



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN Y VARIACIÓN DE ESPECIES DE PLANTAS ORNAMENTALES PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA, 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Autores:**

Bach. Elena Jeaneth Díaz Vera  
Bach. Iris Andrea Valdivia Odiaga

**Asesor:**

M. Sc. Gladys Sandi Licapa Redolfo

Cajamarca – Perú  
2018

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

La asesora y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por las Bachilleres **Elena Jeaneth Díaz Vera e Iris Andrea Valdivia Odiaga**, denominada:

**“EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN Y VARIACIÓN DE ESPECIES DE  
PLANTAS ORNAMENTALES PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA  
EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA, 2018”**

---

M.Sc.Ing. Gladys Sandi Licapa Redolfo  
**ASESOR**

---

Ing. Luis Orlando Aliaga Rabanal  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Juan Carlos Flores Cerna  
**JURADO**

---

Ing. Jorge Luis Salazar Ríos  
**JURADO**

## DEDICATORIA

A Dios por iluminar nuestra mente, permanecer en  
nuestros corazones y guiarnos siempre por el buen  
camino.

A nuestros padres por acompañarnos durante todo  
este tiempo.

A nuestros hermanos, abuelos y amigos por  
motivarnos constantemente a cumplir nuestras  
metas trazadas.

**Elena Jeaneth Díaz Vera**  
**Iris Andrea Valdivia Odiaga**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres por su apoyo incondicional, por brindarnos fuerza, aliento y dedicación, por inculcarnos valores y amarnos. Gracias a ello podremos lograr ser profesionales de éxito, siendo una meta primordial en nuestras vidas.

Al Ing. Gladys Sandi Licapa Redolfo por asesorarnos, apoyarnos y guiarnos durante la elaboración de esta investigación, brindándonos amplios y nuevos conocimientos.

A la Universidad Privada del Norte la cual nos brindó los instrumentos y técnicas necesarias para nuestro óptimo aprendizaje. Al Ing. Gary Christian Farfán Chilicaus, director de la carrera de Ingeniería Ambiental, por sus conocimientos y confianza brindada durante nuestra formación profesional.

Al Blgo. Marco Sánchez Peña, por su amistad y orientación en esta investigación; a nuestros profesores, compañeros y amigos por su apoyo y confianza.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |            |
|--|------------|
| <b><u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u></b> ..... | <b>ii</b>  |
| <b><u>DEDICATORIA</u></b> .....            | <b>iii</b> |
| <b><u>AGRADECIMIENTO</u></b> .....         | <b>iv</b>  |
| <b><u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u></b> .....   | <b>v</b>   |
| <b><u>ÍNDICE DE TABLAS</u></b> .....       | <b>ix</b>  |
| <b><u>ÍNDICE DE FIGURAS</u></b> .....      | <b>xii</b> |
| <b><u>RESUMEN</u></b> .....                | <b>xv</b>  |
| <b><u>ABSTRACT</u></b> .....               | <b>xvi</b> |
| <br>                                       |            |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....      | <b>17</b>  |
| 1.1. Realidad problemática .....           | 17         |
| 1.2. Formulación del problema.....         | 19         |
| 1.3. Justificación .....                   | 20         |
| 1.4. Limitaciones .....                    | 21         |
| 1.5. Objetivos .....                       | 21         |
| 1.5.1. Objetivo general.....               | 21         |
| 1.5.2. Objetivos específicos .....         | 21         |
| <br>                                       |            |
| <b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....     | <b>22</b>  |
| 2.1. Antecedentes .....                    | 22         |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....   | 22         |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales.....        | 24         |
| 2.1.3. Antecedentes locales.....           | 24         |
| 2.2. Bases teóricas .....                  | 25         |
| 2.2.1. Aguas residuales .....              | 25         |

|                                     |   |           |
|-------------------------------------|---|-----------|
| 2.2.2.                              | Clasificación de las aguas residuales .....                               | 25        |
| 2.2.3.                              | Composición del agua residual doméstica.....                              | 27        |
| 2.2.4.                              | Concentración de contaminantes en aguas residuales.....                   | 27        |
| 2.2.5.                              | Parámetros de contaminación .....   | 28        |
| 2.2.6.                              | Parámetros analizados en aguas residuales .....                           | 29        |
| 2.2.7.                              | Sistemas de tratamiento de aguas residuales .....                         | 31        |
| 2.2.8.                              | Tratamiento biológico de aguas residuales.....                            | 32        |
| 2.2.9.                              | Humedales artificiales.....   | 32        |
| 2.2.10.                             | Clasificación de los humedales artificiales.....                          | 32        |
| 2.2.11.                             | Componentes de un humedal artificial.....                                 | 33        |
| 2.2.12.                             | Vegetación utilizada en el sistema de humedales artificiales .....        | 35        |
| 2.2.13.                             | Ventajas de los humedales artificiales.....                               | 37        |
| 2.2.14.                             | Diseño del humedal artificial sub-superficial.....                        | 37        |
| 2.2.15.                             | Tiempo de retención hidráulico.....                                       | 39        |
| 2.2.16.                             | Mantenimiento de los humedales artificiales de flujo sub-superficial..... | 39        |
| 2.2.17.                             | Rendimientos esperados de un humedal artificial .....                     | 39        |
| 2.2.18.                             | Marco legal .....   | 41        |
| 2.3.                                | Hipótesis .....   | 42        |
| <b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b> |   | <b>43</b> |
| 3.1.                                | Operacionalización de variables .....                                     | 43        |
| 3.1.1.                              | Variable independiente .....  | 43        |
| 3.1.2.                              | Variable dependiente.....   | 43        |
| 3.2.                                | Diseño de investigación .....   | 44        |
| 3.3.                                | Unidad de estudio .....   | 45        |
| 3.4.                                | Población .....   | 45        |
| 3.5.                                | Muestra (muestreo o selección).....                                       | 45        |
| 3.6.                                | Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....     | 46        |
| 3.7.                                | Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....         | 47        |
| 3.7.1.                              | Métodos:.....   | 47        |
| 3.7.2.                              | Instrumentos y materiales.....  | 48        |
| 3.7.3.                              | Procedimiento de análisis de datos .....                                  | 50        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>  | <b>58</b> |
| 4.1. Resultados de los parámetros de la investigación .....                      | 58        |
| 4.2. Comparación de parámetros en los humedales con el tiempo de retención ..... | 60        |
| 4.2.1. Variación de turbiedad .....  | 60        |
| 4.2.2. Variación de sólidos disueltos totales .....                              | 61        |
| 4.2.3. Variación de conductividad .....  | 62        |
| 4.2.4. Variación del pH .....  | 63        |
| 4.2.5. Variación de temperatura.....   | 64        |
| 4.2.6. Variación de sólidos suspendidos totales .....                            | 65        |
| 4.2.7. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno .....                       | 66        |
| 4.2.8. Variación de la demanda química de oxígeno .....                          | 67        |
| 4.3. Eficiencia de remoción en los humedales con la variación de plantas.....    | 68        |
| 4.3.1. Variación de turbiedad .....  | 68        |
| 4.3.2. Variación de sólidos disueltos totales .....                              | 69        |
| 4.3.3. Variación de conductividad .....  | 70        |
| 4.3.4. Variación de pH .....   | 71        |
| 4.3.5. Variación de temperatura.....   | 72        |
| 4.3.6. Variación de sólidos suspendidos totales .....                            | 73        |
| 4.3.7. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno .....                       | 74        |
| 4.3.8. Variación de la demanda química de oxígeno .....                          | 75        |
| 4.4. Comparación de la concentración de parámetros inicial y final .....         | 76        |
| 4.4.1. Concentración inicial y final de turbiedad.....                           | 76        |
| 4.4.2. Concentración inicial y final de sólidos disueltos totales.....           | 77        |
| 4.4.3. Concentración inicial y final de conductividad.....                       | 78        |
| 4.4.4. Concentración inicial y final del pH .....                                | 79        |
| 4.4.5. Concentración inicial y final de temperatura .....                        | 80        |
| 4.4.6. Concentración inicial y final de sólidos suspendidos totales.....         | 81        |
| 4.4.7. Concentración inicial y final de la demanda bioquímica de oxígeno .....   | 82        |
| 4.4.8. Concentración inicial y final de la demanda química de oxígeno.....       | 83        |
| 4.5. Comparación de resultados con los límites máximos permisibles (LMP).....    | 84        |
| 4.5.1. Comparación de pH con su límite máximo permisible .....                   | 84        |
| 4.5.2. Comparación de temperatura con su límite máximo permisible .....          | 87        |

|                                    |   |            |
|------------------------------------|---|------------|
| 4.5.3.                             | Comparación de sólidos suspendidos totales con su límite máximo permisible .....      | 90         |
| 4.5.4.                             | Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno con su límite máximo permisible ..... | 93         |
| 4.5.5.                             | Comparación de la demanda química de oxígeno con su límite máximo permisible .....    | 96         |
| 4.6.                               | Correlación de variables del sistema .....  | 99         |
| 4.7.                               | Remoción de materia orgánica en los sistemas de humedales .....                       | 103        |
| 4.8.                               | Contrastación de hipótesis.....   | 107        |
| 4.8.1.                             | Contraste de hipótesis de las variables de remoción y tiempo de retención .....       | 107        |
| <b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN .....</b> |   | <b>110</b> |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>          |   | <b>112</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>       |   | <b>114</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>            |   | <b>115</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                |   | <b>119</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 01: Composición del agua residual doméstica .....   | 27 |
| Tabla 02: Mecanismos de remoción para cada parámetro .....  | 40 |
| Tabla 03: Operacionalización de variable dependiente.....   | 43 |
| Tabla 04: Diseño de investigación.....  | 44 |
| Tabla 05: Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....                       | 46 |
| Tabla 06: Cronograma de muestreo.....   | 47 |
| Tabla 07: Materiales y reactivos.....   | 50 |
| Tabla 08: Datos requeridos para el diseño de humedales .....  | 52 |
| Tabla 09: Características de los parámetros .....   | 58 |
| Tabla 10: Resultados de los parámetros .....  | 59 |
| Tabla 11: Resultados de turbiedad en los sistemas .....   | 60 |
| Tabla 12: Resultados de sólidos disueltos totales en los sistemas .....                               | 61 |
| Tabla 13: Resultados de conductividad en los sistemas .....   | 62 |
| Tabla 14: Resultados del pH en los sistemas.....  | 63 |
| Tabla 15: Resultados de temperatura en los sistemas.....  | 64 |
| Tabla 16: Resultados de sólidos suspendidos totales en los sistemas .....                             | 65 |
| Tabla 17: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno en los sistemas .....                        | 66 |
| Tabla 18: Resultados de la demanda química de oxígeno en los sistemas .....                           | 67 |
| Tabla 19: Resultados de turbiedad y variación de plantas en los sistemas .....                        | 68 |
| Tabla 20: Resultados de sólidos disueltos totales y variación de plantas en los sistemas.....         | 69 |
| Tabla 21: Resultados de conductividad y variación de plantas en los sistemas .....                    | 70 |
| Tabla 22: Resultados de pH y variación de plantas en los sistemas.....                                | 71 |
| Tabla 23: Resultados de temperatura y variación de plantas en los sistemas .....                      | 72 |
| Tabla 24: Resultados de sólidos suspendidos totales y variación de plantas en los sistemas.....       | 73 |
| Tabla 25: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y variación de plantas en los sistemas ..... | 74 |
| Tabla 26: Resultados de la demanda química de oxígeno y variación de plantas en los sistemas.....     | 75 |
| Tabla 27: Resultados iniciales y finales de turbiedad.....  | 76 |
| Tabla 28: Resultados iniciales y finales de sólidos disueltos totales .....                           | 77 |
| Tabla 29: Resultados iniciales y finales de conductividad.....  | 78 |
| Tabla 30: Resultados iniciales y finales del pH .....   | 79 |
| Tabla 31: Resultados iniciales y finales de temperatura .....   | 80 |
| Tabla 32: Resultados iniciales y finales de los sólidos suspendidos totales .....                     | 81 |
| Tabla 33: Resultados iniciales y finales de la demanda bioquímica de oxígeno .....                    | 82 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 34: Resultados iniciales y finales de la demanda química de oxígeno .....   | 83  |
| Tabla 35: Resultados de pH y límite máximo permisible en el humedal 1 .....   | 84  |
| Tabla 36: Resultados de pH y límite máximo permisible en el humedal 2 .....   | 85  |
| Tabla 37: Resultados de pH y límite máximo permisible en el humedal 3 .....   | 86  |
| Tabla 38: Resultados de temperatura y límite máximo permisible en el humedal 1 .....                                      | 87  |
| Tabla 39: Resultados de temperatura y límite máximo permisible en el humedal 2 .....                                      | 88  |
| Tabla 40: Resultados de temperatura y límite máximo permisible en el humedal 3 .....                                      | 89  |
| Tabla 41: Resultados de los sólidos suspendidos totales y límite máximo permisible en el humedal 1 .....                  | 90  |
| Tabla 42: Resultados de los sólidos suspendidos totales y límite máximo permisible en el humedal 2 .....                  | 91  |
| Tabla 43: Resultados de los sólidos suspendidos totales y límite máximo permisible en el humedal 3 .....                  | 92  |
| Tabla 44: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 1 .....                 | 93  |
| Tabla 45: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 2 .....                 | 94  |
| Tabla 46: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 3 .....                 | 95  |
| Tabla 47: Resultados de la demanda química de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 1 .....                    | 96  |
| Tabla 48: Resultados de la demanda química de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 2 .....                    | 97  |
| Tabla 49: Resultados de la demanda química de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 3 .....                    | 98  |
| Tabla 50: Resultados de sólidos suspendidos totales, densidad de plantas y tiempo de retención en los sistemas .....      | 99  |
| Tabla 51: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención en los sistemas ..... | 100 |
| Tabla 52: Resultados de la demanda química de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención en los sistemas .....    | 102 |
| Tabla 53: Porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno .....           | 103 |
| Tabla 54: Prueba de homogeneidad de varianzas de sólidos suspendidos totales .....  | 107 |
| Tabla 55: ANOVA de sólidos suspendidos totales .....  | 107 |
| Tabla 56: Prueba de homogeneidad de varianzas de la demanda bioquímica de oxígeno .....                                   | 108 |
| Tabla 57: ANOVA de la demanda bioquímica de oxígeno .....   | 108 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 58: Prueba de homogeneidad de varianzas de la demanda química de oxígeno ..... | 108 |
| Tabla 59: ANOVA de la demanda química de oxígeno .....                               | 109 |
| Tabla 60: Tabla de estadísticos del humedal 1 .....                                  | 131 |
| Tabla 61: Tabla de estadísticos del humedal 2 .....                                  | 132 |
| Tabla 62: Tabla de estadísticos del humedal 3 .....                                  | 133 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 01: <i>Zantedeschia aethiopica</i> .....   | 36 |
| Figura 02: <i>Canna spp.</i> .....  | 36 |
| Figura 03: Límites máximos permisibles para efluentes de planta de tratamiento de agua residual ..... | 42 |
| Figura 04: Ubicación del estudio .....  | 45 |
| Figura 05: Equipo multiparámetro .....  | 48 |
| Figura 06: Turbidímetro .....   | 49 |
| Figura 07: pH-metro .....   | 49 |
| Figura 08: Diagrama de procesamiento de análisis de datos.....  | 51 |
| Figura 09: Diseño general del sistema de humedales.....   | 55 |
| Figura 10: Vista planta del sistema de humedales .....  | 55 |
| Figura 11: Variación de turbiedad con respecto al tiempo de retención.....                            | 60 |
| Figura 12: Variación de sólidos disueltos totales con respecto al tiempo de retención .....           | 61 |
| Figura 13: Variación de conductividad con respecto al tiempo de retención .....                       | 62 |
| Figura 14: Variación del pH con respecto al tiempo de retención .....                                 | 63 |
| Figura 15: Variación de la temperatura con respecto al tiempo de retención.....                       | 64 |
| Figura 16: Variación de sólidos suspendidos totales con respecto al tiempo de retención .....         | 65 |
| Figura 17: Variación de la demanda bioquímica de oxígeno con respecto al tiempo de retención .        | 66 |
| Figura 18: Variación de la demanda química de oxígeno con respecto al tiempo de retención .....       | 67 |
| Figura 19: Turbiedad y variación de plantas en los sistemas .....                                     | 68 |
| Figura 20: Sólidos disueltos totales y variación de plantas en los sistemas.....                      | 69 |
| Figura 21: Conductividad y variación de plantas en los sistemas .....                                 | 70 |
| Figura 22: pH y variación de plantas en los sistemas .....  | 71 |
| Figura 23: Temperatura y variación de plantas en los sistemas.....                                    | 72 |
| Figura 24: Sólidos suspendidos totales y variación de plantas en los sistemas.....                    | 73 |
| Figura 25: Demanda bioquímica de oxígeno y variación de plantas en los sistemas.....                  | 74 |
| Figura 26: Demanda química de oxígeno y variación de plantas en los sistemas .....                    | 75 |
| Figura 27: Turbiedad antes y después de los tratamientos .....  | 76 |
| Figura 28: Sólidos disueltos totales antes y después de los tratamientos.....                         | 77 |
| Figura 29: Conductividad antes y después de los tratamientos .....                                    | 78 |
| Figura 30: pH antes y después de los tratamientos .....   | 79 |
| Figura 31: Temperatura antes y después de los tratamientos .....                                      | 80 |
| Figura 32: Sólidos suspendidos totales antes y después de los tratamientos.....                       | 81 |
| Figura 33: Demanda bioquímica de oxígeno antes y después de los tratamientos .....                    | 82 |
| Figura 34: Demanda química de oxígeno antes y después de los tratamientos .....                       | 83 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 35: Comparación de pH entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1 .....                               | 84  |
| Figura 36: Comparación de pH entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2 .....                               | 85  |
| Figura 37: Comparación de pH entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3 .....                               | 86  |
| Figura 38: Comparación de temperatura entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1 .....                      | 87  |
| Figura 39: Comparación de temperatura entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2 .....                      | 88  |
| Figura 40: Comparación de temperatura entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3 .....                      | 89  |
| Figura 41: Comparación de sólidos suspendidos totales entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1 .....      | 90  |
| Figura 42: Comparación de sólidos suspendidos totales entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2 .....      | 91  |
| Figura 43: Comparación de sólidos suspendidos totales entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3 .....      | 92  |
| Figura 44: Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1 ..... | 93  |
| Figura 45: Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2 ..... | 94  |
| Figura 46: Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3 ..... | 95  |
| Figura 47: Comparación de la demanda química de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1 .....    | 96  |
| Figura 48: Comparación de la demanda química de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2 .....    | 97  |
| Figura 49: Comparación de la demanda química de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3 .....    | 98  |
| Figura 50: Correlación entre sólidos suspendidos totales, densidad de plantas y tiempo de retención .....                     | 99  |
| Figura 51: Correlación entre la demanda bioquímica de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención .....                | 101 |
| Figura 52: Correlación entre la demanda química de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención .....                   | 102 |
| Figura 53: Promedio de porcentajes de remoción en los sistemas .....  | 104 |
| Figura 54: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales en función al tiempo de retención .....                      | 104 |
| Figura 55: Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en función al tiempo de retención .....                 | 105 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 56: Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno en función al tiempo de retención ..... | 106 |
| Figura 57: Toma de muestras para determinar concentración inicial de parámetros.....                       | 119 |
| Figura 58: Construcción de los sistemas de humedales .....   | 119 |
| Figura 59: Agregados para el sustrato de los humedales .....   | 120 |
| Figura 60: Sustrato de los sistemas .....  | 120 |
| Figura 61: Siembra de plantas .....  | 121 |
| Figura 62: Adaptación de las plantas en los sistemas.....  | 121 |
| Figura 63: Toma de muestras después del tratamiento en el humedal 2.....                                   | 122 |
| Figura 64: Toma de muestras después del tratamiento en el humedal 3.....                                   | 122 |
| Figura 65: Análisis de pH .....  | 123 |
| Figura 66: Análisis de conductividad .....   | 123 |
| Figura 67: Resultados de concentración inicial del agua residual doméstica.....                            | 124 |
| Figura 68: Resultados de los parámetros a las 24 horas .....   | 125 |
| Figura 69: Resultados de los parámetros a las 48 horas .....   | 126 |
| Figura 70: Resultados de los parámetros a las 72 horas .....   | 127 |
| Figura 71: Resultados de los parámetros a las 96 horas .....   | 128 |
| Figura 72: Indicaciones para muestreo de agua residual.....  | 129 |
| Figura 73: Ficha de monitoreo de los sistemas .....  | 130 |
| Figura 74: Ficha para registro en campo.....   | 134 |
| Figura 75: Etiqueta para muestras .....  | 135 |

## RESUMEN

El presente estudio se centra en el desarrollo de un método alternativo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, con ello controlar la concentración de contaminantes orgánicos en aguas receptoras. Asimismo, lograr dar un tratamiento previo para su posterior reúso en diferentes actividades agrícolas, ganaderas, entre otras.

Esta investigación, se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca; está enfocada en el diseño y construcción de tres sistemas de humedales de flujo horizontal sub-superficial, basado en U.S. EPA-Environmental Protection Agency (1993) y García & Corzo (2008), los cuales fueron utilizados para evaluar el efecto del tiempo de retención y la variación de especies de plantas ornamentales en la remoción de materia orgánica de aguas residuales domésticas. Se consideró una muestra antes del tratamiento para su posterior comparación; en la construcción se utilizó, tres depósitos rectangulares que contenían capas de grava, arena fina y suelo orgánico; en el primer contenedor se sembró *Zantedeschia aethiopica* (Flor de Cartucho), en el segundo *Canna spp* (Achira) y en el tercero ambas especies. Luego de la adaptación de las plantas se procedió a tomar muestras de agua a la salida de los sistemas durante 4 días cada 24 horas, se tuvo en cuenta el análisis de turbiedad, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad, pH, temperatura ( $T^{\circ}$ ), sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y demanda química de oxígeno (DQO).

