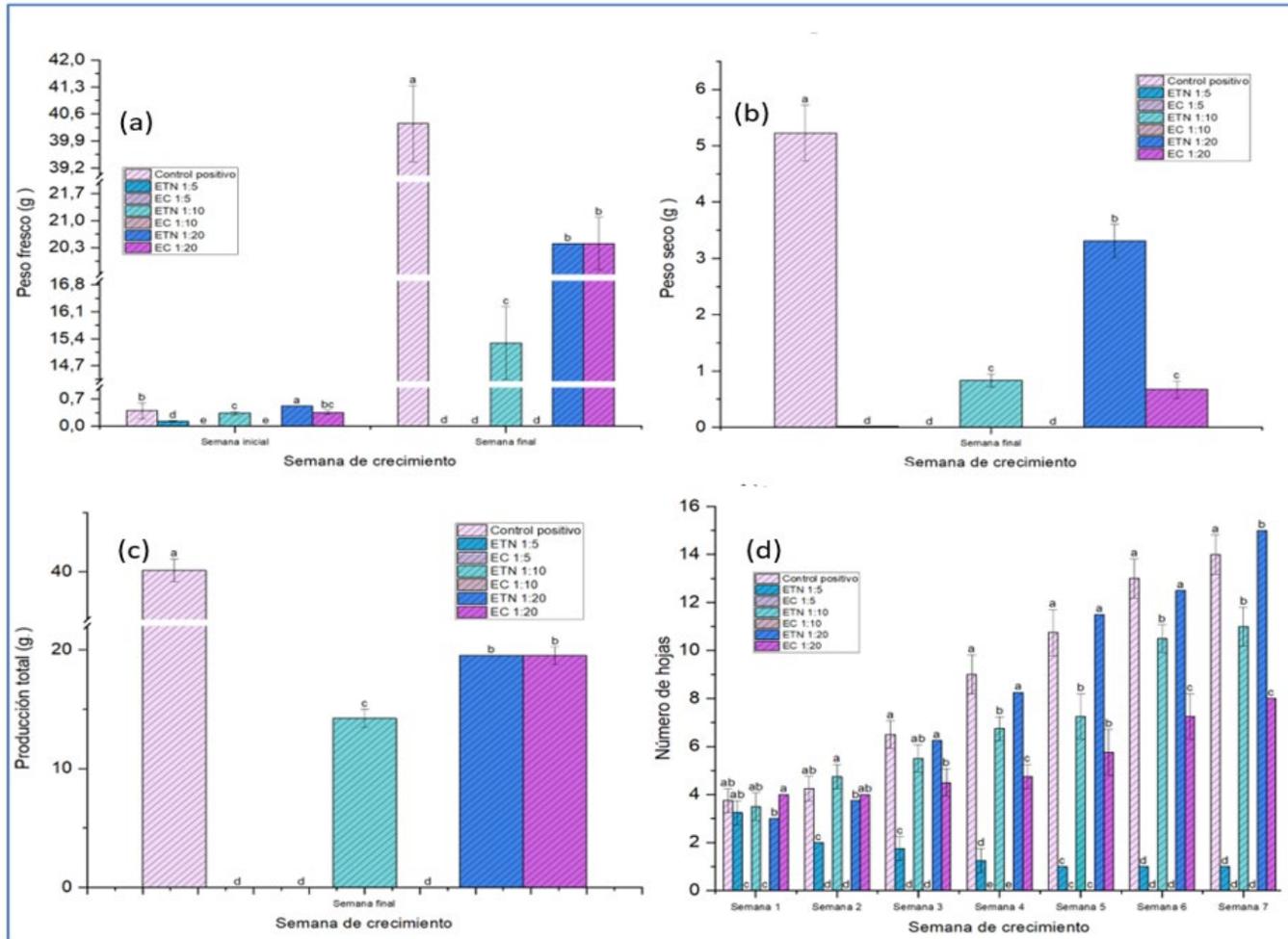




ANEXO 3. **Gráficos resumen de desarrollo vegetativo**

Figura 38.