Con este estudio se logró determinar que el porcentaje de remoción de materia orgánica en el humedal 1 fue de 75% de SST, 89% de  $DBO_5$  y 81% DQO; en el humedal 2 de 83% de SST, 94% de  $DBO_5$  y 88% DQO; y en el humedal 3 de 85% de SST, 93% de  $DBO_5$  y 87% de DQO. Por ende se concluye que, el tiempo de retención y la variación de plantas causaron un efecto positivo para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

**Palabras Claves:** Agua residual doméstica, tiempo de retención, plantas ornamentales, remoción.

## ABSTRACT

The present study focused on the development of an alternative method for the treatment of domestic waste water, in order to control the concentration of organic pollutants in waters receptors. Also, it provides a management to give previous treatment for its later reuse in different agricultural, livestock, among others activities.

This investigation was realized in Cajamarca district, province and department; it is focused in the design and construction of three systems of wetlands of sub-superficial flow based on U.S. EPA- Enviromental Protection Agency (1993) and García & Corzo (2008), which were used to evaluate the effect of the time of retention and the variation of species of ornamental plants in the removal of organic matter of domestic waste water. It was considered to be a sample before the treatment for its later comparison; in the construction it was in use, three rectangular warehouses that were containing caps of gravel, fine sand and organic soil; in the first container there was sowed *Zantedeschia aethiopica* (Flor de Cartucho), in the second *Canna spp* (Achira) and in the third party both species. After the adjustment of the plants it was proceeded to take water samples to the exit of the systems for 4 days every 24 hours, the analysis of turbidity was born in mind, total dissolved solids (TDS), conductivity, pH, temperature (T °), total suspended solids (SST), biochemical demand of oxygen (DBO<sub>5</sub>) and chemical demand of oxygen (DQO).

With this study it was determined that the percentage of removal of organic matter in the wetland 1 was 75 % of SST, 89 % of DBO<sub>5</sub> and 81 % DQO; in the wetland 2 of 83 % of SST, 94 % of DBO<sub>5</sub> and 88 % DQO; and in the wetland 3 of 85 % of SST, 93 % of DBO<sub>5</sub> and 87 % of DQO. Hence one concludes that, the time of retention and the variation of plants caused a positive effect for the treatment of domestic waste water.

**Key words:** residual domestic Water, time of retention, ornamental plants, removal.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Guerrero (2006) menciona que el agua es un elemento maravilloso por medio del cual se originó la vida y por la que aún se sigue dependiendo, una de las propiedades más importantes y relevantes del agua es ser el mejor disolvente que existe, gracias a esto el agua puede conducir los nutrientes a los seres vivos y eliminar sus desechos; asimismo en los seres acuáticos se encarga de llevar el oxígeno, todos estos procesos son indispensables para la vida. Sin embargo, Arellano y Guzmán (2011) sustentan que gran cantidad de agua que se encuentra a disposición del ser humano está en los océanos, pero no puede ser utilizada para todo tipo de actividades que se quieran realizar. Es por ello, que para el desarrollo de las actividades humanas se dispone del agua que se encuentra en fuentes hídricas.

Asimismo, según Prieto (2009) el gran problema que se está dando en la actualidad, por el inadecuado manejo del agua, es ambiental y político. La escasez del agua fomenta al hombre a estudiar e investigar técnicas para combatir este problema dando alternativas de solución, pero sobre todo creando conciencia para no continuar contaminando el agua, debido a que los costos para lograr un debido tratamiento son elevados. Son muchas las causas de la contaminación del agua, Prieto (2009) hace referencia que algunas de ellas son: el crecimiento demográfico, parte de la erosión acelerada del suelo, limpieza doméstica e industrial, residuos no tratados de industrias y productos químicos utilizados en la agricultura.

Por su parte, Morales y Rodríguez (2007) indican que el recurso hídrico es vital porque tiende a satisfacer gran parte de las necesidades del ser humano, pero debido al acelerado proceso del crecimiento poblacional especialmente en zonas urbanas existirá una demanda de servicios relacionados con vías de comunicación, vivienda, drenaje, agua potable, saneamiento, entre otros. Dentro de los cuales, se logra notar que uno de los servicios más afectados es el sistema de agua potable, en donde existen tres componentes básicos; abastecimiento, drenaje y saneamiento, los cuales dependen de la gestión y manejo del recurso hídrico.

Báez (2007) menciona que si las descargas de aguas residuales, recolección y transporte son inadecuadas, provocan la contaminación de fuentes de agua disponibles lo que conlleva al incremento de enfermedades de índole microbiológica. Así mismo Pérez y Bermúdez (2004) hacen referencia que las aguas residuales contienen gran cantidad de contaminantes, con contenido tóxico al igual que microorganismos patógenos; por ello es que antes de su disposición final se debe aplicar un tratamiento el cual permita que se disminuya el nivel de contaminación, también se debe realizar la caracterización de estas para determinar si se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Como se menciona en el Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas publicado por el equipo Alianza por el Agua (2014), las aguas residuales urbanas están conformadas por las aguas residuales domésticas, las cuales siempre estarán presentes; en conjunto con aguas residuales industriales y las aguas de escorrentía pluvial, que serán más frecuentes en caso de precipitaciones. Las características que presenta cada tipo de agua residual son únicas, sin embargo en función de las variables del tamaño de población, del sistema de alcantarillado que se emplea, del grado de industrialización y la incidencia de lluvias, se pueden establecer rangos de variación tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas y microbiológicas de estas aguas residuales.

En Latinoamérica, las tres cuartas partes de las aguas residuales vuelven a las aguas superficiales y a sus fuentes como lo mencionan expertos del Banco Mundial de la Salud. Batista (2013) hace mención que el 70% de las aguas residuales en América Latina no son tratadas y son vertidas directamente a los cuerpos de agua originando la contaminación del recurso, por ello es que plantea que se debe realizar un adecuado manejo de la producción del agua, infraestructura y realizar un ordenamiento territorial, ya que se construyen redes, pero después de 20 años necesitan ser modificadas, esto da a conocer que se gasta mucho dinero para distribuir el agua potable en vez de tratar el agua residual.

Kuczynski (2017) mencionó ante el Congreso, que de las 50 Empresas Prestadoras de Servicios (EPS), 14 están siendo monitoreadas para poder mejorarlas y solo el 15 % de las aguas servidas son tratadas en Perú. Por otro lado, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento ([SUNASS] (2008)), hace referencia que de las 143 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que existen, las PTAR inoperativas abarcan el 11,2 %, las PTAR sin mantenimiento representan el 35,7%, el 43,3% se encuentran sobrecargadas, el 55,2% sin cribas, el 72% sin desarenador y el 60,8% sin medidor de caudal (Q). De la misma manera, las

PTAR con eficiencia de remoción de DBO < 80% representan el 66%, mientras que las PTAR con eficiencia de remoción de floculante catiónico (FC) < 99% abarcan el 48%.

En Cajamarca, según datos del Ministerio del Ambiente (MINAM, s. f) desde los años 2008 al 2014 se ha evidenciado que el porcentaje de tratamiento de aguas residuales ha disminuido, puesto que en el año 2008 fue de 69,82% y al año 2014 fue 47,8%, pero en estos datos no se menciona la calidad del agua tratada, siendo esta una de sus limitaciones. Las aguas residuales son originadas en el distrito de Cajamarca a causa de viviendas que se encuentran sin servicio de saneamiento, por falta de una planta de tratamiento de aguas residuales, una mala distribución del territorio, entre otros. Con esta investigación, se dará una alternativa de solución a problemas ambientales ya mencionados, con la construcción de tres sistemas de humedales de flujo horizontal sub-superficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del tiempo de retención y variación de especies de plantas ornamentales para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas en Cajamarca - 2018?

### Problemas secundarios

- ¿Cuál es el efecto que produce la variación de plantas ornamentales utilizadas en los sistemas de humedales artificiales en el agua residual doméstica para remover materia orgánica?
- ¿Cuál es el tiempo de retención óptimo para los sistemas de tratamiento de humedales artificiales?
- ¿Cuál es tiempo de adaptación y crecimiento de las plantas ornamentales en los sistemas de humedales artificiales?

### 1.3. Justificación

En la actualidad se percibe el incremento de las aguas residuales domésticas, las cuales producen contaminación del recurso hídrico y también afectan a los seres vivos; puesto que estas son vertidas directamente en los ríos sin ningún tratamiento previo. Una de las necesidades primordiales que debería tener la sociedad es el de preservar el ambiente para una mejor calidad de vida; la falta de tratamiento de dichos afluentes y la carencia de preocupación en temas ambientales son factores que promueven la necesidad de realizar investigaciones que aporten en el cuidado, tanto del planeta como de la salud pública.

Esta investigación se hizo con el fin de dar una alternativa de solución a uno de los grandes problemas ambientales a nivel mundial, como el ya mencionado, la falta de tratamiento y depuración de aguas residuales, debido principalmente a los costos que demanda tratar estas aguas. Es por ello que teniendo en consideración el aspecto ambiental y económico, se ha realizado un conjunto de sistemas de humedales artificiales con plantas ornamentales, los cuales son utilizados como una alternativa para la remoción de contaminantes orgánicos, y por otro lado realizar el tratamiento a base de plantas ornamentales comercializables, las cuales pueden generar ingresos para el debido mantenimiento.

Esta investigación generó reflexión sobre adquirir conocimientos en el área investigada, puesto que es de mucha importancia para poder tener un desarrollo sostenible, logrando minimizar el impacto ambiental negativo que se genera en el recurso hídrico. Así mismo, servirá de base para próximos estudios referentes al tema, ya que se muestran datos relevantes de la evaluación de diferentes parámetros aplicando plantas que aún no han sido utilizadas en el lugar de estudio.

De igual modo este estudio nos permitió reforzar todos los conocimientos adquiridos hasta la actualidad, además aportar a la sociedad implementando un sistema que permita remover materia orgánica utilizando humedales con plantas ornamentales. En ese sentido este estudio puede incentivar a estudiantes para que puedan realizar investigaciones en el campo del tratamiento de aguas residuales.

## 1.4. Limitaciones

En esta investigación se identificaron diversos factores limitantes, uno de ellos es la poca información bibliográfica con referencia a estudios similares, asimismo la falta de espacio para poder construir los sistemas de tratamiento a mayor escala.

Debido al material utilizado en el sustrato y la construcción de los humedales, se originó una pequeña alteración en las muestras. En cuanto a la adaptación de las plantas se tuvo una limitación, puesto que la densidad de *Canna spp* (Achira) disminuyó en el humedal 2.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del tiempo de retención y la variación de especies de plantas ornamentales en los sistemas de humedales artificiales para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar las condiciones iniciales físicas y químicas del agua residual doméstica a trabajar en los sistemas
- Evaluar el efecto del tiempo de retención en los sistemas de humedales artificiales para tratamiento de agua residual doméstica.
- Evaluar el efecto de la variación de plantas ornamentales utilizadas en los sistemas de humedales artificiales en el agua residual doméstica.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos (turbiedad, sólidos totales disueltos, conductividad, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno) de la concentración inicial con los resultados al finalizar el tratamiento.
- Comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos con los Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Figuerola (1999) demostró en su estudio que la especie *Zantedeschia aethiopica*, crece y se desarrolla bien como planta emergente en un sistema de humedal de tipo flujo horizontal de sub-superficie. Se realizaron 10 muestras en las cuales la concentración de la demanda bioquímica y química de oxígeno resultaron muy parecidas obteniéndose una relación entre ellos, los valores en porcentajes fueron de la laguna 49,20%; para el pantano con alcatraces 51,64% y para el pantano sin alcatraces fue de 51,95%; la mejor remoción fue de 85,84% de la muestra 8 mostrando eficiencia en el sistema con alcatraces. Con respecto a la concentración de fosfato total hasta la muestra 4, su reducción fue casi la misma en ambos pantanos. Asimismo concluyó que la especie tiene una efectividad en el tratamiento de aguas residuales en sus características fisicoquímicas y microbiológicas en mayor porcentaje la demanda bioquímica y química de oxígeno.

En el estudio realizado por Morales, López, Vera y Vidal (2013) se afirma que las plantas ornamentales pueden ser utilizadas en humedales artificiales y sirven para el tratamiento de aguas servidas; al evaluar sus resultados obtuvieron que las especies aplicadas fueron eficientes para la remoción de la materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total en un plazo de 5 días. Resultó que la utilización de dichas especies es efectivo, al igual que podrían ser utilizados a nivel rural o en poblaciones con baja densidad poblacional, mejorando estéticamente el entorno; también se determinó que la eficiencia de *Zantedeschia*, *Canna spp* e *Iris spp* muestran eficiencias de remoción de materia orgánica y nutrientes de hasta 86 y 80% para demanda bioquímica de oxígeno y nutrientes (nitrógeno y fósforo total), respectivamente. Dichos sistemas de humedales sub-superficiales utilizando especies ornamentales, pueden proporcionar una posibilidad de ingresos económicos para utilizarlos en el mantenimiento de todo el sistema.

Los resultados obtenidos por Jaramillo, Agudelo y Peñuela (2016) de un sistema de tratamiento de aguas residuales con cultivo de flores aplicado en humedales de flujo sub-superficial para la remoción de contaminantes, logró remover la demanda bioquímica y química de oxígeno, sólidos totales disueltos y sólidos suspendidos totales. Dichos humedales lograron mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento en 7,1% para la demanda biológica de oxígeno, 4,1% demanda química de oxígeno, 56,9% sólidos disueltos totales y 117,2% sólidos suspendidos totales, ya que determinaron que la concentración de la demanda química de oxígeno disminuyó con el tratamiento primario (precipitación y oxidación química) y favoreció la eficiencia del sistema de tratamiento secundario, dado que las aguas a tratar tenían valores muy altos de la demanda química de oxígeno que pueden saturar los humedales con contaminantes persistentes. En el caso de demanda bioquímica de oxígeno removió 87,2 % y de la demanda química de oxígeno 77,9 %.

Larriva y González (2016) demostraron que es de suma importancia incluir geométricos e hidráulicos en el diseño de humedales de flujo sub-superficial, puesto que realizaron tiempos de retención de 1 a 5 días para cada reactor y obtuvieron buenos resultados. Concluyen que de todos los modelos de flujo el de tanques en serie es el que generó mejores resultados, pudiendo ver la importancia de considerar el funcionamiento hidráulico para la eficiencia de la remoción de diferentes contaminantes. En la evaluación del tiempo de retención con la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, determinaron que el tiempo óptimo de retención para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en un 90% a 95% fue de 3,5 a 4 días. Por otra parte el reactor con Totorá es el que mayor eficacia alcanza, y en general los humedales con plantas obtienen entre 2 y 6 % mayor remoción que el que no tiene plantas para el tiempo de retención hidráulico entre 3 y 5 días. Se mostró mediante la aplicación de diversos modelos de flujo de agua residual de zona rural, que los datos obtenidos en el funcionamiento biológico en humedales de flujo sub-superficial, que el modelo de tanques en serie es el que mejor representa la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno para tiempos de retención hidráulica mayores que 3 días en este tipo de tratamientos. Por ello es que se considera de suma importancia considerar el tiempo hidráulico de los reactores para evaluar su eficiencia.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Tito (2015), en su investigación acerca del tratamiento de aguas residuales grises domésticas logró obtener buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes físicos, químicos y biológicos de aguas residuales domésticas, al utilizar un humedal testigo y un humedal con la especie *Cyperus alternifolius*. Dentro de sus resultados de los parámetros analizados sostiene que el porcentaje de remoción respecto a la turbiedad es del 97%, en cuanto a los sólidos suspendidos totales removió 79,68%, en el caso de la demanda química de oxígeno fue de 76,85% y para la demanda bioquímica de oxígeno fue 72,84% de remoción.

Por otro lado, en el estudio elaborado por García (2012) se realizó el tratamiento de aguas residuales domésticas con tres especies diferentes, *Azolla Filiculoides*, para la cual se determinó que a mayor temperatura existe mayor absorción de nutrientes, para la especie *Lemna Minor* se presentó un 72% de remoción de turbiedad demostrándose más efectiva en cuanto a la especie del Jacinto de Agua que fue de un 65%, pero se calcula que ambas, con diferentes porcentajes, han contribuido en el tratamiento de las aguas residuales. *Lemna Minor* tuvo un alto porcentaje de remoción en cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno siendo de 96,7%. En el caso de la *Azolla Filiculoides* la conductividad estuvo entre 500 y 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que según el autor dificultó la remoción de nutrientes, ya que el mayor porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno fue en verano de 52,5%.

### 2.1.3. Antecedentes locales

En la investigación de Núñez (2016) se logró evidenciar una efectiva remoción de contaminantes durante el proceso del tratamiento de agua residual doméstica en una vivienda unifamiliar, para lo cual se utilizó la especie macrófita emergente *Cyperus Papyrus*, conocida como Papiro; en la mayoría de sus parámetros que se analizaron se encontró remoción, entre ellos se alcanzó eficiencias de 96% para la demanda bioquímica y química de oxígeno, un 96% para turbiedad, sólidos totales disueltos y conductividad un 55% de remoción.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Aguas residuales

“Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales” (Baron, 2009, p. 4).

En otra de sus definiciones (Wiki, 2007), considera que agua residual es aquella que procede de haber utilizado las aguas naturales y agua potable, en diferentes usos. Es por ello, que a las aguas residuales al momento de desaguar se les denomina vertidos, los cuales son clasificados en:

- Del uso prioritario u origen.
- De su contenido en determinados contaminantes.

### 2.2.2. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales según su origen se clasifican en:

#### **Aguas residuales urbanas**

Las aguas residuales urbanas por lo general proceden de las actividades en servicios domésticos y públicos, de limpieza en lugares y del drenaje de aguas pluviales. Estas aguas contienen diversos tipos de contaminantes como materia orgánica en suspensión y disuelta, algunas sales minerales, microcontaminantes de productos utilizados y otros que pueden ser materia sólida inorgánica, metales, entre otros (Wiki, 2007).

Las principales características fisicoquímicas de las aguas residuales son las siguientes:

- La temperatura oscila entre 10-20 °C.
- Cargas de materia en suspensión y materia orgánica.
- Nutrientes como nitrógeno y fósforo.
- Cloruros, detergentes, etc.

Dentro de las características biológicas se tiene:

- Microorganismos, algunos patógenos (los virus de la hepatitis destacan entre ellos).
- Coliformes fecales y totales (las aguas residuales urbanas contienen 106 coliformes totales cada 100 mL).

(Wiki, 2007)

### **Aguas residuales industriales**

Son aquellas aguas residuales que provienen de las actividades de talleres, negocios y empresas, que dentro de sus procesos hay utilización de agua, incluyendo dentro de estas líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración (Wiki, 2007).

Las aguas residuales industriales pueden variar dependiendo de la fuente industrial específica de donde provienen, la cantidad, composición y fuerza son factores que intervienen en su variación (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

### **Aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales domésticas se caracterizan por ser de color gris y turbio, que se descargan día a día de viviendas, zonas residenciales, instituciones o centros comerciales. Estas poseen un rango de temperatura de 10-20 °C (Mihelcic & Zimmerman, 2011), se dividen en aguas negras, las cuales son los residuos líquidos de los inodoros y las aguas grises, que se caracterizan por contener grasas, jabón y son provenientes de la ducha, lavamanos, lavaplatos, lavadora. (Sandra, Viviana, Marlon y Edgar, s.f).

### **Escorrentías de usos agrícolas**

Sandra et. al. (s.f) mencionan que estas aguas provienen de las escorrentías superficiales de las zonas agrícolas, principalmente de la zona rural. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, insecticidas y otros agroquímicos, sales y alto contenido de sólidos en suspensión.

### **Aguas pluviales**

Las aguas pluviales se caracterizan por ser el origen del escurrimiento superficial de la precipitación; la cual fluye por las calles, jardines, techos y todas las superficies del terreno. Se dice que los primeros flujos de estas aguas son muy contaminados debido a que estas arrastran basura y otros contaminantes presentes en la superficie. (Sandra et. al., s.f)

### 2.2.3. Composición del agua residual doméstica

En la siguiente figura se presentan datos típicos de las aguas residuales domésticas:

Tabla 01: Composición del agua residual doméstica

| Componente                             | Intervalo de concentraciones |       |      |
|--|------------------------------|-------|------|
|  | Alta                         | Media | Baja |
| Materia sólida, mg/L                   | 1200                         | 720   | 350  |
| disuelta total                         | 850                          | 500   | 250  |
| inorgánica                             | 525                          | 300   | 145  |
| orgánica                               | 325                          | 200   | 105  |
| en suspensión                          | 350                          | 220   | 100  |
| inorgánica                             | 75                           | 55    | 20   |
| orgánica                               | 275                          | 165   | 80   |
| Sólidos decantables, ml/L              | 20                           | 10    | 5    |
| DBO <sub>5</sub> a 20°C, mg/L          | 400                          | 220   | 110  |
| Carbono orgánico total, mg/L           | 290                          | 160   | 80   |
| DQO, mg/L                              | 1000                         | 500   | 250  |
| Nitrógeno, mg/L N, total               | 85                           | 40    | 20   |
| orgánico                               | 35                           | 15    | 8    |
| amoníaco                               | 50                           | 25    | 12   |
| nitritos                               | 0                            | 0     | 0    |
| nitratos                               | 0                            | 0     | 0    |
| Fósforo, mg/L P, total                 | 15                           | 8     | 4    |
| orgánico                               | 5                            | 3     | 1    |
| inorgánico                             | 10                           | 5     | 3    |
| Cloruros                               | 100                          | 50    | 30   |
| Alcalinidad, mg/L de CaCO <sub>3</sub> | 200                          | 100   | 50   |
| Grasa, mg/L                            | 150                          | 100   | 50   |

Fuente: Repositorio de la Universidad de Piura, citado en (Metcalf, 1991)

### 2.2.4. Concentración de contaminantes en aguas residuales

Los contaminantes en las aguas residuales aún no están plenamente definidos, ya que estos análisis completos no son prácticos ni posibles realizarlos, pero gracias a estudios realizados se puede decir que los contaminantes en aguas residuales son una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos (Ramalho, 1996).