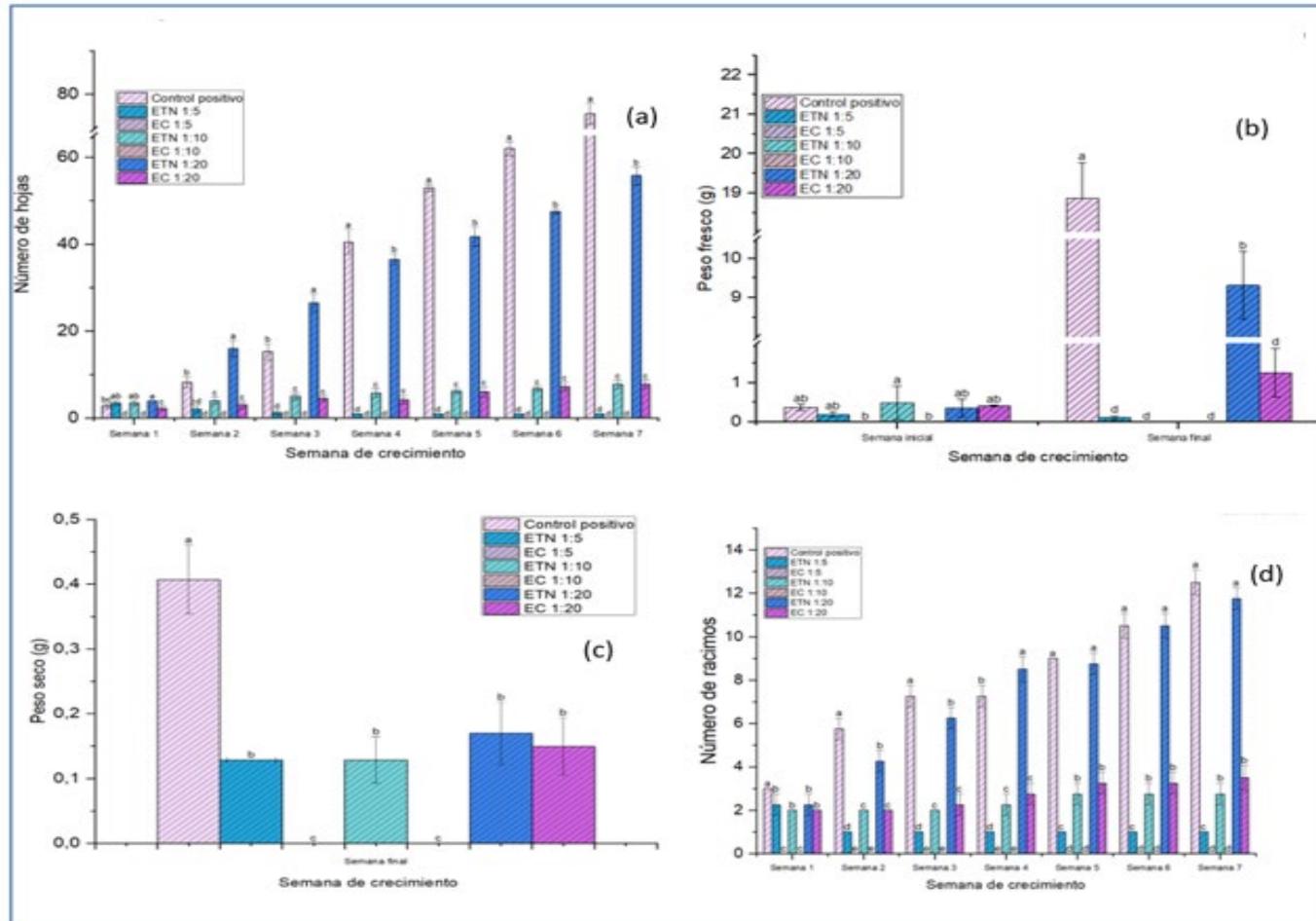
Gráficos resumen del desarrollo vegetativo de Lactuca sativa durante 7 semanas de evaluación.