### 2.2.5. Parámetros de contaminación

**Sólidos:** Son la materia sólida total que se encuentra en el agua, también denominados sólidos totales (ST) se pueden distinguir dos tipos:

**Sólidos disueltos (SD):** Son aquellos sólidos los cuales no se sedimentan debido al estado en que se encuentran.

**Sólidos en suspensión (SS):** Están constituidos por los siguientes:

- **Sedimentables (SS<sub>Sed</sub>),** tienen mayor peso por lo que pueden sedimentarse en un corto tiempo.

- **No sedimentables (SS no Sed),** no sedimentan en poco tiempo, ya que pueden encontrarse en estado coloidal o tener un peso específico cercano al del líquido.

**Microorganismos:** Las aguas residuales también se encuentran materia viva como por ejemplo los virus, algas, protozoos, etc. Pueden clasificarse en los siguientes:

**Parásitos,** son aquellos que dependen de otro organismo para poder vivir; pueden ser benignos o malignos (causan enfermedades).

**Saprophytes,** son aquellos que se alimentan de la materia orgánica en descomposición.

**Aerobios,** son aquellos que captan el oxígeno que se encuentra en el agua, constituyendo el 60-66% de microorganismos que se encuentran en el agua residual.

**Anaerobios,** son aquellos los cuales obtienen el oxígeno de la descomposición de la materia orgánica; constituyendo el 10-25% de los microorganismos presentes en las aguas residuales.

**Facultativos,** pueden ser anaerobios o aerobios; constituyen el 9-30%.

**Concentración de materias oxidables:** Es la materia orgánica que extraen oxígeno debido a los diferentes procesos que ocurren en el agua ya sean químicos o biológicos. Para poder medirla se realizan los siguientes análisis:

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** representa a la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos y reacciones químicas, indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** representa la cantidad de oxígeno que se ha gastado para poder efectuar las reacciones químicas.

**Oxígeno disuelto (OD):** es la cantidad de oxígeno presente en el agua y puede incrementarse debido al contacto con el aire o por acción fotosintética.

**Nitrógeno:** Se encuentra en diferentes formas amoniacales como por ejemplo, nitritos y nitratos.

**Fósforo total:** Se encuentra presente en el agua, debido a los vertidos urbanos e industriales, siendo indispensable para que los microorganismos se desarrollen, pueden estar presentes como fosfatos.

**pH:** Es modificado por los vertidos urbanos o industriales ya que en estos se encuentran presentan los ácidos y bases. Las aguas urbanas tienen un pH cercano a 7.

**Cloruros:** Están presentes en todas las aguas de origen urbano, incrementan la salinización originando inhibir la acción de los microorganismos en la depuración.

**Grasas:** Producen que la captación de oxígeno no se realice adecuadamente, afectando a los procesos y microorganismos presentes en el agua. Una de las consecuencias que trae la presencia de grasas es el mal funcionamiento de las depuradoras de agua.

(Lehman, 2015)

#### 2.2.6. Parámetros analizados en aguas residuales

Los parámetros que se miden en las aguas residuales se dividen en dos grupos:

**Parámetros físicos:** Dentro de este grupo se encuentran los siguientes parámetros:

**Temperatura:** Es un parámetro primordial de analizar, puesto que se afectarían a ecosistemas.

**Color:** Se puede encontrar una gran diferencia entre el color originado por vegetación presente en el agua o por contaminantes.

**Olor:** Es el resultado de los diversos procesos que se den en el agua, como por ejemplo la descomposición de la materia orgánica o la obtención de sulfuros.

**Turbiedad:** Depende de la cantidad de partículas que se encuentran en suspensión.

**Sólidos totales:** Resulta de un proceso de secado del agua, a nivel laboratorio.

**Sólidos suspendidos:** Cantidad de material residual, después de filtrar y secar el agua, a nivel laboratorio.

**Sólidos disueltos:** Son aquellos que quedan de residuo al secar la muestra de agua a residual a 103°C en su mayoría son iones y moléculas orgánicas o inorgánicas.

**Sólidos sedimentables:** Es la cantidad de sólidos que resultan sedimentados en un recipiente.

**Parámetros químicos:** Dentro de este grupo se encuentran los siguientes parámetros:

**Oxígeno disuelto:** Es la cantidad de oxígeno que se encuentra en el agua, para poder realizarse los diferentes procesos.

**Demanda bioquímica de oxígeno:** Es la cantidad de oxígeno que requieren los organismos para poder descomponer la materia orgánica, en condiciones aeróbicas.

**Demanda química de oxígeno:** Es la cantidad de oxígeno necesario para producir reacciones químicas, es mayor que la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**Nutrientes:** Son elementos de suma importancia para los procesos biológicos en las Aguas residuales.

**Sulfuro de hidrógeno:** Gas incoloro que se genera por el proceso de descomposición de la materia orgánica.

**pH:** Es la cantidad de hidrógeno presente en el agua.

**Detergentes:** No permiten el proceso de intercambio de oxígeno y afectan a los microorganismos presentes en el agua.

**Cloruros:** Producen que el agua tenga un mal sabor y aceleran los procesos de corrosión.

**Grasas y aceites:** Componentes que interfieren el intercambio de gases, ya que forman una capa flotante.

**Metales pesados:** Presencia de diversos metales que pueden ser tóxicos.

(Mendoza, 2015)

### 2.2.7. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Existen dos tipos de sistemas para el tratamiento de aguas residuales:

#### Por el tipo de proceso:

**Procesos Físicos:** Consiste en la remoción de los sólidos en suspensión, por ejemplo: rejillas, sedimentador, triturador, filtración.

**Procesos Químicos:** Consiste en la aplicación de productos químicos para la eliminación de los contaminantes, dentro de estos están: precipitación, adsorción y desinfección.

**Procesos Biológicos:** Es un proceso de actividad biológica de los microorganismos, o también de algunas especies de plantas. Se produce la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables, nitrógeno y potasio.

(Orjuela Gutiérrez & Lizarazo Becerra)

**Por el grado de tratamiento:** Según el documento del repositorio de la Biblioteca de la Universidad de Piura, se enumera los siguientes tratamientos:

**Tratamientos preliminares:** También llamado pre tratamiento, es el primer proceso que se encuentra al inicio y su objetivo principal es eliminar todo tipo de materiales cuyo tamaño es considerable y puede interferir en el funcionamiento del siguiente proceso depurador. Dentro de ellos están los minerales, arenas y sólidos. Los tratamientos preliminares más frecuentes en caso de aguas residuales domésticas son: desbaste y desarenado.

**Tratamientos primarios:** Este tratamiento consiste en remover o eliminar todos aquellos contaminantes que se logran sedimentar, como sólidos sedimentables y algunos sólidos suspendidos, también los contaminantes que pueden flotar como son las grasas. Dentro de estos tratamientos se encuentran la sedimentación primaria y tanques imhoff.

**Tratamientos secundarios:** Tiene por finalidad eliminar la materia orgánica biodegradable no sedimentable y otros contaminantes, las reacciones en estos procesos son generalmente biológicas. Los tratamientos secundarios remueven un 85% de la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos, aproximadamente. Se suele utilizar como procesos secundarios lodos activados, lagunas de estabilización, lecho de lodos.

**Tratamientos terciarios:** Se suelen dar cuando, finalizados los tratamientos secundarios, aún no cumplen con los estándares de calidad ambiental y se requiere de un tercer tratamiento, con el objetivo de eliminar la carga orgánica restante, desinfectar para la eliminación de organismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, eliminar cualquier contaminante presente que altere las propiedades del agua.

(Naturaleza del Agua Residual y su Tratamiento, s.f.)

### 2.2.8. Tratamiento biológico de aguas residuales

Es un tratamiento el cual consiste en diversas operaciones, utilizado mayormente para realizar el tratamiento de las aguas residuales suburbanas que contienen altos niveles de concentración de materia orgánica al igual que las aguas residuales industriales que tienen concentraciones parecidas. Permite en primer lugar remover las impurezas presentes en el agua, en segundo lugar ayuda a la descomposición de la materia orgánica y en tercer lugar produce la purificación biológica del agua residual, logrando producir un efecto en la autodepuración biológica del agua. (Fair, Geyer, & Okun, 2008)

### 2.2.9. Humedales artificiales

Los humedales artificiales son estanques los cuales permiten controlar con facilidad la cantidad de agua que se quiere tratar y la vegetación de preferencia, para así poder incrementar la eficiencia del sistema, el costo para su construcción y mantenimiento son bajos. (Haro González & Aponte Hernández, 2010)

### 2.2.10. Clasificación de los humedales artificiales

**Humedales artificiales de flujo libre o superficiales:** Están diseñados para que el agua a tratar se desplace por encima del sustrato, ayudando a que los procesos anaerobios se realicen con más facilidad puesto que el agua residual se encuentra en contacto directo con la atmósfera, son utilizados mayormente para tratar aguas residuales que tienen un tratamiento previo también para restaurar ecosistemas acuáticos.

**Humedales artificiales de flujo sub-superficial:** Son aquellos humedales los cuales están diseñados para que el agua pase por el sustrato, mayormente son utilizados para tratar aguas residuales provenientes de una población no muy numerosa. Según el tipo de flujo del agua se dividen en dos grupos:

**Humedales artificiales de flujo sub-superficial vertical:** el agua residual se desplaza a través del sustrato de forma horizontal en intervalo, para poder favorecer a los procesos anaerobios como la nitrificación, se coloca conductos que permitan la aireación y se pueda producir la remoción de contaminantes.

**Humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal:** el agua residual a tratar se desplaza de forma continua de forma vertical a través del sustrato, se desarrollan diversos procesos entre ellos la desnitrificación, las condiciones anaerobias serán óptimas si el nivel del agua se encuentra debajo del sustrato.

(Los humedales artificiales: Componentes y tipos, 2013)

#### 2.2.11. Componentes de un humedal artificial

Los humedales artificiales, como lo menciona (Lara, 1999) están constituidos por los siguientes componentes:

**Agua:** Es el principal componente del humedal, depende del agua residual los resultados obtenidos para el tratamiento. El agua residual en el caso de humedales artificiales, define todo el funcionamiento del sistema, ya que la falta o exceso de agua residual para el humedal interfiere en todos los componentes.

**Sustrato, sedimento y restos de vegetación:** Es aquel material granular, que incluye suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost, que sirve de soporte para la vegetación presente en el humedal al igual que interviene en la eliminación de contaminantes. Los sedimentos y restos de vegetación son lo que se acumulan dentro del humedal. Todos estos componentes son importantes porque gracias a ellos existen organismos vivientes y transformaciones químicas y biológicas, gracias a la permeabilidad del sustrato se da el movimiento del agua residual por todo el humedal.

**Vegetación:** La mayoría de plantas macrofitas son utilizadas en este tipo de tratamiento, para aportar en la producción de oxígeno favoreciendo a los procesos. Lo interesante de esta vegetación es que los tallos y hojas que se encuentran sumergidas se degradan y se convierten en lo que se llama restos de vegetación, estos sirven como sustrato para la película microbiana, en gran parte gracias a esto se produce el tratamiento de las aguas residuales. Entre algunas de las funciones que cumple la vegetación dentro de los humedales se tiene: estabilización del sustrato, transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos, permiten que los materiales suspendidos se depositen, ya que regulan la velocidad del agua (Lara, 1999).

**Especies de vegetación:** Existe una gran cantidad de plantas que son utilizadas para tratamiento de aguas residuales a través de los sistemas de humedales artificiales, estas dependen del tipo de humedal construido y se las divide en tres grupos: flotantes, sumergidas y emergentes. Los tres grupos son aptas para humedales construidos de tipo superficial, pero solo las especies emergentes son utilizadas en los humedales de tipo sub-superficial. A continuación se dará a conocer algunas de ellas:

**Flotantes:** Son aquellas plantas que tienen todo su cuerpo vegetativo flotando total o parcialmente en el agua, en algunos casos se encuentran bajo la superficie del agua, entre ellas tenemos:

- Flor del Pato (*Azolla Filiculoides*)
- Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

**Sumergidas:** Especies cuyo cuerpo vegetativo está inmerso en el agua, pero con la característica que se encuentran arraigadas al sustrato. Sus flores y hojas pueden estar flotando en la superficie del agua.

- Hilo de agua (*Ceratophyllum demersum*)
- Luchecillo (*Egeria densa*)
- Huiro, Ahuiranque (*Potamogeton linguatus*)

**Emergentes:** Son plantas que tienen gran parte de su cuerpo vegetativo fuera del agua, pero sus raíces y parte del tallo y hojas se encuentran sumergidas.

- Llantén de agua, Hualtata (*Alisma lanceolatum*)
- *Canna spp.* (*Canna Lily*)
- Taro, Elephant ear (*Colocasia esculenta*)
- Reed Canarygrass (*Phalaris arundinacea*)

- Berro (*Rorippa nasturtiumaquaticum*)
- Vatro, Paja de estera (*Typha domingensis*)
- Cattail (broadleaf) (*Typha latifolia*)
- Lirio de Arum o Cala (*Zantedeschia aethiopica*)

(Vidal & Hormazábal, 2016)

**Microorganismos:** Una característica de los humedales es que el funcionamiento es regulado por estos microorganismos y el metabolismo que estos realizan, dentro de ellos están los hongos, levaduras, bacterias y protozoarios. Entre algunas de sus funciones están, la transformación de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles, también están relacionadas el reciclaje de nutrientes. Los microorganismos pueden tener un metabolismo en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, y existen algunos que pueden ser facultativas, es decir ambas condiciones (Lara, 1999).

**Animales:** Gracias a todo el proceso de descomposición dentro de los humedales, existe gran diversidad de animales en su mayoría invertebrados, como gusanos e insectos. Estos son capaces de fragmentar el detritus al consumir la materia orgánica, lo que contribuye al proceso de tratamiento (Lara, 1999).

**Realce de la estética y paisaje:** Los humedales ya sean naturales o artificiales aumentan la estética del lugar donde se encuentran, dependiendo el tipo de especies que se utilicen, mientras sean plantas con hermosas flores dan mejor belleza y estética (Lara, 1999).

#### 2.2.12. Vegetación utilizada en el sistema de humedales artificiales

***Zantedeschia aethiopica*:** Nombre común: Cala Blanca o Flor de Cartucho, es una planta perenne de 80 a 90 cm de altura de la familia de las aráceas, del orden de las Alismatales, género *Zantedeschia* y clase Liliopsida. Tiene sus orígenes en Sudáfrica, es cultivada como ornamental por sus vistosas flores de color blanco, es capaz de soportar heladas. Es una planta de humedales, por lo que en algunos casos se ha utilizado para el tratamiento de aguas residuales en sistemas de humedales artificiales (Vidal & Hormazábal, 2016).

Según (Figuroa, 1999) en su estudio realizado acerca de la evaluación de *Zantedeschia Aethiopica* como planta emergente en pantanos de flujo horizontal sub-superficial para tratamiento de aguas residuales, concluye que esta especie crece y se desarrolla bien como planta emergente de humedales y es efectiva en el tratamiento de aguas residuales porcícolas.

Figura 01: *Zantedeschia aethiopica*



Fuente: (Duarte, 2012)

***Canna spp.***: Llamada también *Canna lily* por su nombre científico, de la familia de las cannaceae, clase Monocotyledoneae, orden Zingiberales y género *Canna L.* y es conocida como Achira con su nombre en castellano. Es una especie de usos comestible y medicinal. La canna presenta un aspecto maravilloso cuando es plantada y agrupada, sus flores son de forma tubular de distintos colores, rojo, naranja o amarillo. Crece en lugares con abundante agua, está hace que siempre se encuentre en su color verde (Flavia, 2016).

Figura 02: *Canna spp*



Fuente: (Flores idoneas para el verano, 2016)

### 2.2.13. Ventajas de los humedales artificiales

Al realizarse estudios con humedales naturales, demostraron ser eficientes en la remoción de contaminantes presentes en el agua; por ello es que se inició investigaciones con humedales artificiales, se construyó dichos sistemas artificiales para ser utilizados como filtros biológicos para así poder limpiar contaminantes del agua como los organismos patógenos, al igual que retener en los sedimentos otros contaminantes. (Los humedales artificiales: Componentes y tipos, 2013)

### 2.2.14. Diseño del humedal artificial sub-superficial

Según (United States. Environmental Protection Agency (EPA), 1993) en la guía para el diseño y construcción de Humedales Artificiales de Flujo Sub-superficial, se debe seguir los siguientes pasos:

- Se debe determinar los parámetros iniciales del agua residual a tratar, como es el caso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), temperatura de las aguas residuales y los sólidos suspendidos totales (SST).
- Luego determinar la calidad deseada del efluente, en términos de la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales.
- Se determina la profundidad del lecho, la cual no debe ser muy profunda; en conjunto se determina el tipo de sustrato a utilizar.
- Se procede a seleccionar el valor de los espacios vacíos por el sustrato, que se utilizará 0,35, si hay uso de plantas y 0,45 si no se usan plantas.
- Para los cálculos del dimensionamiento se tiene en cuenta:

**Cálculo del área de la superficie con la siguiente fórmula:**

$$A_s = L * W = \frac{Q \left[ \ln \left( \frac{C_0}{C_e} \right) \right]}{K_T dn}$$

En donde:

$$K_T = K_{20}(\theta) = K^{(T-20)^{\circ}C}$$

- $A_s$  : área de superficie del humedal ( $m^2$ )  
 $L$  : longitud (m)  
 $W$  : ancho (m)  
 $Q$  : flujo ( $m^3/día$ )  
 $C_o$  : concentración de la demanda bioquímica de oxígeno del afluente (mg/L)  
 $C_e$  : concentración de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente (mg/L)  
 $K_T$  : proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales ( $T\text{ }^\circ\text{C}$ )  
 $K_{20}$  : proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales ( $T-20^\circ\text{C}$ )  
 $d$  : profundidad promedio del agua en el filtro (m)  
 $n$  : porosidad de la estructura del filtro (% como decimal)

Suposición de Largo – Ancho, de la manera que mejor se adapte el diseño.

**Cálculo de la capacidad hidráulica (Ecuación de Darcy):**

$$Q = K_s AS$$

A: área transversal

S: gradiente hidráulico

$K_s$ : conductividad hidráulica (0.015)

Una vez obtenido el diseño del humedal, se procede a calcular el tiempo de retención con la siguiente fórmula:

$$TRH = \frac{(volumen * espacio\ vacío)}{Q}$$

TRH: Tiempo de retención hidráulico

Luego de realizar el tratamiento en los sistemas de humedales se realiza el cálculo del porcentaje de remoción de materia orgánica:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

$C_i$ : Concentración inicial

$C_f$ : Concentración final

### 2.2.15. Tiempo de retención hidráulico

Se define como el tiempo que tarda una unidad de fluido al pasar dentro de un recipiente de un extremo al otro. Considerado en términos de ingeniería como un parámetro que mide la relación expresada en horas, días entre el caudal de un líquido a tratarse (agua residual) y el volumen del depósito en el cual se va realizar el tratamiento. (Retención hidráulico, s.f.)

### 2.2.16. Mantenimiento de los humedales artificiales de flujo sub-superficial

Según el (Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento, s.f.), una vez construido el humedal artificial de flujo sub-superficial, se requiere de un seguimiento, control y mantenimiento; ya que los componentes con el tiempo se obstruyen y provocan disminución de la eficiencia. El material del substrato requiere ser cambiado entre los 8 y 15 años. Asimismo se debe asegurar y controlar la vegetación para evitar interrupciones en el sistema.

### 2.2.17. Rendimientos esperados de un humedal artificial

Los humedales artificiales pueden tratar de una manera efectiva altos niveles de la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos y suspendidos, nitrógeno, fósforo, entre otros contaminantes. Según (Marín & Londoño, 2009), los procesos de remoción de contaminantes en los humedales se clasifican en:

**Físicos:** Se encuentran mecanismos como la filtración y sedimentación.

**Químicos:** Principalmente procesos de adsorción y absorción.

**Biológicos:** Está el metabolismo microbiano y el metabolismo de las plantas.

Tabla 02: Mecanismos de remoción para cada parámetro

| <b>Constituyente del Agua Residual</b> | <b>Mecanismo de Remoción</b>   |
|--|--|
| <b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>   | Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica)<br>Sedimentación  |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b>     | Sedimentación<br>Filtración  |
| <b>Nitrógeno</b>                       | Amonificación seguida de nitrificación/ Desnitrificación por microorganismos.<br>Asimilación por las plantas.<br>Adsorción en el lecho filtrante |
| <b>Fósforo</b>                         | Absorción del suelo (reacciones de adsorción - precipitación con aluminio, hierro, calcio y minerales).<br>Asimilación por parte de las plantas. |
| <b>Patógenos</b>                       | Sedimentación<br>Filtración<br>Muerte Natural<br>Depredación<br>Excreción de antibióticos desde las raíces de macrofitas.                        |

Fuente: Adaptado de (Maldonado, 2005)

## 2.2.18. Marco legal

### **Ley N° 28611.- LEY GENERAL DEL AMBIENTE:**

Esta ley comprende la regulación de diversos instrumentos que contribuyen a una gestión ambiental sostenible, por ello muestra detalladamente aspectos de los derechos y deberes que cada persona tiene en relación con el medio ambiente. Es así que el (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA, 2015) hace relevancia a tres de los artículos que enfocan el tema de aguas residuales, dentro de ellos el Artículo 31° que menciona al Estándar de Calidad Ambiental, y lo define como el nivel de concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el ambiente en condición de cuerpo receptor; el artículo 121° del vertimiento de aguas residuales es donde aclara que el estado es el encargado de autorizar el vertimiento de cualquier tipo de aguas residuales, siempre y cuando este no afecte la calidad de agua ni su reutilización; y el artículo 122° del tratamiento de residuos líquidos, el cual establece que el sector Vivienda, Construcción y Saneamiento debe sancionar y vigilar a empresas y entidades generadoras de aguas residuales, basándose en los límites máximos permisibles.