Nota. (a) Peso fresco inicial y final; (b) Peso seco; (c) Producción total; (d) Número de hojas durante 7 semanas.

Figura 39.

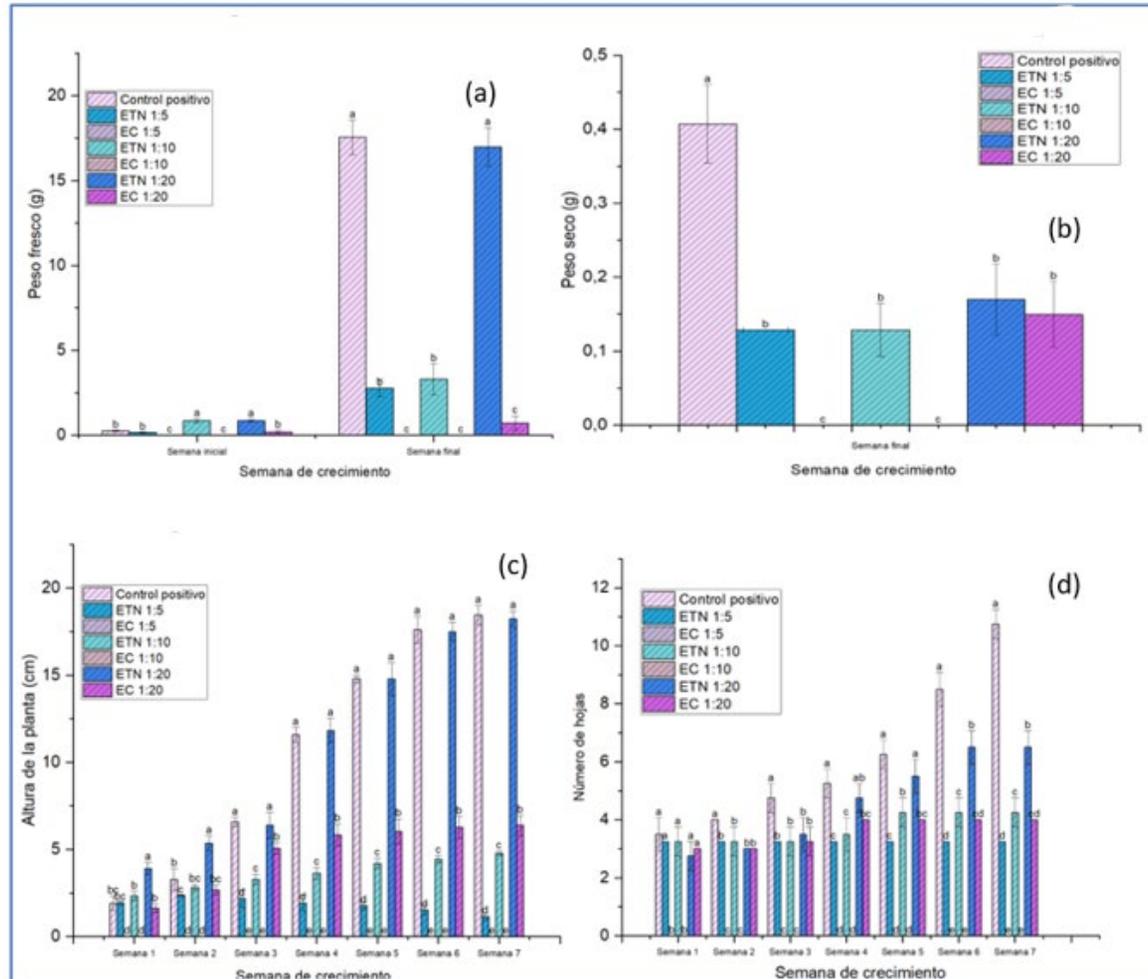
Gráficos resumen del desarrollo vegetativo de Solanum lycopersicum durante 7 semanas de evaluación.