### **Ley N° 29338.- LEY DE RECURSOS HÍDRICOS:**

La presente ley busca la gestión integrada del recurso hídrico y sus bienes naturales y artificiales, garantizando a su vez la protección de los recursos naturales, ecosistemas y el ambiente. El artículo N° 82 de reutilización de agua residual, menciona que el agua residual tratada puede ser utilizada con los fines basados en la licencia otorgada por la Autoridad Nacional (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA, 2015).

### **Reglamento de la Ley N° 29338.- LEY DE RECURSOS HÍDRICOS, APROBADO POR DECRETO SUPREMO N° 001-2010-AG:**

En su Artículo 132°.- Aguas residuales domésticas y municipales, define que las aguas residuales domésticas son originadas por actividades comerciales y residenciales, las cuales contienen desechos fisiológicos. Mientras que las aguas residuales municipales comprenden a las aguas industriales, domésticas y pluviales (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA, 2015).

**Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM-DECRETO SUPREMO QUE APRUEBA LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES:**

Es el decreto donde se manifiesta los límites máximos permisibles para efluentes, los cuales son necesarios para determinar la concentración de componentes o sustancias presentes en el agua residual, que si en caso llegue a exceder podría ocasionar daños en la salud pública o en los ecosistemas acuáticos.

Figura 03: Límites máximos permisibles para efluentes de planta de tratamiento de agua residual

| <b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES<br/>PARA LOS EFLUENTES DE PTAR</b> |               |  |
|---|---------------|--|
| <b>Parámetro</b>  | <b>Unidad</b> | <b>LMP DE EFLUENTES<br/>PARA VERTIDOS A<br/>CUERPOS DE AGUAS</b> |
| Aceites y grasas  | mg/L          | 20   |
| Coliformes termotolerantes  | NMP/100 mL    | 10000  |
| Demanda bioquímica de oxígeno                                     | mg/L          | 100  |
| Demanda química de oxígeno  | mg/L          | 200  |
| pH  | unidad        | 6,5 - 8,5  |
| Sólidos totales en suspensión                                     | mg/L          | 150  |
| Temperatura   | °C            | < 35   |

Fuente: (Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales., 2010)

### 2.3. Hipótesis

El efecto del tiempo de retención y la variación de especies de plantas ornamentales influye significativamente en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas en Cajamarca.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

#### 3.1.1. Variable independiente

- Tiempo de retención
- Especies de plantas ornamentales

#### 3.1.2. Variable dependiente

Remoción de materia orgánica

Tabla 03: Operacionalización de variable dependiente

| VARIABLE             |                              | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DIMENSIONES                       | INDICADORES                                       | UNIDAD DE MEDIDA      |
|----------------------|------------------------------|---|-----------------------------------|---|-----------------------|
| Variable dependiente | Remoción de materia orgánica | Es el porcentaje de eliminación de contaminantes de las aguas residuales domésticas, medido con parámetros. | Parámetros Físicos                | Turbiedad   | NTU                   |
|                      |                              |   |                                   | Temperatura                                       | °C                    |
|                      |                              |   |                                   | pH  | -                     |
|                      |                              |   |                                   | Conductividad                                     | μS/cm                 |
|                      |                              |   |                                   | Sólidos Disueltos Totales (TDS)                   | mg/L                  |
|                      |                              |   | Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/L  |                       |
|                      |                              |   | Parámetros Químicos               | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> / L |
|                      |                              |   |                                   | Demanda Química de Oxígeno (DQO <sub>5</sub> )    |                       |

Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Diseño de investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, como lo describe (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006) este enfoque usa la recolección de datos para dar respuesta o probar una hipótesis establecida, para ello se basa en las mediciones y análisis estadístico empleando la experimentación.

**Diseño de Investigación: Experimental**, porque se requiere de una manipulación intencional de una o más variables independientes para analizar las consecuencias en las variables dependientes, según (Tamayo Tamayo) en el estudio experimental se realiza un control directo o de procedimientos estadísticos al azar, los cuales incluyen la selección de la muestra. Una de sus características es que emplea un grupo inicial para comparar los resultados obtenidos, por ello es el más indicado para investigar las relaciones de causa-efecto.

**Tipo de investigación experimental: Cuasi-experimental**, debido a que este tipo de investigación sigue la misma lógica, involucra la comparación de los grupos de tratamiento y control como en las pruebas aleatorias.

En esta investigación se evaluó dos variables independientes y una dependiente, por lo que se utilizó pre pruebas y post pruebas para poder analizar cómo ha sido la evolución de la variable dependiente antes y después de los tratamientos realizados con plantas ornamentales.

Tabla 04: Diseño de investigación

| Grupo                            | Asignación | Pre Prueba | Tratamiento | Post Prueba |
|----------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| <b>GE: Sistemas de humedales</b> | R          | Pre Test 0 | X           | Pre Test 4  |
| <b>GC: Concentración inicial</b> | R          | Pre Test 1 | -           | Pre Test 0  |

Fuente: Elaboración propia

GE: Grupo de estudio

GC: Grupo de control

R: Asignación al azar

X: Tratamiento

- : Ausencia de Tratamiento

### 3.3. Unidad de estudio

Cada litro de agua residual doméstica de la vivienda unifamiliar.

### 3.4. Población

Se tuvo en cuenta a la cantidad de agua residual doméstica de la vivienda unifamiliar ubicada en el sector Columbito es de 12 m<sup>3</sup> al mes aproximadamente.

### 3.5. Muestra (muestreo o selección)

Se realizó un muestreo dirigido y puntual en una vivienda de cuatro individuos del distrito de Cajamarca, considerando una muestra de dos litros de agua residual doméstica tratada para los respectivos análisis de los parámetros fisicoquímicos. En total se utilizó 264 litros de agua residual doméstica durante los 4 días de tratamiento, 88 litros en cada sistema de humedales.

Figura 04: Ubicación del estudio



Fuente: Google Earth

#### Coordenadas UTM:

**Coordenada este:** 776306

**Coordenada norte:** 9209047

**Altitud:** 2686 m

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Tabla 05: Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

| Técnicas            | Instrumentos   |
|---------------------|--|
| Observación         | <p>Fichas de recolección de datos en campo, para muestreo y monitoreo de aguas residuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Requisitos para toma de muestras de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo (Protocolo de Monitoreo D.S. 003 – 2010 Ministerio de Vivienda).</li> <li>- Ficha de registro de datos en campo (Protocolo de Monitoreo D.S. 003 – 2010 Ministerio de Vivienda).</li> <li>- Etiquetas para muestras de agua residual.</li> <li>- Ficha de observación del sistema (Elaboración propia)</li> </ul> |
| Revisión Documental | <p>Guía de diseño y construcción de humedales artificiales de flujo sub-superficial (United States Environmental Protection Agency, 1993).</p> <p>Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS))</p> <p>Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales establecido por el Ministerio del Ambiente de Perú.</p>                              |
| Laboratorio         | <p>Instrumentos para medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (frascos para muestrear, equipo multiparámetro y pH-metro).</p> <p>Métodos para mediciones de la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno (Fuente: HACH empresa sede mundial).</p>  |
| Estadísticas        | Programas para análisis de datos (IBM SPSS Statistics)   |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

#### 3.7.1. Métodos:

La metodología aplicada consistió en realizar trabajo de campo para medir los parámetros, también de gabinete para el diseño, sistematización y evaluación de los sistemas de humedales:

#### Metodología de Mediciones

##### a. Frecuencia de Mediciones y hora

- Se identificó los puntos de muestreo: Los cuales fueron en la fosa séptica y a la salida de cada sistema.
- Frecuencia de monitoreo: Se tomó muestras durante 4 días consecutivos, en la salida de cada sistema.
- Hora de monitoreo: A las 12:30 pm cada 24 horas, una muestra por día.

Tabla 06: Cronograma de muestreo

| Fecha                    | Hora de Muestreo | Humedal 1<br>( <i>Zantedeschia aethiopica</i> ) | Humedal 2<br>( <i>Canna spp</i> ) | Humedal 3<br>( <i>Zantedeschia aethiopica</i> y <i>Canna spp</i> ) |
|--------------------------|------------------|---|-----------------------------------|--|
| 06/02/2018               | 12:30 p.m.       | x   | x                                 | x  |
| 07/02/2018               | 12:30 p.m.       | x   | x                                 | x  |
| 08/02/2018               | 12:30 p.m.       | x   | x                                 | x  |
| 09/02/2018               | 12:30 p.m.       | x   | x                                 | x  |
| <b>Muestras por día</b>  |                  | 4   | 4                                 | 4  |
| <b>Total de muestras</b> |                  | 12  |                                   |  |

Fuente: Elaboración propia

##### b. Evaluación de los parámetros

- Se identificaron los parámetros a analizar: Parámetros fisicoquímicos (turbiedad, sólidos disueltos totales, conductividad, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno).

- Se aplicaron los métodos que requerían cada parámetro. En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales, fueron obtenidos en el Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca y la turbiedad, sólidos disueltos totales, conductividad, pH y temperatura fueron analizados en el Laboratorio de la Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca.
- Se recopilaron los datos, luego se ingresaron en el software IBM SPSS Statistics para generar gráficos y obtener la correlación de las variables. Las pruebas estadísticas que se utilizaron para el análisis de información fueron: análisis de varianza (ANOVA) y regresión lineal.

### 3.7.2. Instrumentos y materiales

#### Instrumentos y equipos

##### Multiparámetro sensION<sup>+</sup> EC5:

Equipo para la medición de sólidos disueltos totales, conductividad y temperatura.

Figura 05: Equipo multiparámetro



Fuente: Elaboración propia

**2100Q Turbidímetro portátil (EPA):**

Equipo para la medición de turbidez.

Figura 06: Turbidímetro

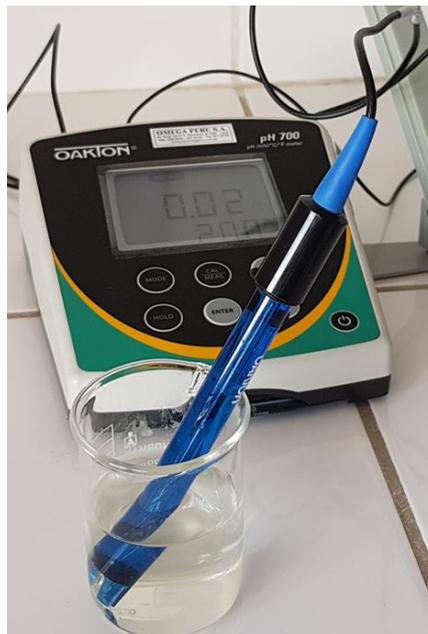


Fuente: Elaboración propia

**Medidor de pH 700:**

Equipo para la medición de pH.

Figura 07: pH-metro



Fuente: Elaboración propia

## Materiales y reactivos

Tabla 07: Materiales y reactivos

| Materiales   |   |   | Reactivos   |
|--|---|---|---|
| Campo  | Gabinete  | Sistemas de Humedales   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Libreta de campo</li> <li>- Lapiceros</li> <li>- Cámara digital</li> <li>- Ficha de observación</li> <li>- Frascos de muestra</li> <li>- Guantes quirúrgicos</li> <li>- Mascarillas</li> <li>- Guardapolvo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Computadora portátil</li> <li>- Calculadora</li> <li>- USB</li> <li>- Folder</li> <li>- Libros</li> <li>- Lapiceros</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanque de 70 litros</li> <li>- Tuberías y complementos</li> <li>- Agregados (arena, grava fina y suelo orgánico)</li> <li>- Tinajas</li> <li>- Contenedores de 167 litros</li> <li>- Llaves de paso</li> <li>- Baldes</li> <li>- Plantas netamente ornamentales (<i>Zantedeschia aethiopica</i> y <i>Canna spp.</i>)</li> <li>- Soporte para sistemas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ácido sulfúrico <math>H_2SO_4</math> utilizado para preservar muestra de la demanda química de oxígeno. (20 gotas por frasco)</li> </ul> |

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.3. Procedimiento de análisis de datos

En primer lugar las técnicas de procesamiento y análisis de datos, se basaron en el análisis del efecto de la variación de plantas y el tiempo de retención en cada humedal, luego se realizó la comparación de los resultados en la salida de cada sistema de humedales con los límites máximos permisibles y finalmente se obtuvieron los porcentajes de remoción de materia orgánica en cada sistema de humedales, de acuerdo a la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

Figura 08: Diagrama de procesamiento de análisis de datos



Fuente: Elaboración propia

#### 1° Muestreo y análisis inicial:

Se realizó un post muestreo del agua residual doméstica para la obtención de la concentración inicial de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales; datos que fueron necesarios para realizar el diseño de los humedales.

## 2° Diseño del sistema de humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal:

Para el diseño de los humedales se tuvo en cuenta los siguientes datos:

Tabla 08: Datos requeridos para el diseño de humedales

| Datos  |       |                     |
|--|-------|---------------------|
| Parámetros   | Valor | Unidad              |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) de entrada (C <sub>o</sub> ) | 250,5 | mg/L                |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) de salida (C <sub>e</sub> )  | 50    | mg/L                |
| Caudal (Q)   | 0,022 | m <sup>3</sup> /día |
| Población  | 4     | personas            |
| n* (porosidad de H. A. con plantas)  | 0,35  |                     |
| d (profundidad)  | 0,40  | m                   |
| Temperatura promedio del agua residual   | 15,6  | °C                  |

\*valor de porosidad referenciado en (United States Environmental Protection Agency, 1993)

Fuente: Elaboración propia

### Dimensionamiento:

#### Cálculo del área de la superficie (ecuación 1):

$$A_s = L * W = \frac{Q \left[ \ln \left( \frac{C_o}{C_e} \right) \right]}{K_T d n}$$

#### Hallamos K<sub>T</sub>:

$$K_T = K_{20}(\theta) = K^{(T-20)^{\circ C}}$$

#### Donde:

$$K_{20} = 1,104$$

$$\theta = 1,06$$

$$T = 15,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$K_T = (1,104)(1,06)^{(15,6-20)^{\circ C}}$$

$$K_T = 0,85$$

**Reemplazamos  $K_T$  en la ecuación (1):**

$$A_s = \frac{0,022 \left[ \ln \left( \frac{250,5}{50} \right) \right]}{(0,85)(0,40)(0,35)}$$

$$A_s = 0,298 \text{ m}^2$$

**Cálculo Largo – Ancho (L-W) del humedal:**

Suponemos una proporción L – W de 2:1

$$L = 2 W$$

$$2 W * W = 0,298$$

$$W = \left( \frac{0,298}{2} \right)^{0,5}$$

$$W = 0,38 \text{ m}$$

$$L = 2 * 0,38$$

$$L = 0,76 \text{ m}$$

Por lo tanto, se tiene un humedal artificial de las siguientes dimensiones: largo 0,76 m, ancho 0,38 m y una altura de 0,40 m. Siendo su volumen 0,12 m<sup>3</sup>.

**Cálculo de la capacidad hidráulica (Ecuación de Darcy):**

$$Q = K_s A S$$

**Donde:**

**A: área transversal**

$$A = 2(W * p)$$

$$A = 2(0,38 * 0,40)$$

$$A = 0,30$$

**S: gradiente hidráulico**

$$S = (0,1) * \frac{d}{L}$$

$$S = (0,1) * \frac{0,40}{0,76}$$

$$S = (0,1) * 0,53$$

$$S = 0,05$$

**K<sub>s</sub>: conductividad hidráulica (0,015)**

$$K_s = \frac{3}{200} * (100)$$

$$K_s = 1,5$$

**Cálculo del caudal requerido:**

$$Q = K_s * A * S$$

$$Q = 1,5 * 0,30 * 0,05$$

$$Q = 0,022 \text{ m}^3/\text{día}$$

**Cálculo del tiempo de retención (TRH):**

$$TRH = \frac{(\text{volumen} * \text{espacio vacío})}{Q}$$

$$TRH = \frac{(0,38 * 0,76 * 0,40) \text{ m}^3 * (0,35)}{0,022 \text{ m}^3/\text{día}}$$

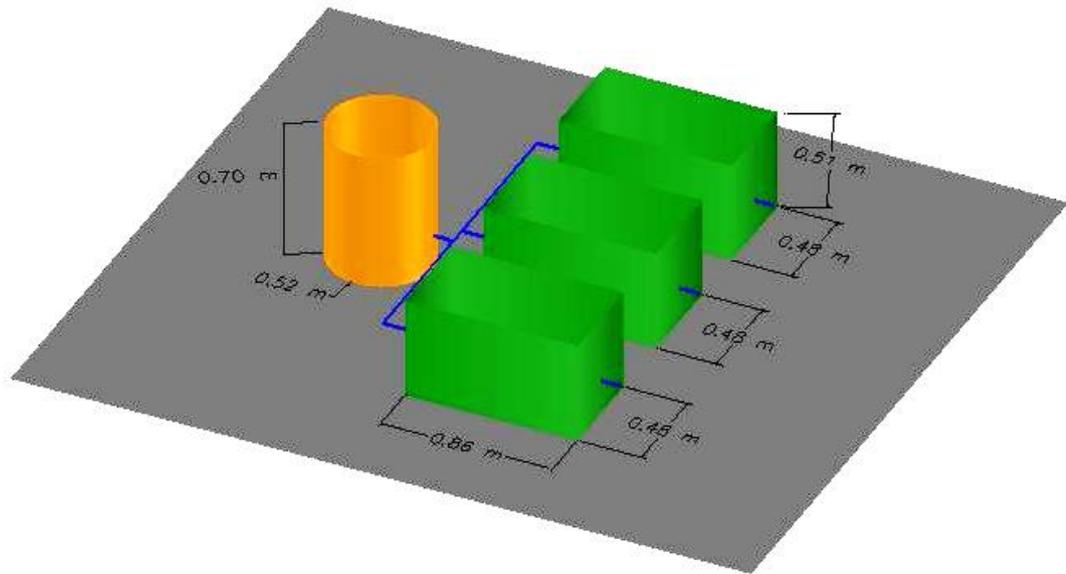
$$TRH = 1 \text{ día}$$

**3° Construcción de los sistemas de humedales:**

Se utilizó 3 contenedores con las siguientes dimensiones, 48,3 cm de ancho, 86 cm de largo, 51,5 cm de profundidad y una capacidad de 160 litros; un tanque con capacidad de 70 litros; tuberías y complementos; parihuelas de madera para soporte de los sistemas. Luego de construir la estructura se procedió a colocar el sustrato compuesto por grava, arena y suelo orgánico; después se sembraron las plantas, para el humedal 1 (9 unidades de

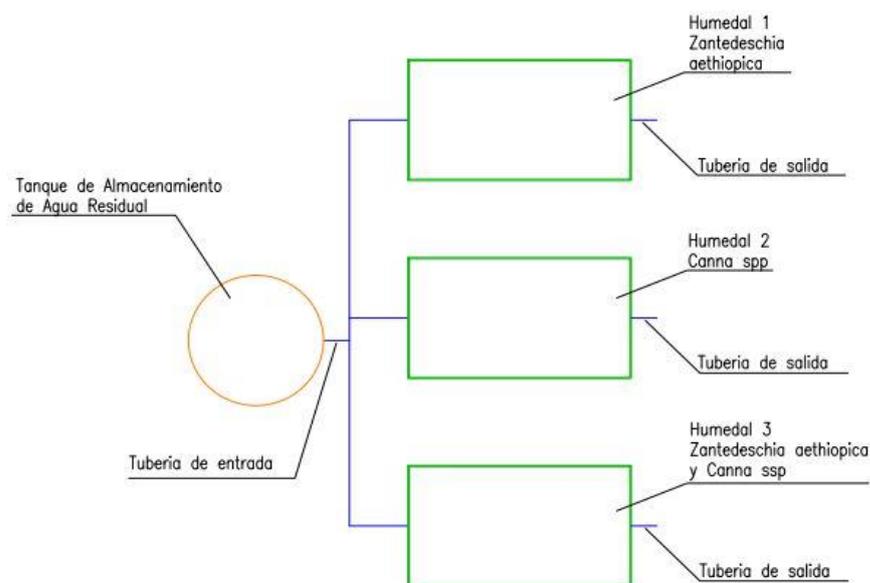
*Zantedeschia aethiopica*), humedal 2 (9 unidades de *Canna spp*) y en el humedal 3 (6 unidades de *Zantedeschia aethiopica* y 6 de *Canna spp*). La cantidad de plantas fue considerada teniendo en cuenta el espacio necesario para cada especie.

Figura 09: Diseño general del sistema de humedales



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Vista planta del sistema de humedales



Fuente: Elaboración propia

#### **4° Adaptación de plantas:**

El tiempo de adaptación de las plantas fue: durante un mes (18 Noviembre – 18 Diciembre) con la adición de un litro de agua en condiciones de riego por día, luego se realizó la adaptación con agua residual doméstica durante un mes y medio aproximadamente. Se identificó que en el humedal 1 se encontraron 27 plantas de *Zantedeschia aethiopica*, en el Humedal 2 se encontró 6 plantas de *Canna spp* y en el humedal 3 se encontró un total de 18 plantas, 12 de *Zantedeschia aethiopica* y 6 de *Canna spp*; con respecto a las cantidades iniciales de siembra.

#### **5° Tratamiento de las aguas residuales domésticas:**

Después de la adaptación de las plantas se procedió a abastecer con 22 litros cada sistema de humedal, a un caudal de 0,022 m<sup>3</sup>/día, al ingresar el agua residual al sustrato origina que tanto este como las plantas favorezcan al tratamiento para la remover materia orgánica. Este proceso tuvo un tiempo de retención de 1 día, es decir el agua residual que ingresó tardó 24 horas para ser tratada, para la recepción del agua a la salida de cada sistema se colocaron 3 tinajas dentro de las cuales se procedió a tomar las muestras. Se consideró 4 días de tratamiento debido a que el tiempo de retención hidráulico es de 24 horas en cada sistema.

#### **6° Muestreo del agua residual tratada:**

Para este estudio se consideró los parámetros de turbiedad, sólidos disueltos totales, conductividad, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno; de los cuales los cinco primeros fueron realizados por las autoras, esto debido a la facilidad del uso del laboratorio de la municipalidad distrital de Los Baños del Inca y los tres restantes fueron analizados en el Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca, ya que en el laboratorio mencionado anteriormente no se contó con los reactivos para dichos análisis. El muestreo se realizó teniendo en cuenta el Manual de recolección de muestras y las indicaciones dadas por los encargados del laboratorio, para lo cual se utilizó frascos de muestreo y reactivos para preservar la muestra de la demanda química de oxígeno. Se recolectó 4 frascos con agua residual tratada por sistema, cada 24 horas una vez iniciado el tratamiento durante 4 días.

#### **7° Análisis de los parámetros considerados:**

Los parámetros de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno fueron analizados en el Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca. Los parámetros de turbiedad, sólidos disueltos totales, conductividad, pH y temperatura fueron analizados en el laboratorio de Los Baños del Inca, para lo cual se utilizó turbidímetro, equipo multiparámetro y medidor de pH.

#### **8° Obtención de resultados:**

Los informes de los resultados de las muestras del laboratorio fueron entregados a los 20 días de su recepción, mientras que los resultados de los demás parámetros fueron verificados el mismo día.

#### **9° Recopilación de datos en el programa SPSS:**

Una vez que se tuvo todos los resultados de los parámetros, se procedió a almacenarlos en el programa estadístico a utilizar que en este caso fue el IBM SPSS Statistics. Los análisis realizados fueron de estadísticos descriptivos, correlaciones y análisis de varianza (ANOVA).

#### **10° Procesamiento de datos:**

El procesamiento de resultados se realizó con la ayuda del programa IBM SPSS Statistics.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Luego de realizar el tratamiento de las aguas residuales domésticas con los tres sistemas de humedales (humedal 1: *Zantedeschia aethiopica*; humedal 2: *Canna spp*; humedal 3: *Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp*) de flujo sub superficial y el posterior análisis de los parámetros (turbiedad, sólidos disueltos totales, conductividad, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno), se obtuvieron los siguientes resultados:

### 4.1. Resultados de los parámetros de la investigación

La siguiente tabla muestra los datos de los resultados de todos los parámetros en cada sistema, los cuales están descritos por el parámetro analizado, tipo de humedal y el tiempo de retención; teniendo en cuenta las unidades y abreviaturas determinadas:

Tabla 09: Características de los parámetros

| Parámetro                     | Abreviatura      | Unidad               |
|-------------------------------|------------------|----------------------|
| Turbiedad                     | -                | NTU                  |
| Sólidos disueltos totales     | TDS              | mg/L                 |
| Conductividad                 | -                | μS/cm                |
| pH                            | -                | -                    |
| Temperatura                   | T°               | °C                   |
| Sólidos suspendidos totales   | SST              | mg/L                 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | DBO <sub>5</sub> | mg O <sub>2</sub> /L |
| Demanda química de oxígeno    | DQO              | mg O <sub>2</sub> /L |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Resultados de los parámetros

| Parámetros  | Concentración<br>Inicial | Humedal 1           |         |         |        | Humedal 2           |         |         |        | Humedal 3           |         |         |        |
|---|--------------------------|---------------------|---------|---------|--------|---------------------|---------|---------|--------|---------------------|---------|---------|--------|
|   |                          | Tiempo de retención |         |         |        | Tiempo de retención |         |         |        | Tiempo de retención |         |         |        |
|   |                          | 24 h                | 48 h    | 72 h    | 96 h   | 24 h                | 48 h    | 72 h    | 96 h   | 24 h                | 48 h    | 72 h    | 96 h   |
| Turbiedad<br>(NTU)                                      | 82,30                    | 24,00               | 30,60   | 7,29    | 6,85   | 30,80               | 29,30   | 18,10   | 19,90  | 47,60               | 8,30    | 10,70   | 5,16   |
| Sólidos Totales Disueltos<br>(mg/L)                     | 1032,00                  | 1077,00             | 961,00  | 763,00  | 520,00 | 889,00              | 1187,00 | 711,00  | 525,00 | 1108,00             | 1009,00 | 713,00  | 450,00 |
| Conductividad<br>( $\mu$ S/cm)                          | 1973,00                  | 1370,00             | 1475,00 | 1174,00 | 795,00 | 1687,00             | 1828,00 | 1098,00 | 811,00 | 1410,00             | 1552,00 | 1099,00 | 684,00 |
| Ph  | 7,40                     | 7,24                | 7,33    | 8,19    | 7,67   | 7,19                | 7,17    | 7,94    | 7,84   | 7,23                | 7,58    | 7,89    | 8,06   |
| Temperatura<br>(°C)                                     | 17,90                    | 20,70               | 17,30   | 14,90   | 18,00  | 20,60               | 17,30   | 15,50   | 16,90  | 20,70               | 17,60   | 15,70   | 18,10  |
| Sólidos Suspendedos<br>Totales (mg/L)                   | 37,80                    | 10,10               | 13,00   | 9,30    | 6,20   | 2,90                | 6,10    | 6,90    | 9,40   | 3,00                | 8,00    | 7,90    | 4,00   |
| Demanda Bioquímica de<br>Oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L) | 250,50                   | 9,60                | 38,10   | 50,10   | 12,80  | 6,10                | 15,80   | 26,40   | 17,50  | 5,90                | 20,70   | 27,20   | 17,00  |
| Demanda Química de<br>Oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)    | 357,90                   | 60,40               | 74,70   | 101,40  | 44,10  | 32,20               | 45,70   | 63,00   | 37,50  | 9,30                | 69,10   | 68,60   | 42,30  |

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Comparación de parámetros en los humedales con el tiempo de retención

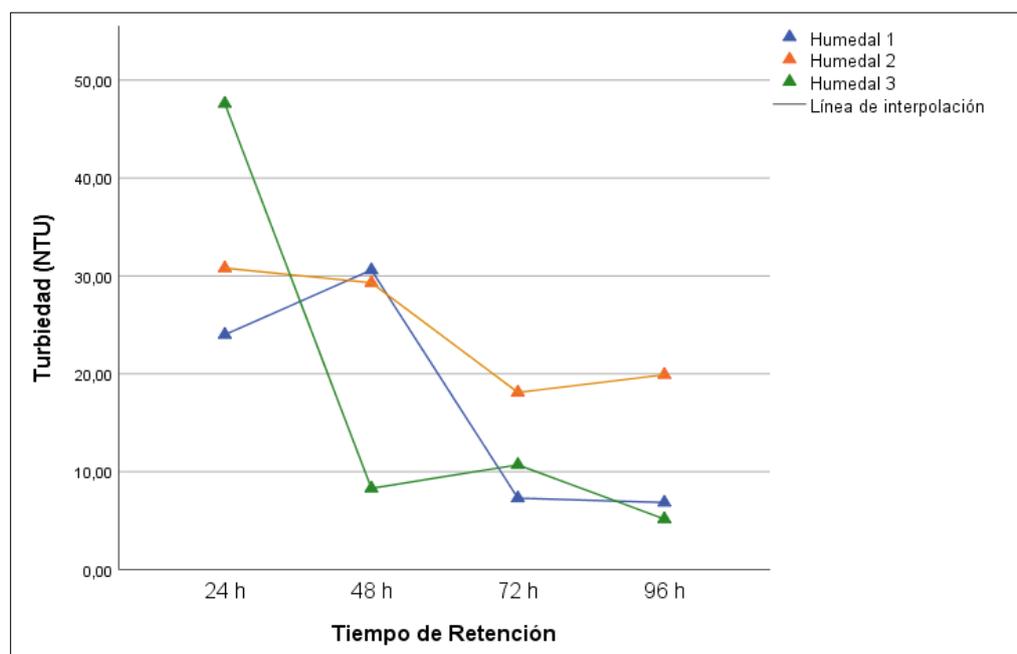
### 4.2.1. Variación de turbiedad

Tabla 11: Resultados de turbiedad en los sistemas

| Tiempo de Retención |  | Turbiedad Humedal 1 (NTU) | Turbiedad Humedal 2 (NTU) | Turbiedad Humedal 3 (NTU) |
|---------------------|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                     |  | 24 h                      | 24,00                     | 30,80                     |
| 48 h                |  | 30,60                     | 29,30                     | 8,30                      |
| 72 h                |  | 7,29                      | 18,10                     | 10,70                     |
| 96 h                |  | 6,85                      | 19,90                     | 5,16                      |

Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Variación de turbiedad con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se observa que los niveles de turbiedad con respecto al tiempo de retención son de forma descendente, de manera que en el humedal 1 se tiene un valor de 24 NTU a las 24 horas, sin embargo transcurridas las 96 horas el valor disminuye a 6,85 NTU. Lo mismo sucede en el humedal 2 que empieza con 30,8 NTU y a las 96 horas termina disminuyendo a 19,9 NTU. Mientras que en el humedal 3 el valor a las 24 horas es de 47,60 NTU y a las 96 horas con 5,16 NTU. Con esto podemos decir que el tratamiento para el parámetro de turbiedad es óptimo en relación al tiempo que se especificó.

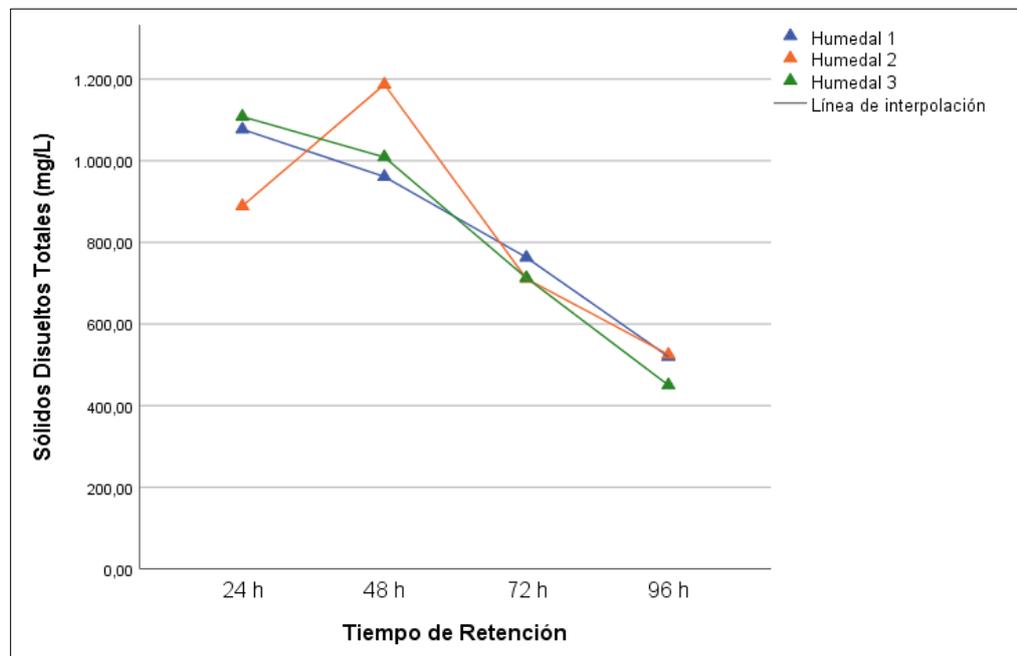
#### 4.2.2. Variación de sólidos disueltos totales

Tabla 12: Resultados de sólidos disueltos totales en los sistemas

| Tiempo de Retención | TDS (mg/L)       |                  |                  |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|
|                     | Humedal 1 (mg/L) | Humedal 2 (mg/L) | Humedal 3 (mg/L) |
| 24 h                | 1077             | 889              | 1108             |
| 48 h                | 961              | 1187             | 1009             |
| 72 h                | 763              | 711              | 713              |
| 96 h                | 520              | 525              | 450              |

Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Variación de sólidos disueltos totales con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 se muestra el comportamiento de los sólidos disueltos totales evaluado en diferentes tiempos de retención, que va desde 24 hasta las 96 horas. Siendo 1077 mg/L el máximo valor presentado en el humedal 1 a las 24 horas y el mínimo valor de 520 mg/L presentado en las 96 horas. Mientras tanto en el humedal 2 se tiene un valor máximo a las 48 horas siendo de 1187 mg/L y un valor mínimo de 525 mg/L a las 96 horas, para el humedal 3 se tienen los valores de 1108 mg/L como máximo a las 24 horas y 450 mg/L como mínimo a las 96 horas.

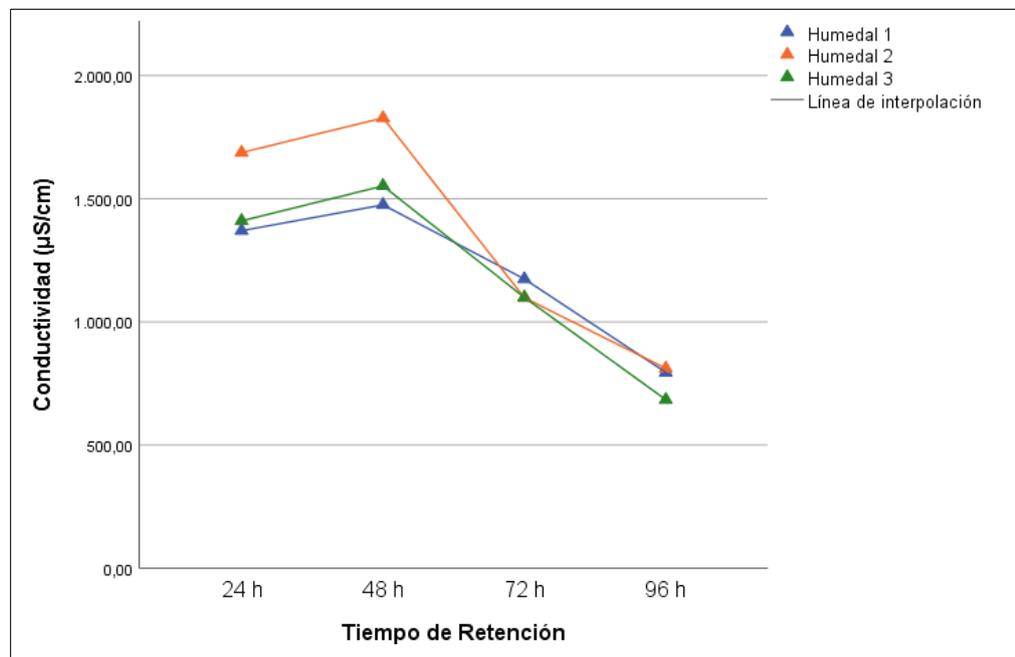
#### 4.2.3. Variación de conductividad

Tabla 13: Resultados de conductividad en los sistemas

|                     |      | Conductividad Humedal 1 (μS/cm) | Conductividad Humedal 2 (μS/cm) | Conductividad Humedal 3 (μS/cm) |
|---------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tiempo de Retención | 24 h | 1370                            | 1687                            | 1410                            |
|                     | 48 h | 1475                            | 1828                            | 1552                            |
|                     | 72 h | 1174                            | 1098                            | 1099                            |
|                     | 96 h | 795                             | 811                             | 684                             |

Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Variación de conductividad con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se muestra el comportamiento de la conductividad evaluado en diferentes tiempos de retención, que va desde 24 hasta las 96 horas. Siendo 1475 μS/cm el máximo valor presentado en el humedal 1 a las 48 horas y el mínimo valor de 795 μS/cm presentado en las 96 horas. Mientras tanto en el humedal 2 se tiene un valor máximo a las 48 horas siendo de 1828 μS/cm y un valor mínimo de 811 μS/cm a las 96 horas y para el humedal 3 se tiene los valores de 1552 μS/cm como máximo a 48 horas y 684 μS/cm como mínimo a las 96 horas.

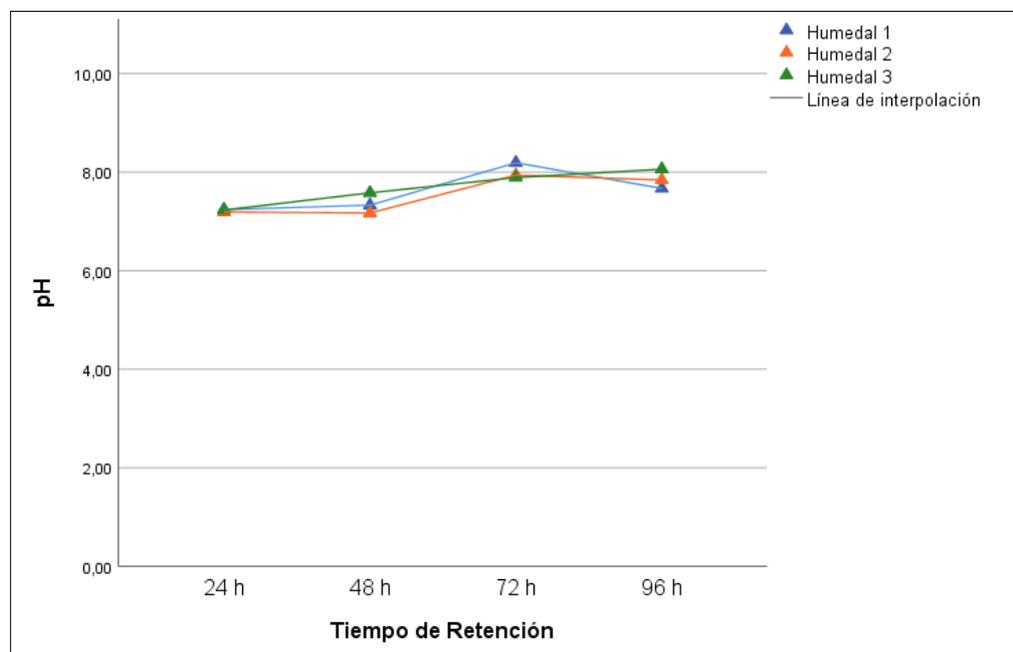
#### 4.2.4. Variación del pH

Tabla 14: Resultados del pH en los sistemas

| Tiempo de Retención |      | pH        | pH        | pH        |
|---------------------|------|-----------|-----------|-----------|
|                     |      | Humedal 1 | Humedal 2 | Humedal 3 |
| Tiempo de Retención | 24 h | 7,24      | 7,19      | 7,23      |
|                     | 48 h | 7,33      | 7,17      | 7,58      |
|                     | 72 h | 8,19      | 7,94      | 7,89      |
|                     | 96 h | 7,67      | 7,84      | 8,06      |

Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Variación del pH con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se muestra la variación del pH evaluado en diferentes tiempos de retención, que va desde 24 hasta las 96 horas, esta variación se da entre 7 y 8 en los tres sistemas de humedales, existiendo un aumento en los valores con respecto al tiempo. Se supone que el aumento del pH se debe al tipo de sustrato utilizado, a la actividad microbiana y a la materia orgánica degradada.

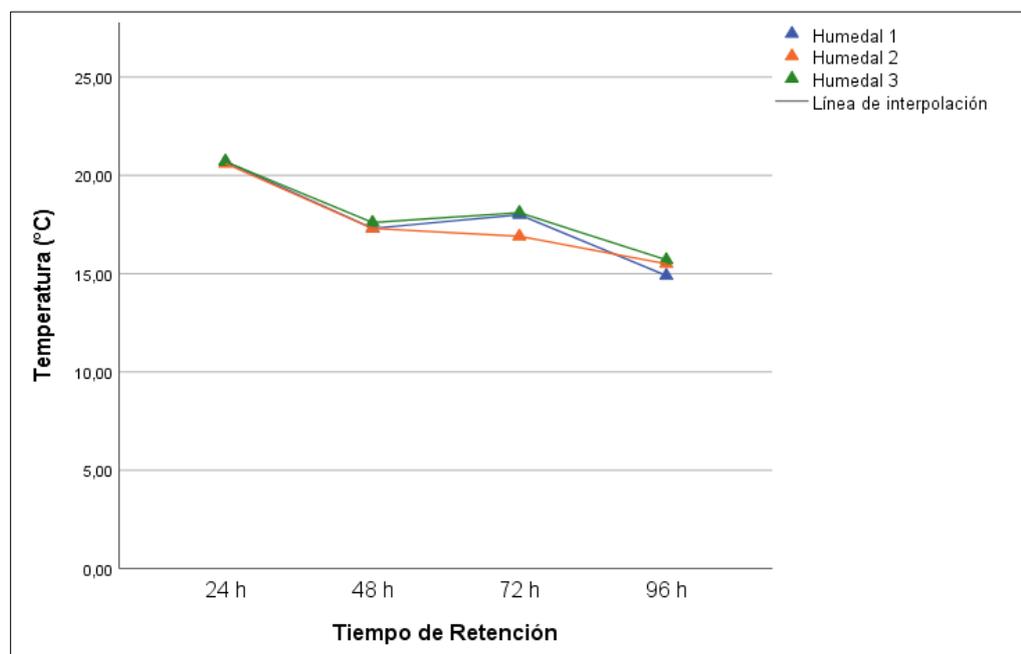
#### 4.2.5. Variación de temperatura

Tabla 15: Resultados de temperatura en los sistemas

| Tiempo de Retención |      | Temperatura Humedal 1 | Temperatura Humedal 2 | Temperatura Humedal 1 |
|---------------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                     |      | (°C)                  | (°C)                  | (°C)                  |
|                     | 24 h | 20,70                 | 20,60                 | 20,70                 |
|                     | 48 h | 17,30                 | 17,30                 | 17,60                 |
|                     | 72 h | 18,00                 | 16,90                 | 18,10                 |
|                     | 96 h | 14,90                 | 15,50                 | 15,70                 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Variación de la temperatura con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se muestra el comportamiento de la temperatura evaluado en diferentes tiempos de retención, que va desde 24 hasta las 96 horas. Siendo los valores similares en los tres sistemas de humedales con un rango de 17 hasta 20 °C, sin embargo existe una variación de la temperatura en el humedal 1 donde disminuye hasta 14,9 °C. La temperatura tiende a variar dependiendo a diversos factores como el tiempo y la actividad microbiana.