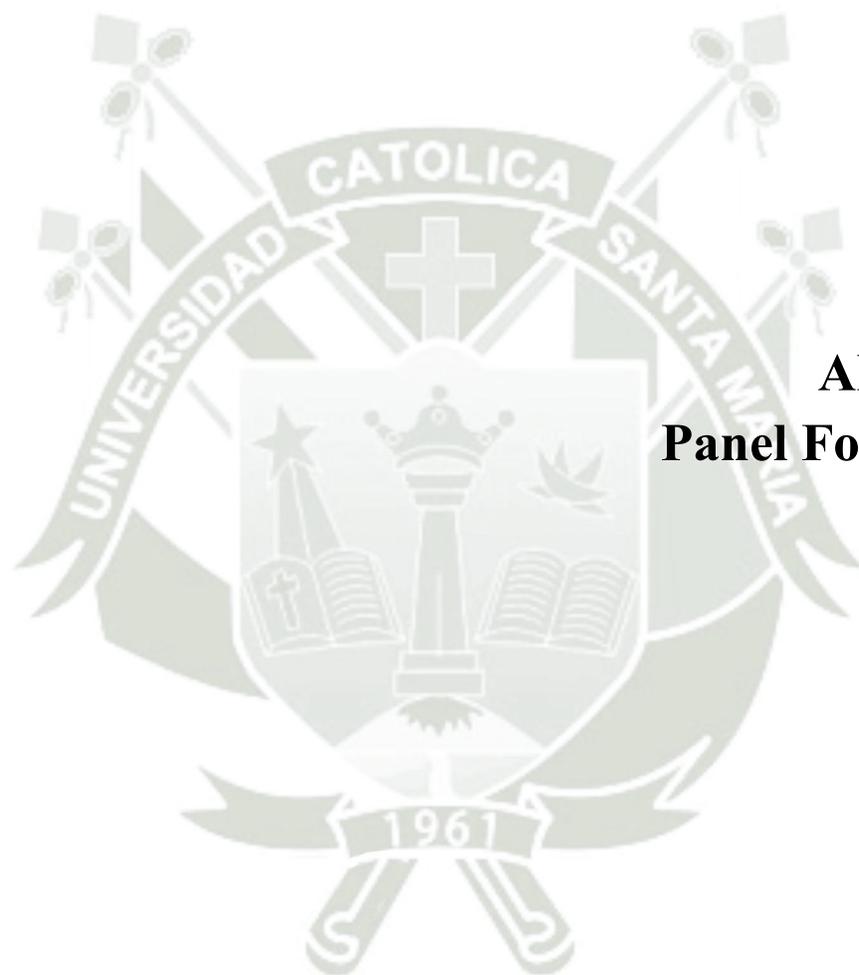
Nota. (a) Número de hojas desarrolladas durante 7 semanas; (b) Peso fresco inicial y final; (c) Peso seco final; (d) Número de racimos durante 7 semanas.

Figura 40.

Gráficos resumen del desarrollo vegetativo de Brassica oleracea durante 7 semanas de evaluación.



Nota. (a) Peso fresco inicial y final; (b) Peso seco final; (c) Altura de la planta; (d) Número de hojas desarrolladas durante 7 semanas.



ANEXO 4. Panel Fotográfico



Figura 41. Planta lechera



Figura 42. Planta quesera



Figura 43. Toma de muestra de lactosuero



Figura 44. Toma de temperatura de muestra
de lactosuero



Figura 45. Refrigeración de las muestras de
lactosuero



Figura 46. Homogenización de la muestra.



Figura 47. Homogenización de la muestra.



Figura 48. Unidades experimentales de
especies vegetales.



Figura 49. Unidades experimentales de
especies.



Figura 50. Germinación de semillas.



Figura 51. Unidades experimentales de
especies vegetales.



Figura 52. Unidades experimentales de
especies vegetales.