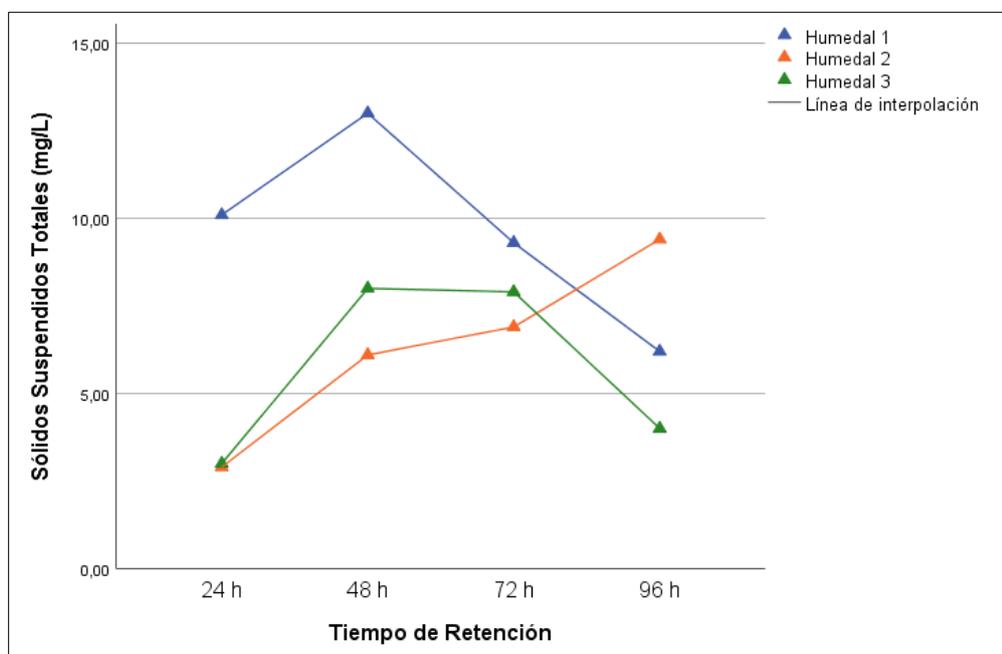
#### 4.2.6. Variación de sólidos suspendidos totales

Tabla 16: Resultados de sólidos suspendidos totales en los sistemas

| Tiempo de Retención |      | SST              | SST              | SST              |
|---------------------|------|------------------|------------------|------------------|
|                     |      | Humedal 1 (mg/L) | Humedal 2 (mg/L) | Humedal 3 (mg/L) |
|                     | 24 h | 10,10            | 2,90             | 3,00             |
|                     | 48 h | 13,00            | 6,10             | 8,00             |
|                     | 72 h | 9,30             | 6,90             | 7,90             |
|                     | 96 h | 6,20             | 9,40             | 4,00             |

Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Variación de sólidos suspendidos totales con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se muestra el comportamiento de los sólidos suspendidos totales evaluados en diferentes tiempos de retención, que va desde 24 hasta las 96 horas. Siendo 13 mg/L el máximo valor presentado en el humedal 1 a las 48 horas y el mínimo valor de 6,20 mg/L presentado en las 96 horas. Mientras tanto en el humedal 2 se tiene un valor máximo a las 96 horas siendo de 9,4 mg/L y un valor mínimo de 3 a las 24 horas y para el humedal 3 se tiene los valores de 8 mg/L como máximo a las 48 horas y de 3 mg/L como mínimo a las 24 horas.

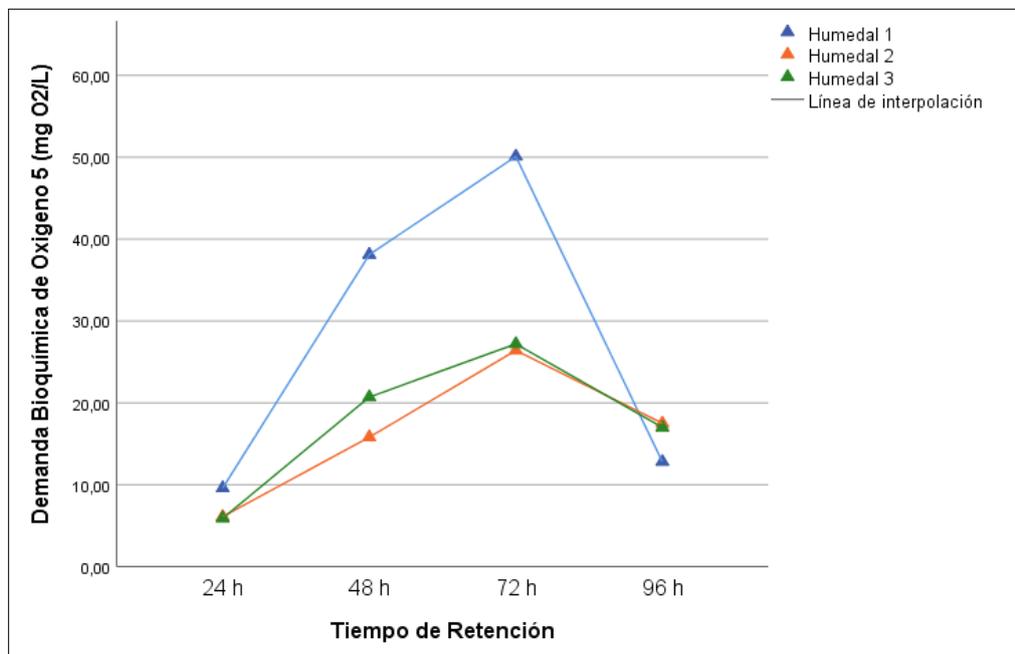
#### 4.2.7. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 17: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno en los sistemas

| Tiempo de Retención |      | DBO                                 | DBO                                 | DBO                                 |
|---------------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                     |      | Humedal 1<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | Humedal 2<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | Humedal 3<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
| Tiempo de Retención | 24 h | 9,60                                | 6,10                                | 5,90                                |
|                     | 48 h | 38,10                               | 15,80                               | 20,70                               |
|                     | 72 h | 50,10                               | 26,40                               | 27,20                               |
|                     | 96 h | 12,80                               | 17,50                               | 17,00                               |

Fuente: Elaboración propia

Figura 17: Variación de la demanda bioquímica de oxígeno con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se muestra el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno evaluados en diferentes tiempos de retención, que va desde 24 hasta las 96 horas. Siendo 50,1 mgO<sub>2</sub>/L el máximo valor presentado en el humedal 1 a las 72 horas y el mínimo valor de 9,6 mgO<sub>2</sub>/L presentado en las 24 horas. Mientras tanto en el humedal 2 se tiene un valor máximo a las 48 horas siendo de 26,4 mgO<sub>2</sub>/L y un valor mínimo de 6,10 mgO<sub>2</sub>/L a las 24 horas y para el humedal 3 se tiene los valores de 27,2 mgO<sub>2</sub>/L como máximo a las 72 horas y 5,9 mgO<sub>2</sub>/L como mínimo a las 24 horas.

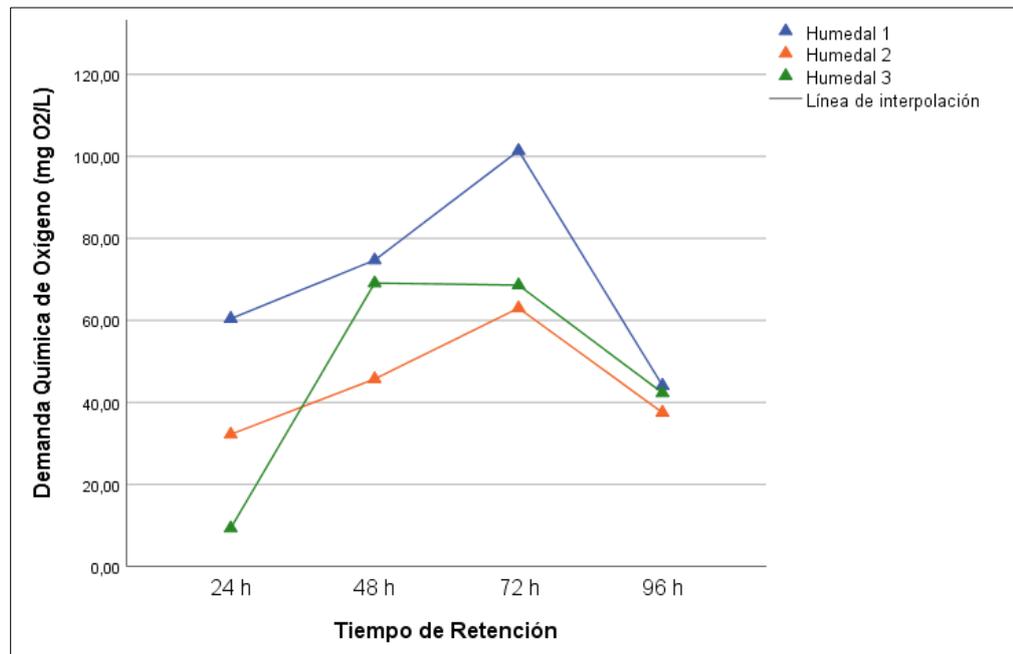
#### 4.2.8. Variación de la demanda química de oxígeno

Tabla 18: Resultados de la demanda química de oxígeno en los sistemas

| Tiempo de Retención | DQO                                 |                                     |                                     |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                     | Humedal 1<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | Humedal 2<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | Humedal 3<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
| 24 h                | 60,40                               | 32,20                               | 9,30                                |
| 48 h                | 74,70                               | 45,70                               | 69,10                               |
| 72 h                | 101,40                              | 63,00                               | 68,60                               |
| 96 h                | 44,10                               | 37,50                               | 42,30                               |

Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Variación de la demanda química de oxígeno con respecto al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se muestra el comportamiento de la demanda química de oxígeno evaluado en diferentes tiempos de retención, que va desde 24 hasta 96 horas. Se percibe que para los tres sistemas de humedales hay un incremento en las horas de 48 y 72. En el humedal 1 se tiene un valor máximo de 101,40 mgO<sub>2</sub>/L dado en las 72 horas y un valor mínimo a las 96 horas de 44,1 mgO<sub>2</sub>/L; mientras que en humedal 2 se tiene un valor máximo de 63 mgO<sub>2</sub>/L a las 72 horas y el mínimo de 32,2 mgO<sub>2</sub>/L a las 24 horas; para el humedal 3 se tiene un valor máximo de 69,3 mgO<sub>2</sub>/L a las 48 horas y un valor mínimo de 9,3 mgO<sub>2</sub>/L a las 24 horas.

### 4.3. Eficiencia de remoción en los humedales con la variación de plantas

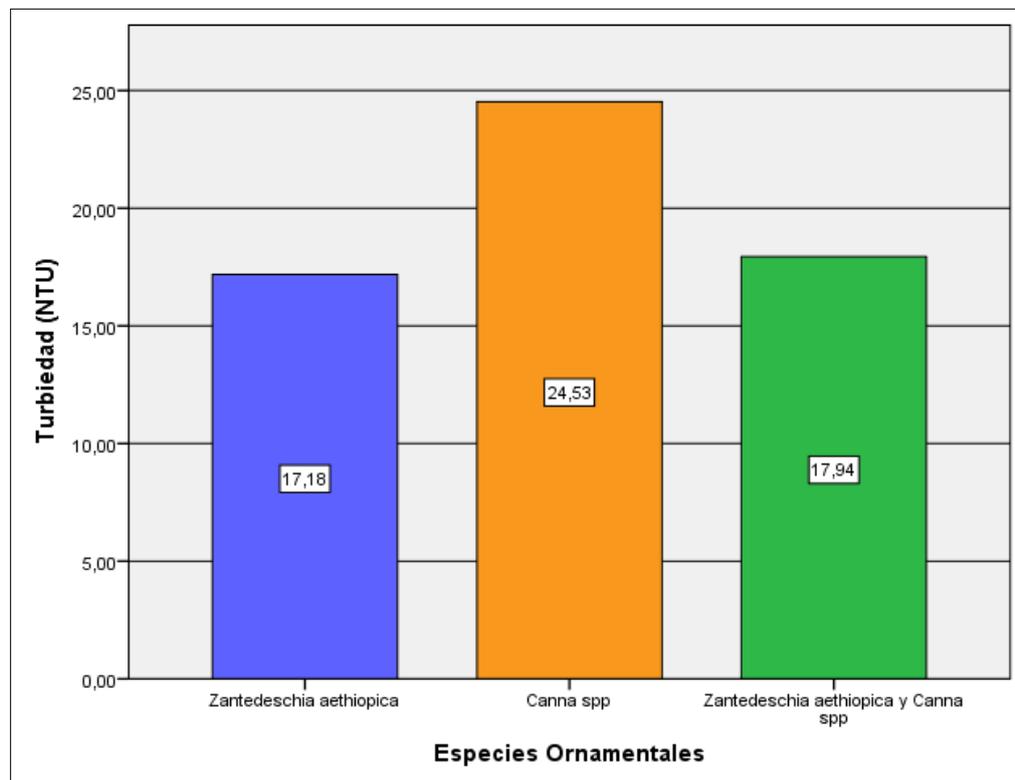
#### 4.3.1. Variación de turbiedad

Tabla 19: Resultados de turbiedad y variación de plantas en los sistemas

| Especies Ornamentales                      |  |           | Turbiedad NTU |
|--|--|-----------|---------------|
| <i>Zantedeschia aethiopica</i>             |  | Humedal 1 | 17,18         |
| <i>Canna spp</i>                           |  | Humedal 2 | 24,53         |
| <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> |  | Humedal 3 | 17,94         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Turbiedad y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 17,18 NTU; 24,53 NTU para el humedal 2 y 17,94 NTU en el humedal 3. Con esto se puede determinar que la turbiedad promedio en el humedal 1 que tuvo la especie de *Zantedeschia aethiopica* es la mejor, después de haber realizado el tratamiento.

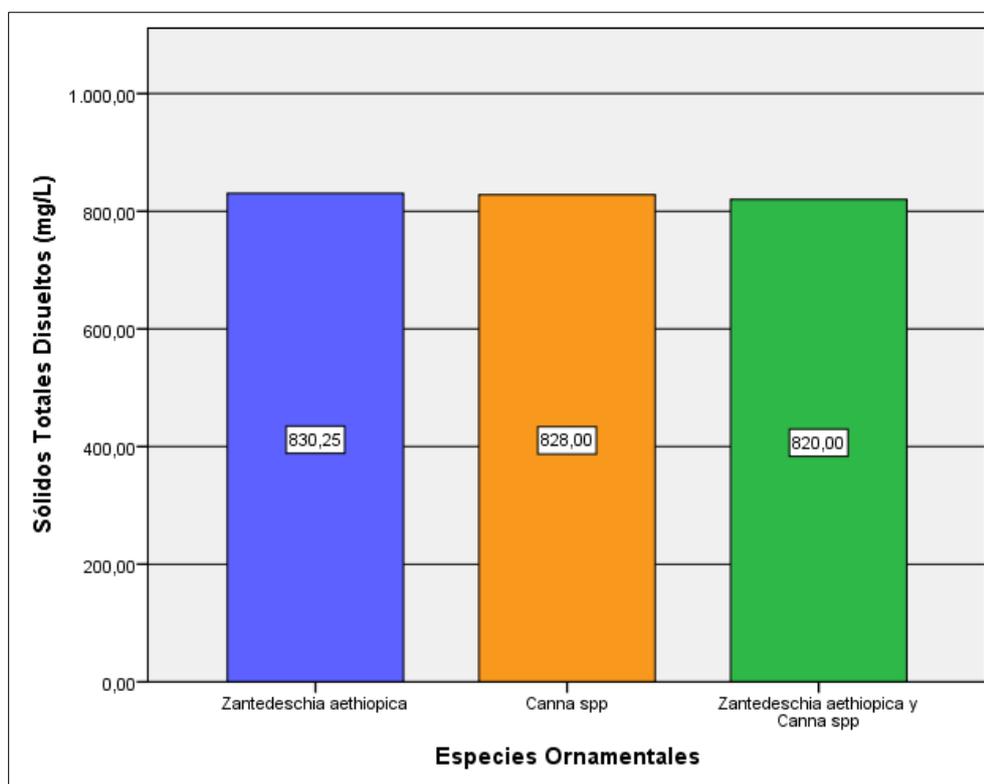
#### 4.3.2. Variación de sólidos disueltos totales

Tabla 20: Resultados de sólidos disueltos totales y variación de plantas en los sistemas

|                       |  |           | TDS<br>mg/L |
|-----------------------|--|-----------|-------------|
| Especies Ornamentales | <i>Zantedeschia aethiopica</i>             | Humedal 1 | 830,25      |
|                       | <i>Canna spp</i>                           | Humedal 2 | 828,00      |
|                       | <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> | Humedal 3 | 820,00      |

Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Sólidos disueltos totales y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 830,25 mg/L, 828 mg/L para el humedal 2 y 820 mg/L en el humedal 3. Con esto se puede determinar que los sólidos totales disueltos promedio en el humedal 3 que tuvo ambas especies indican una mejor calidad del agua tratada.

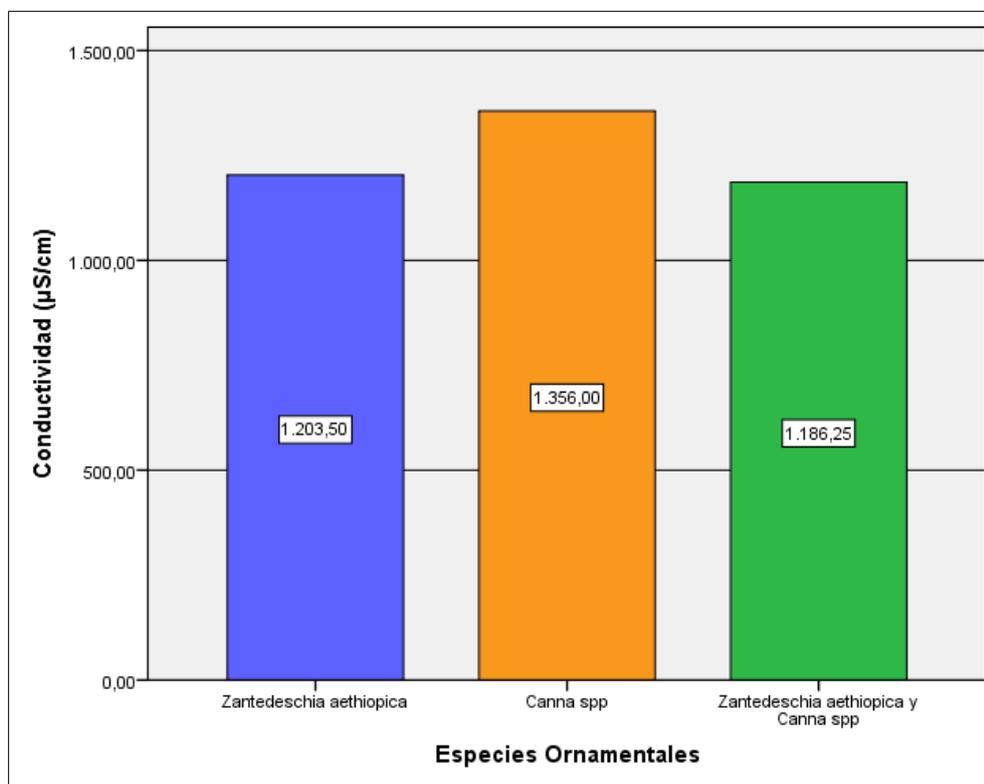
### 4.3.3. Variación de conductividad

Tabla 21: Resultados de conductividad y variación de plantas en los sistemas

|                       |  |           | Conductividad<br>$\mu\text{S/cm}$ |
|-----------------------|--|-----------|-----------------------------------|
| Especies Ornamentales | <i>Zantedeschia aethiopica</i>             | Humedal 1 | 1203,50                           |
|                       | <i>Canna spp</i>                           | Humedal 2 | 1356,00                           |
|                       | <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> | Humedal 3 | 1186,25                           |

Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Conductividad y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 1203,50  $\mu\text{S/cm}$ , 1356  $\mu\text{S/cm}$  para el humedal 2 y 1186,25  $\mu\text{S/cm}$  en el humedal 3. Con esto se puede determinar que la conductividad promedio en el humedal 3 que tuvo ambas especies indica una mejor calidad del agua tratada.