Figura 53. Toma de parámetros semanales.



Figura 54. Toma de parámetros semanales.



Figura 55. Germinación de especies Día 5.



Figura 56. Germinación Día 15.



Figura 57. Toma de temperatura ambiental.



Figura 58. Germinados para ser trasplantados.

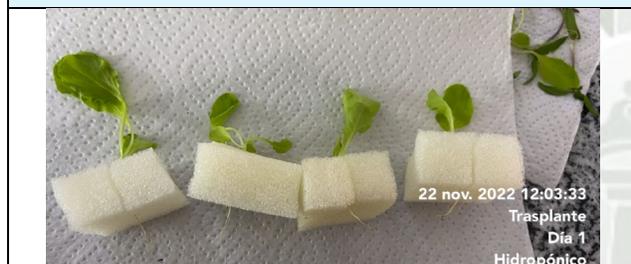


Figura 59. Germinados para ser trasplantados.



Figura 60. Toma de parámetros de germinados.



Figura 61. Toma de peso fresco inicial.



Figura 62. Toma de peso fresco inicial.



Figura 63. Lactosuero tratado diluido.

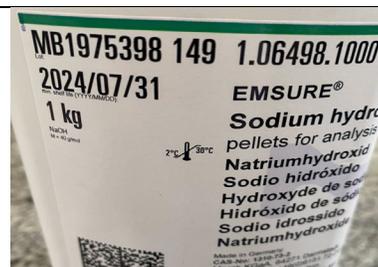


Figura 64. Hidróxido de sodio.

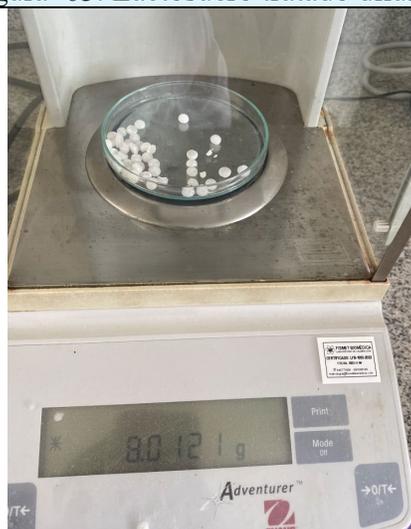


Figura 65. Peso de hidróxido de sodio.



Figura 66. Temperatura ambiental del desarrollo vegetativo de las semillas.



Figura 67. Precipitación química de lactosuero.



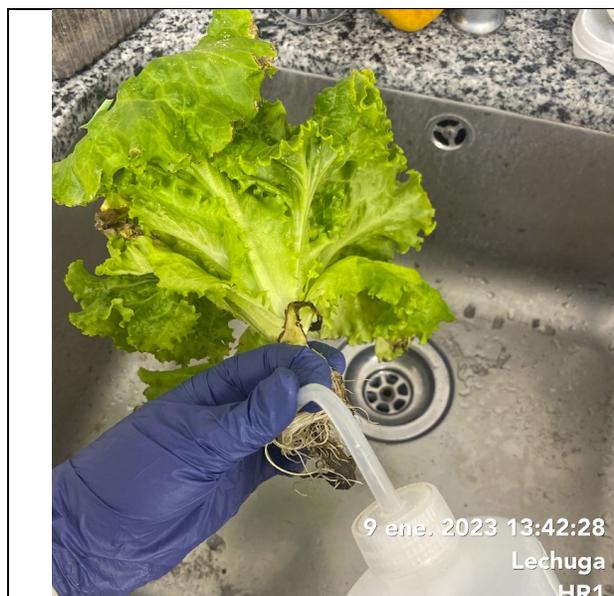
Figura 68. Retiro del sobrenadante del lactosuero precipitado.



Figura 69. Unidades experimentales en el laboratorio.



Figura 70. Unidades experimentales en el laboratorio.



9 ene. 2023 13:42:28
Lechuga
HR1

Figura 71. Lavado de raíces con agua destilada.



9 ene. 2023 14:06:18
Lechuga
HR3
Solución Hidropónica
Día 48

Figura 72. Determinación de peso fresco.



9 ene. 2023 14:09:12
Lechuga
Solución Hidropónica
Día 48
Horno

Figura 73. Muestras de especies vegetales en estufa para determinación de peso seco.



10 ene. 2023 11:37:06
Tomate
HR1
Solución Hidropónica
Día 49

Figura 74. Determinación de altura de raíz.

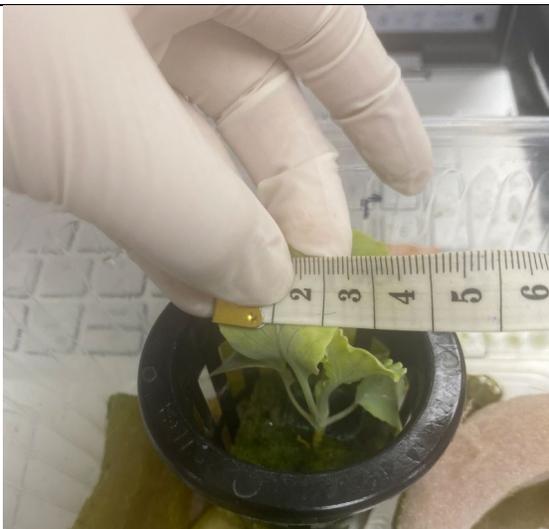


Figura 75. Determinación del ancho de la hoja.



Figura 76. Determinación del peso seco.



Figura 77. Lactosuero neutralizado.



Figura 78. Retiro de sobrenadante del lactosuero precipitado.

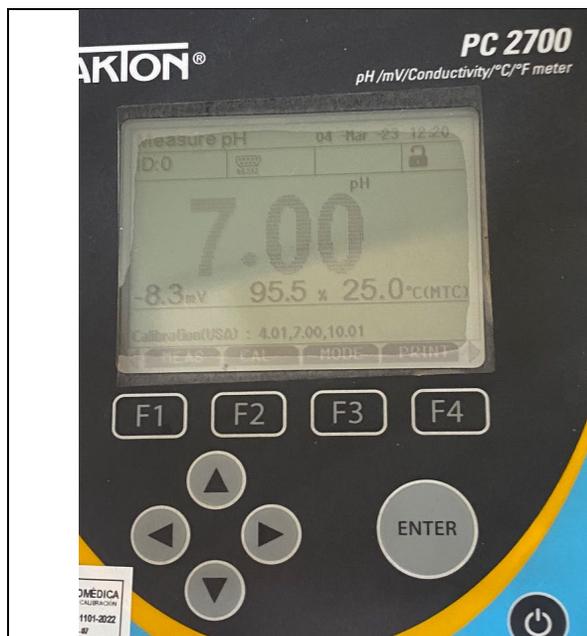


Figura 79. Toma de pH del lactosuero neutralizado.



Figura 80. Toma de pH del lactosuero neutralizado.



Figura 81. Toma de temperatura del lactosuero tratado neutralizado.



Figura 82. Determinación de la altura de la planta.

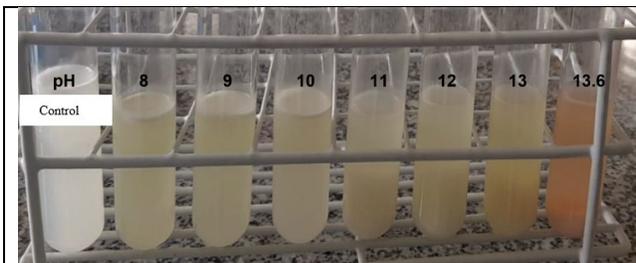


Figura 83. Precipitación alcalina del Lactosuero, pH 8 – 14 unidades.



Figura 84. Agitación rápida y lenta del lactosuero con diferentes concentraciones de coagulantes.