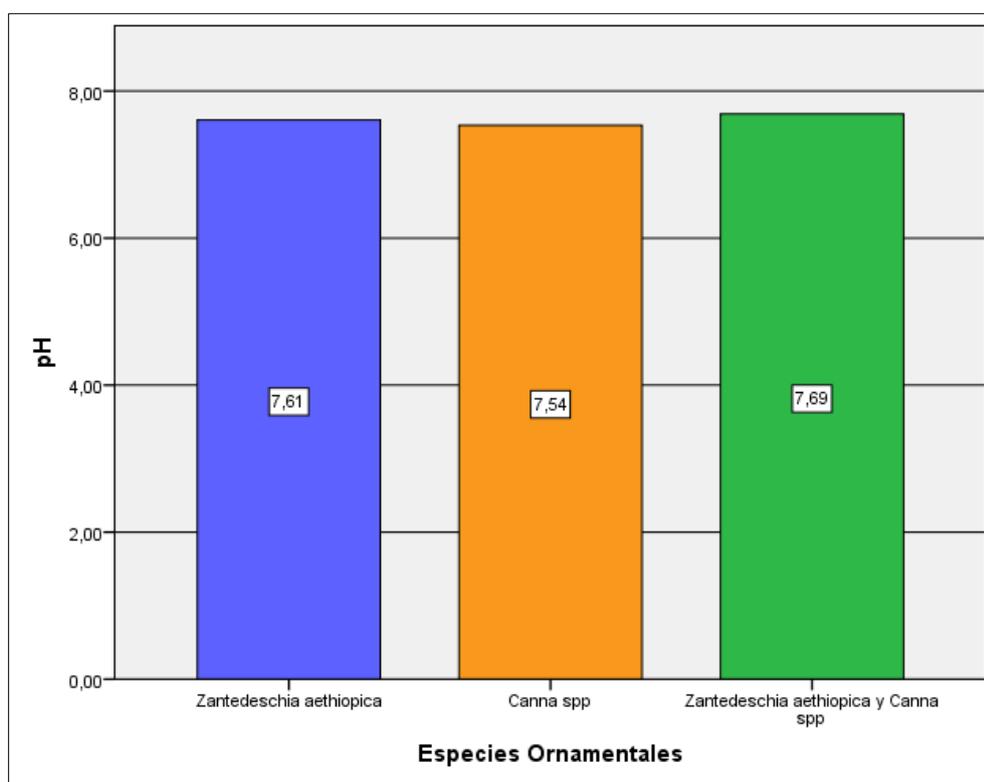
#### 4.3.4. Variación de pH

Tabla 22: Resultados de pH y variación de plantas en los sistemas

|                       |  |           | pH   |
|-----------------------|--|-----------|------|
| Especies Ornamentales | <i>Zantedeschia aethiopica</i>             | Humedal 1 | 7,61 |
|                       | <i>Canna spp</i>                           | Humedal 2 | 7,54 |
|                       | <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> | Humedal 3 | 7,69 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 22: pH y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 7,61; 7,54 para el humedal 2 y 7,89 en el humedal 3. Con esto se puede determinar que el pH promedio en los tres humedales se encuentra en un valor aceptable.

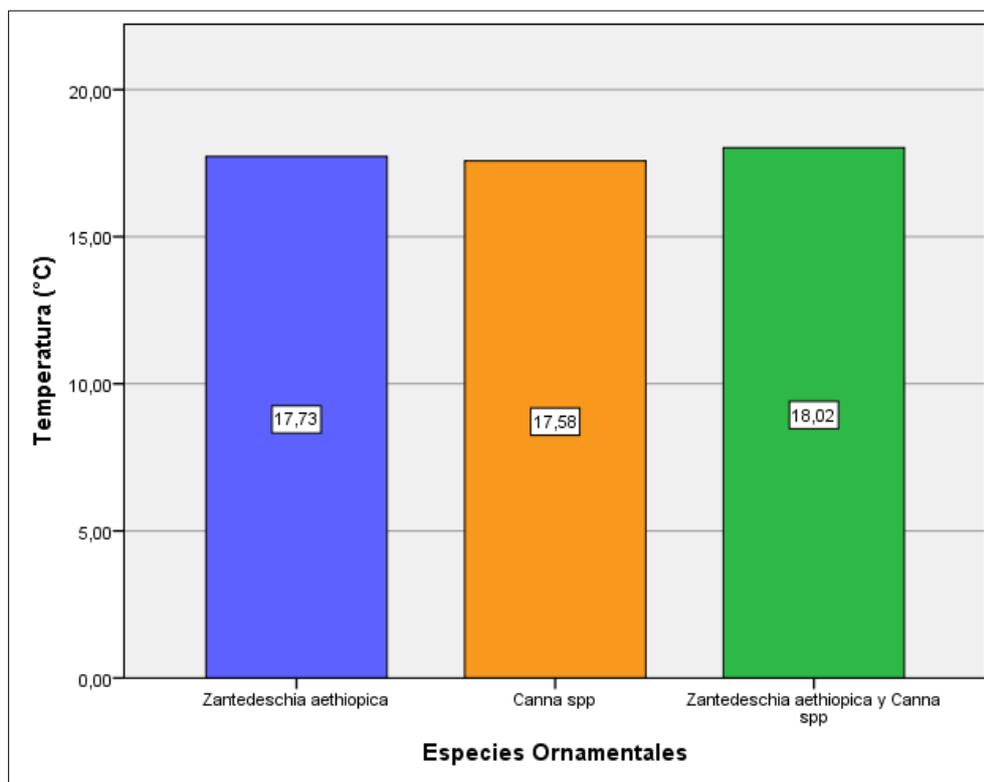
#### 4.3.5. Variación de temperatura

Tabla 23: Resultados de temperatura y variación de plantas en los sistemas

|                       |  |           | Temperatura<br>°C |
|-----------------------|--|-----------|-------------------|
| Especies Ornamentales | <i>Zantedeschia aethiopica</i>             | Humedal 1 | 17,73             |
|                       | <i>Canna spp</i>                           | Humedal 2 | 17,58             |
|                       | <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> | Humedal 3 | 18,02             |

Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Temperatura y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 17,73 °C; 17,58 °C para el humedal 2 y 18,02 °C en el humedal 3. Con esto se puede determinar que la temperatura promedio en los tres humedales se encuentra un valor aceptable.

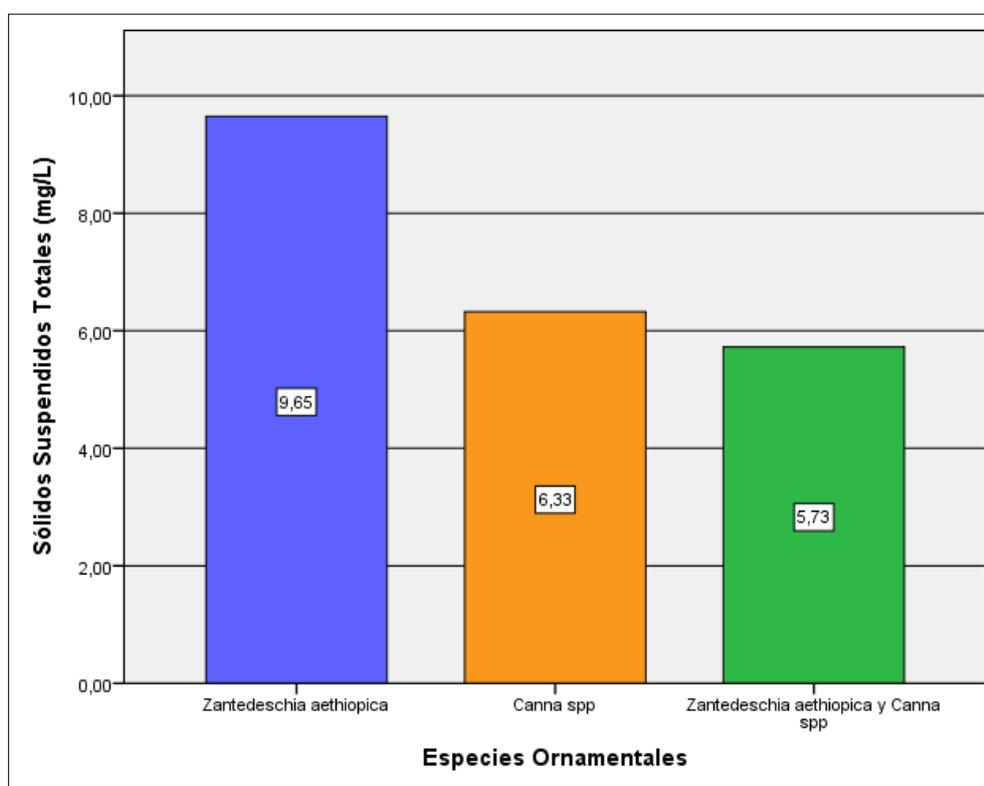
#### 4.3.6. Variación de sólidos suspendidos totales

Tabla 24: Resultados de sólidos suspendidos totales y variación de plantas en los sistemas SST mg/L

|                       |  |           |      |
|-----------------------|--|-----------|------|
| Especies Ornamentales | <i>Zantedeschia aethiopica</i>             | Humedal 1 | 9,65 |
|                       | <i>Canna spp</i>                           | Humedal 2 | 6,33 |
|                       | <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> | Humedal 3 | 5,73 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Sólidos suspendidos totales y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 9,65 mg/L, 6,33 mg/L para el humedal 2 y 5,73 mg/L en el humedal 3. Con esto se puede determinar que el humedal 3 conformado por ambas especies, presenta mayor retención de sólidos suspendidos totales.

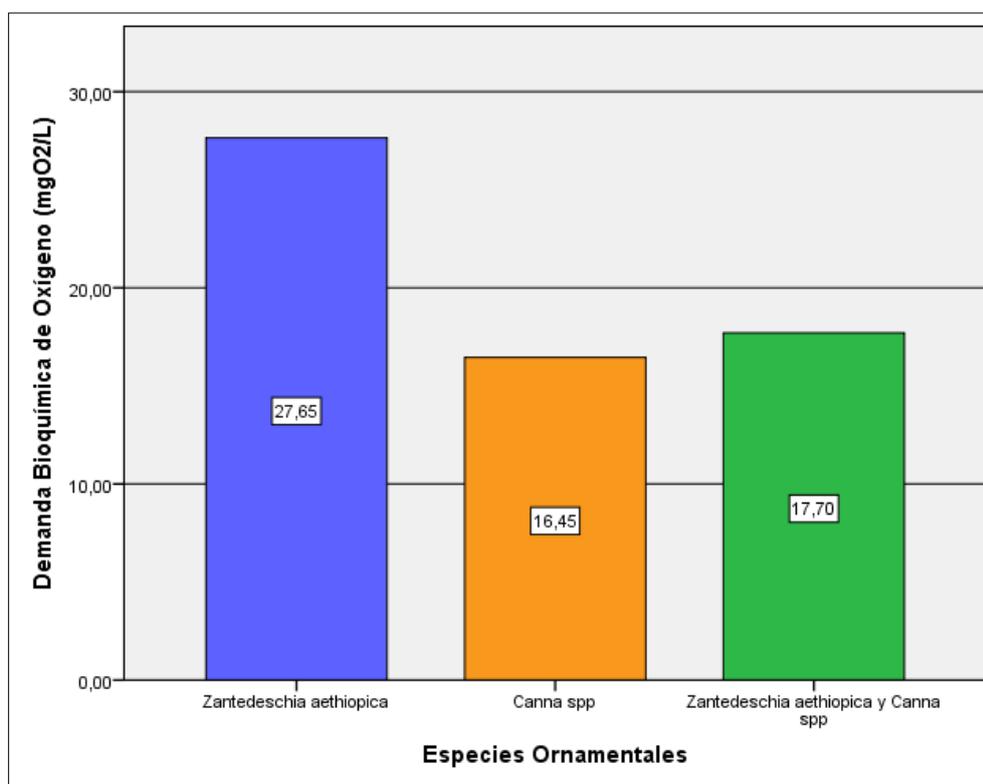
#### 4.3.7. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 25: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y variación de plantas en los sistemas

|                       |  |           | DBO<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
|-----------------------|--|-----------|-------------------------------|
| Especies Ornamentales | <i>Zantedeschia aethiopica</i>             | Humedal 1 | 27,65                         |
|                       | <i>Canna spp</i>                           | Humedal 2 | 16,45                         |
|                       | <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> | Humedal 3 | 17,70                         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Demanda bioquímica de oxígeno y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 25 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 27,65 mgO<sub>2</sub>/L, 16,45 mgO<sub>2</sub>/L para el humedal 2 y 17,70 mgO<sub>2</sub>/L en el humedal 3. Con esto se puede determinar que el humedal 1 que tuvo la especie de *Zantedeschia aethiopica*, presenta un mayor consumo de oxígeno para degradar la materia.

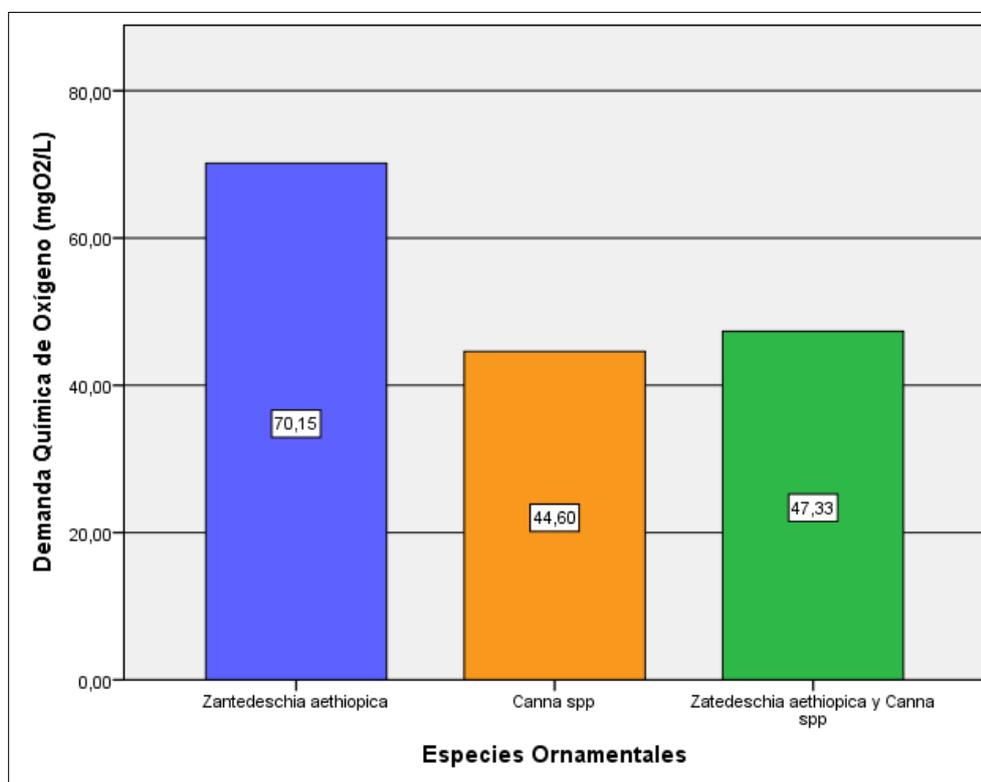
#### 4.3.8. Variación de la demanda química de oxígeno

Tabla 26: Resultados de la demanda química de oxígeno y variación de plantas en los sistemas

|                       |  |           | DQO<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
|-----------------------|--|-----------|-------------------------------|
| Especies Ornamentales | <i>Zantedeschia aethiopica</i>             | Humedal 1 | 70,15                         |
|                       | <i>Canna spp</i>                           | Humedal 2 | 44,60                         |
|                       | <i>Zantedeschia aethiopica y Canna spp</i> | Humedal 3 | 47,33                         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Demanda química de oxígeno y variación de plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se observa que en el humedal 1 se tiene un promedio de 70,15 mgO<sub>2</sub>/L, 44,60 mgO<sub>2</sub>/L para el humedal 2 y 47,33 mgO<sub>2</sub>/L en el humedal 3. En el humedal 3 que tiene ambas especies se presenta una mejor concentración, indicando la mejoría de la calidad del agua.

#### 4.4. Comparación de la concentración de parámetros inicial y final

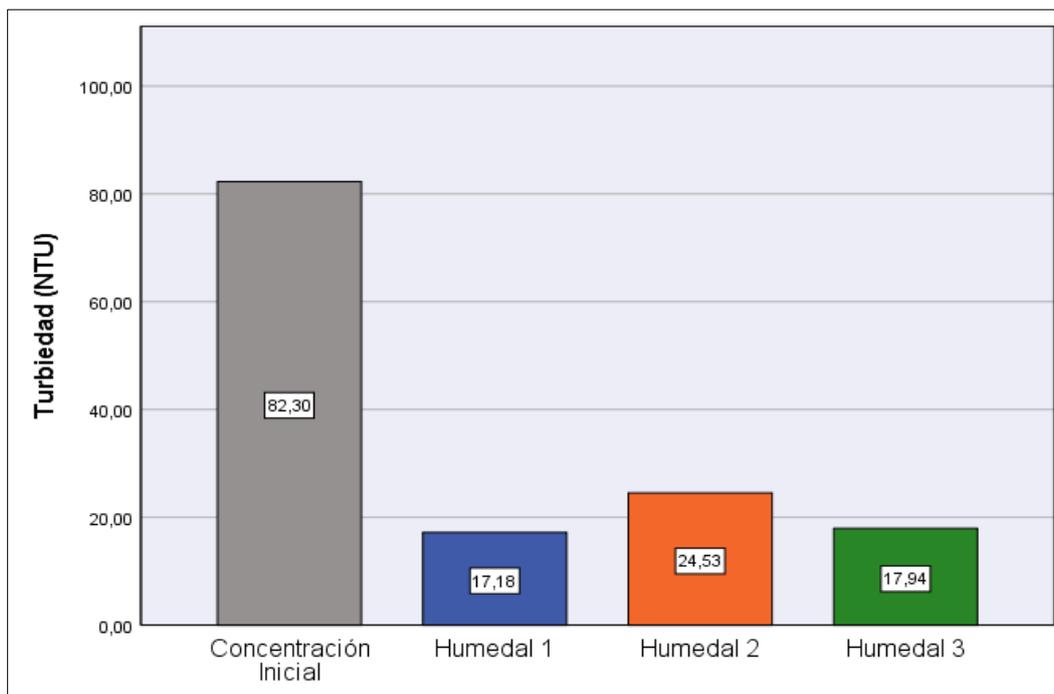
##### 4.4.1. Concentración inicial y final de turbiedad

Tabla 27: Resultados iniciales y finales de turbiedad

|                       | Media<br>Turbiedad<br>(NTU) |
|-----------------------|-----------------------------|
| Concentración Inicial | 82,30                       |
| Humedal 1             | 17,18                       |
| Humedal 2             | 24,53                       |
| Humedal 3             | 17,94                       |

Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Turbiedad antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se muestra el resultado de la concentración inicial de turbiedad que fue de 82,30 NTU siendo un valor alto con respecto al promedio de cada sistema de humedal utilizado; por lo que se describe que la variación de turbiedad del agua residual doméstica que ingresó a los sistemas y la turbiedad al salir de cada sistema es completamente significativa, siendo el promedio de los cuatro días en el humedal 1 de 17,18 NTU, siendo la concentración más baja encontrada.

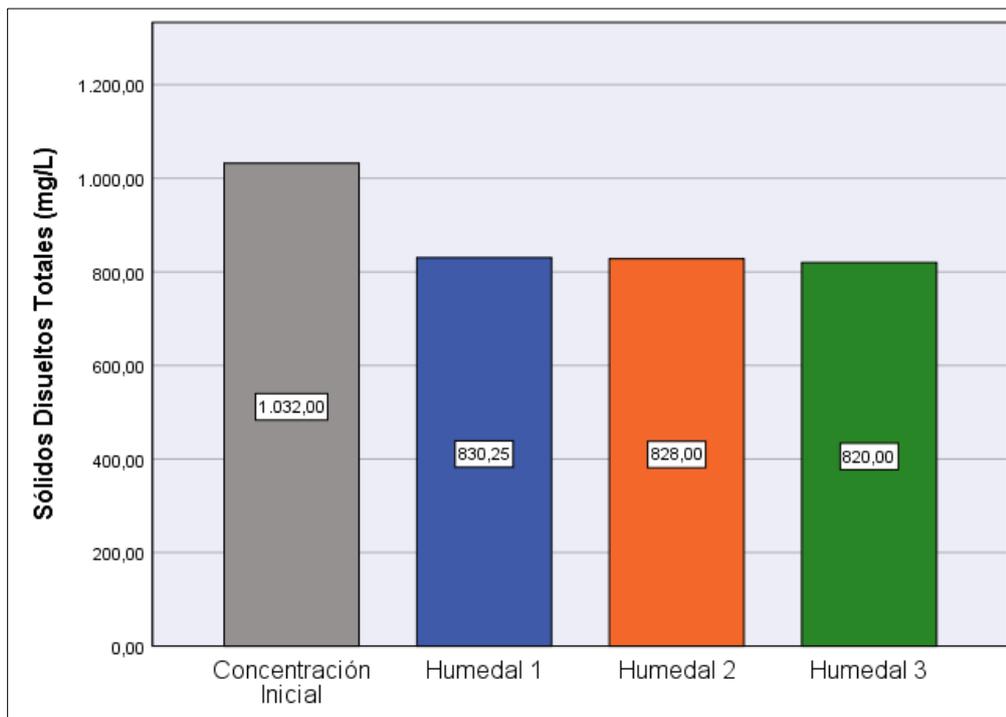
#### 4.4.2. Concentración inicial y final de sólidos disueltos totales

Tabla 28: Resultados iniciales y finales de sólidos disueltos totales

|                       | Media<br>TDS<br>(mg/L) |
|-----------------------|------------------------|
| Concentración Inicial | 1032,00                |
| Humedal 1             | 830,25                 |
| Humedal 2             | 828,00                 |
| Humedal 3             | 820,00                 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Sólidos disueltos totales antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 se muestra los resultados de la concentración inicial y los promedios de la concentración después de las 96 horas del tratamiento de los sólidos disueltos totales. Se tiene que la concentración inicial es de 1032 mg/L, y los resultados promedios del H1, H2 y H3 son de 830,25; 828; 820 respectivamente.

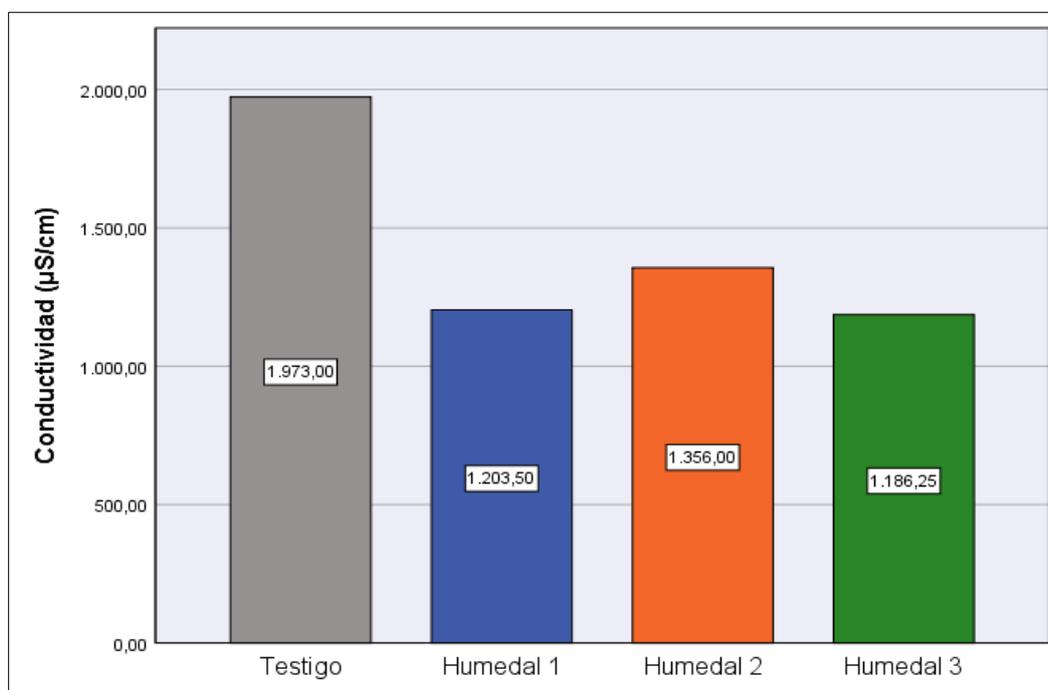
#### 4.4.3. Concentración inicial y final de conductividad

Tabla 29: Resultados iniciales y finales de conductividad

|                       | Media<br>Conductividad<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) |
|-----------------------|---|
| Concentración Inicial | 1973,00   |
| Humedal 1             | 1203,50   |
| Humedal 2             | 1356,00   |
| Humedal 3             | 1186,25   |

Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Conductividad antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se muestra el resultado de la concentración inicial de la conductividad que es 1973  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y los resultados promedios después del tratamiento que en el humedal 1 es de 1203,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; en el humedal 2 de 1356  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en el humedal 3 un valor mínimo de 1186,25  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Puesto que la conductividad es mejor en el Humedal 3 (sistema de tratamiento con *Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp*).

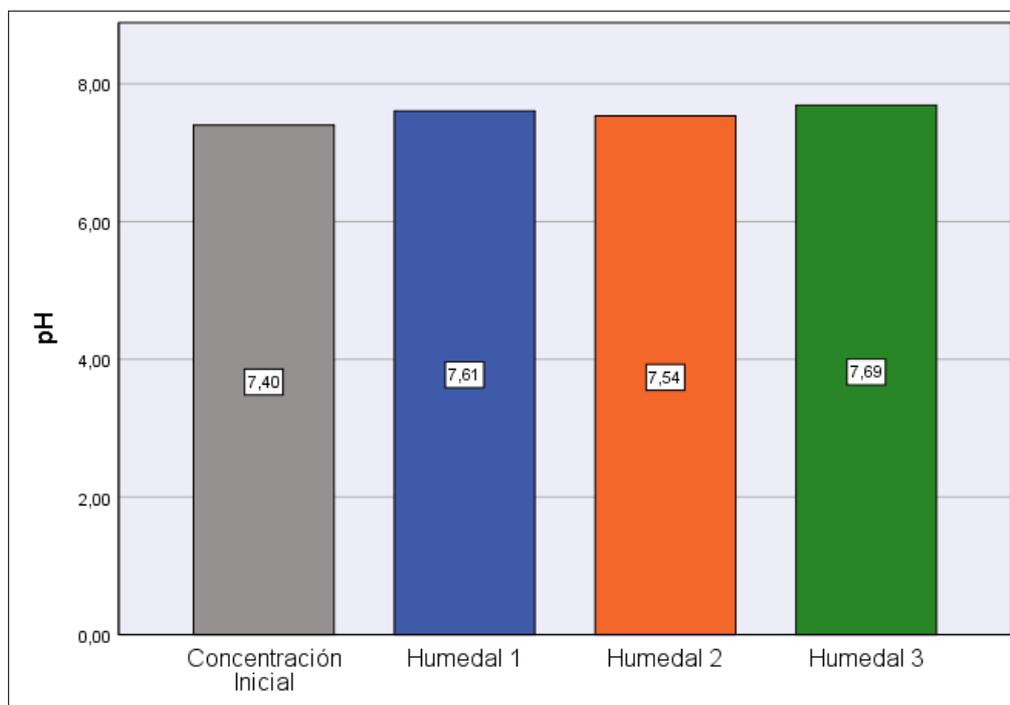
#### 4.4.4. Concentración inicial y final del pH

Tabla 30: Resultados iniciales y finales del pH

|                       | Media<br>pH |
|-----------------------|-------------|
| Concentración Inicial | 7,40        |
| Humedal 1             | 7,61        |
| Humedal 2             | 7,54        |
| Humedal 3             | 7,69        |

Fuente: Elaboración propia

Figura 30: pH antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se muestra el resultado de los rangos de pH, en la concentración inicial se tiene un valor de 7,4 y los resultados promedio de cada sistema después del tratamiento son de 7,61 en el humedal 1; 7,54 en el humedal 2 y 7,69 en el humedal 3.

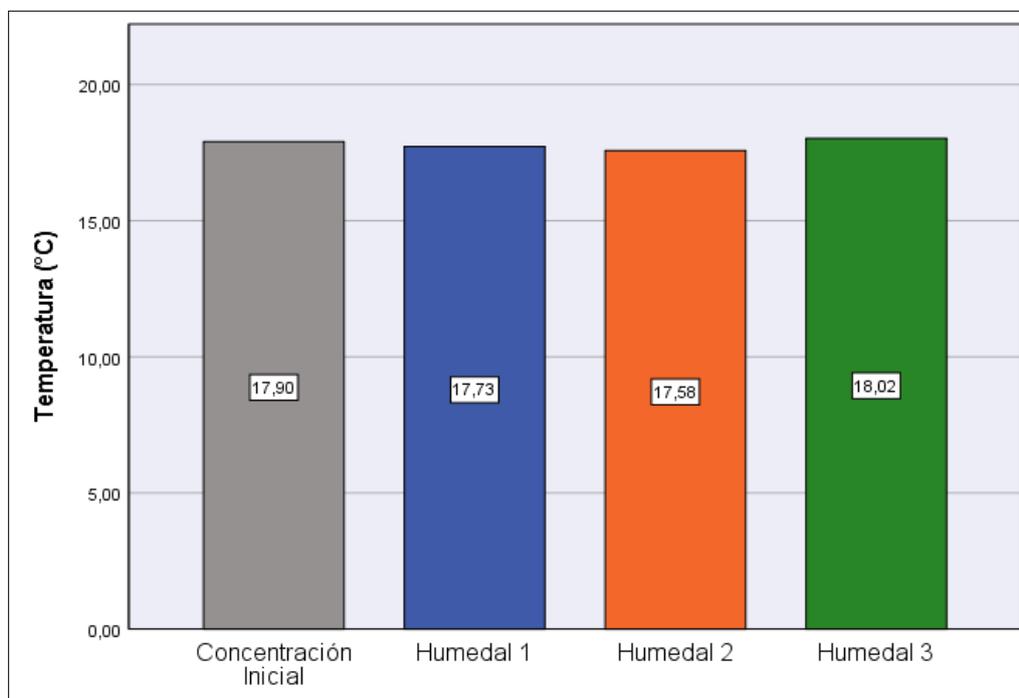
#### 4.4.5. Concentración inicial y final de temperatura

Tabla 31: Resultados iniciales y finales de temperatura

|                       | Media<br>Temperatura<br>(°C) |
|-----------------------|------------------------------|
| Concentración Inicial | 17,90                        |
| Humedal 1             | 17,73                        |
| Humedal 2             | 17,58                        |
| Humedal 3             | 18,02                        |

Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Temperatura antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 31 se muestra el resultado de la temperatura antes de iniciar el tratamiento que es de 17,9 y los resultados promedios después del tratamiento, siendo en el humedal 1 de 17,73; en el humedal 2 de 17,58 y en el humedal 3 de 18,02.

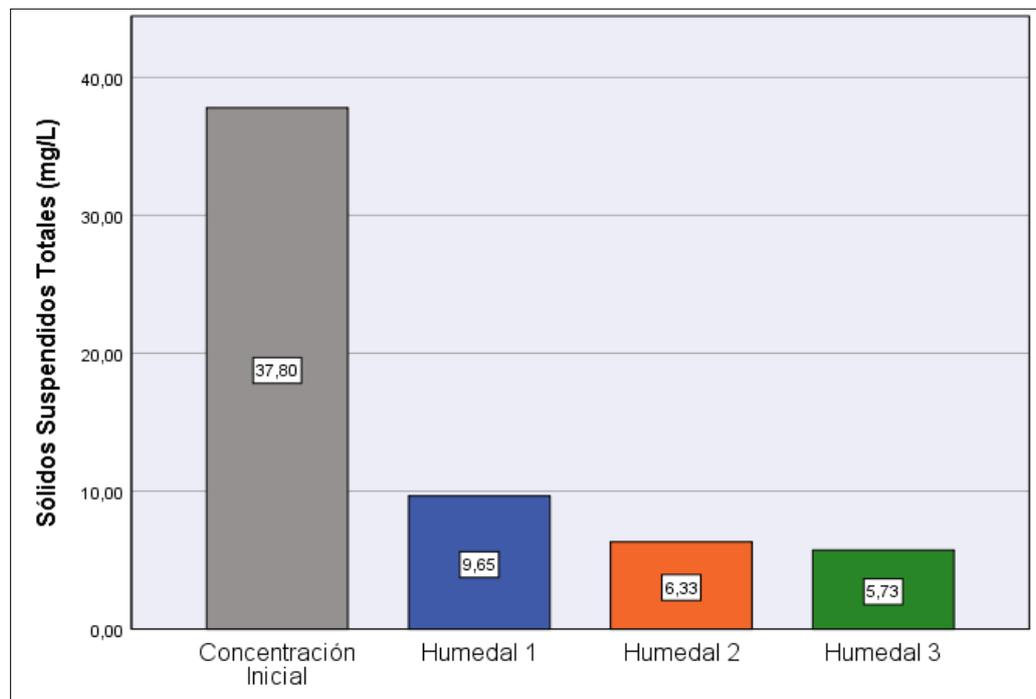
#### 4.4.6. Concentración inicial y final de sólidos suspendidos totales

Tabla 32: Resultados iniciales y finales de los sólidos suspendidos totales

|                       | Media SST (mg/L) |
|-----------------------|------------------|
| Concentración Inicial | 37,80            |
| Humedal 1             | 9,65             |
| Humedal 2             | 6,33             |
| Humedal 3             | 5,73             |

Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Sólidos suspendidos totales antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 se muestra el resultado de la concentración inicial de sólidos suspendidos totales con un valor de 37,8 mg/L y los resultados promedio después de tratamiento siendo de 9,65; 6,33; 5,73 mg/L en el humedal 1,2 y 3, respectivamente. Observando que el humedal con ambas plantas de *Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp* es el que mejor resultado presenta.

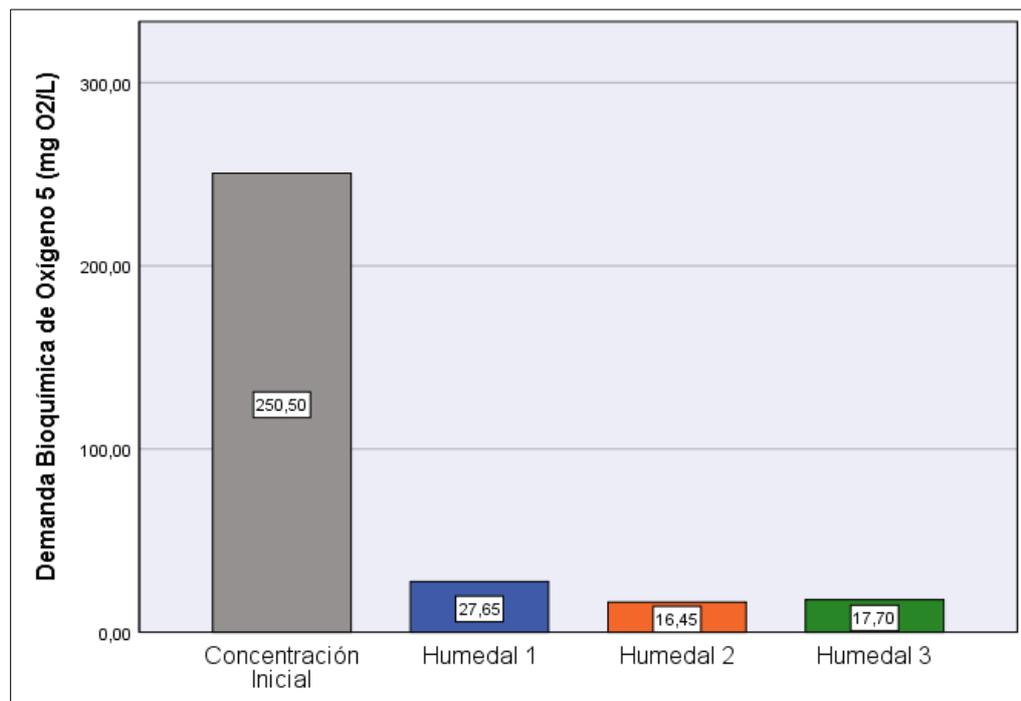
#### 4.4.7. Concentración inicial y final de la demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 33: Resultados iniciales y finales de la demanda bioquímica de oxígeno

|                       | Media<br>DBO<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
|-----------------------|--|
| Concentración Inicial | 250,50                                 |
| Humedal 1             | 27,65                                  |
| Humedal 2             | 16,45                                  |
| Humedal 3             | 17,70                                  |

Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Demanda bioquímica de oxígeno antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se muestra el resultado de la concentración inicial de la demanda bioquímica de oxígeno que es de 250,5 mgO<sub>2</sub>/L, valor con el cual se realizó el diseño de los humedales. Los resultados promedios después del tratamiento fueron de 27,65 mgO<sub>2</sub>/L en el humedal 1, en el humedal 2 fue de 16,45 mgO<sub>2</sub>/L y 17,7 mgO<sub>2</sub>/L en el humedal 3.

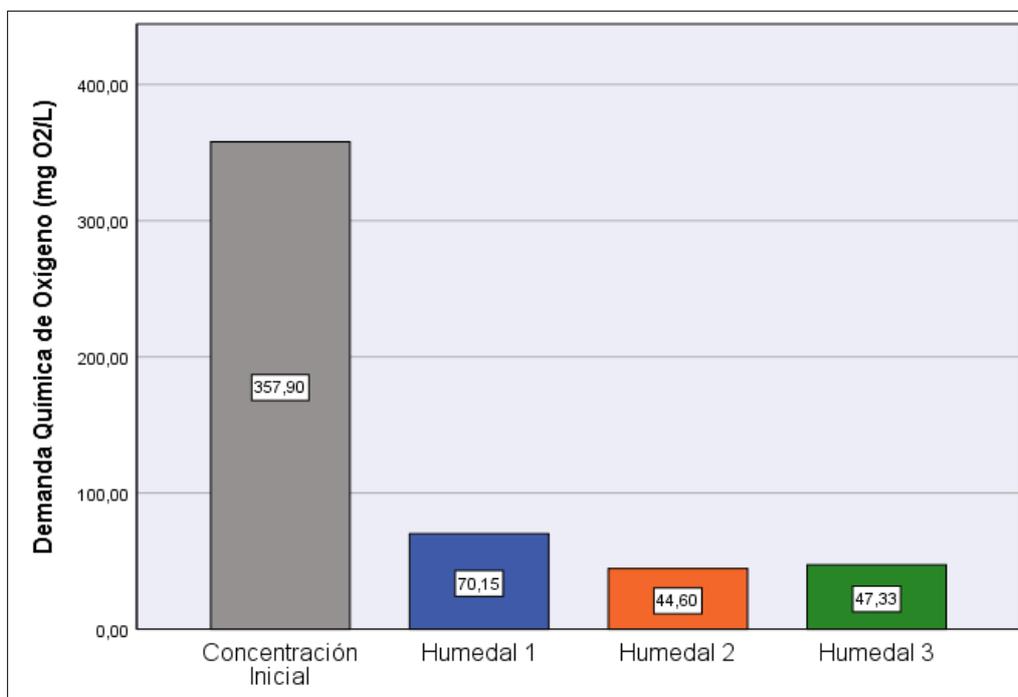
#### 4.4.8. Concentración inicial y final de la demanda química de oxígeno

Tabla 34: Resultados iniciales y finales de la demanda química de oxígeno

|                       | Media<br>DQO<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
|-----------------------|--|
| Concentración Inicial | 357,90                                 |
| Humedal 1             | 70,15                                  |
| Humedal 2             | 44,60                                  |
| Humedal 3             | 47,33                                  |

Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Demanda química de oxígeno antes y después de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se muestra el resultado de la concentración inicial de la demanda química de oxígeno que es de 357,9 mgO<sub>2</sub>/L, otro de los valores con el cual se realizó el diseño de los humedales. Los resultados promedios después del tratamiento fueron de 70,15 mgO<sub>2</sub>/L en el humedal 1, en el humedal 2 fue de 44,6 mgO<sub>2</sub>/L y 47,33 mgO<sub>2</sub>/L en el humedal 3.

#### 4.5. Comparación de resultados con los límites máximos permisibles (LMP)

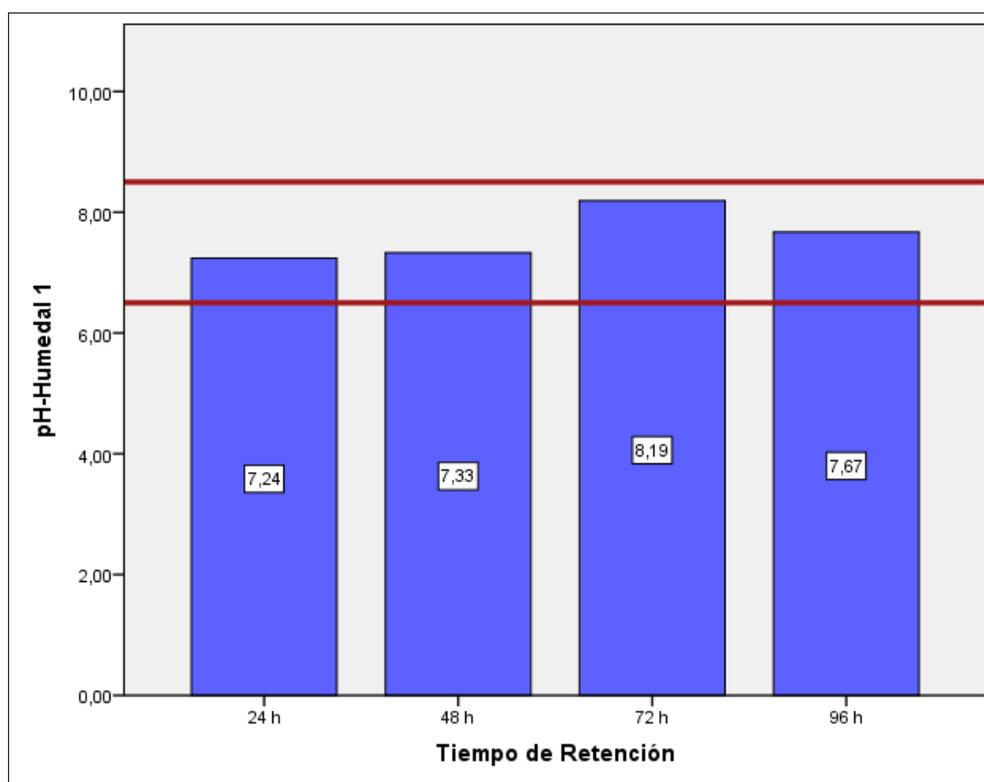
##### 4.5.1. Comparación de pH con su límite máximo permisible

Tabla 35: Resultados de pH y límite máximo permisible en el humedal 1

| Tiempo de Retención |      | pH LMP |      | pH Humedal 1 |
|---------------------|------|--------|------|--------------|
|                     |      |        |      |              |
| Tiempo de Retención | 24 h | 6,50   | 8,50 | 7,24         |
|                     | 48 h | 6,50   | 8,50 | 7,33         |
|                     | 72 h | 6,50   | 8,50 | 8,19         |
|                     | 96 h | 6,50   | 8,50 | 7,67         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Comparación de pH entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1



Fuente: Elaboración propia

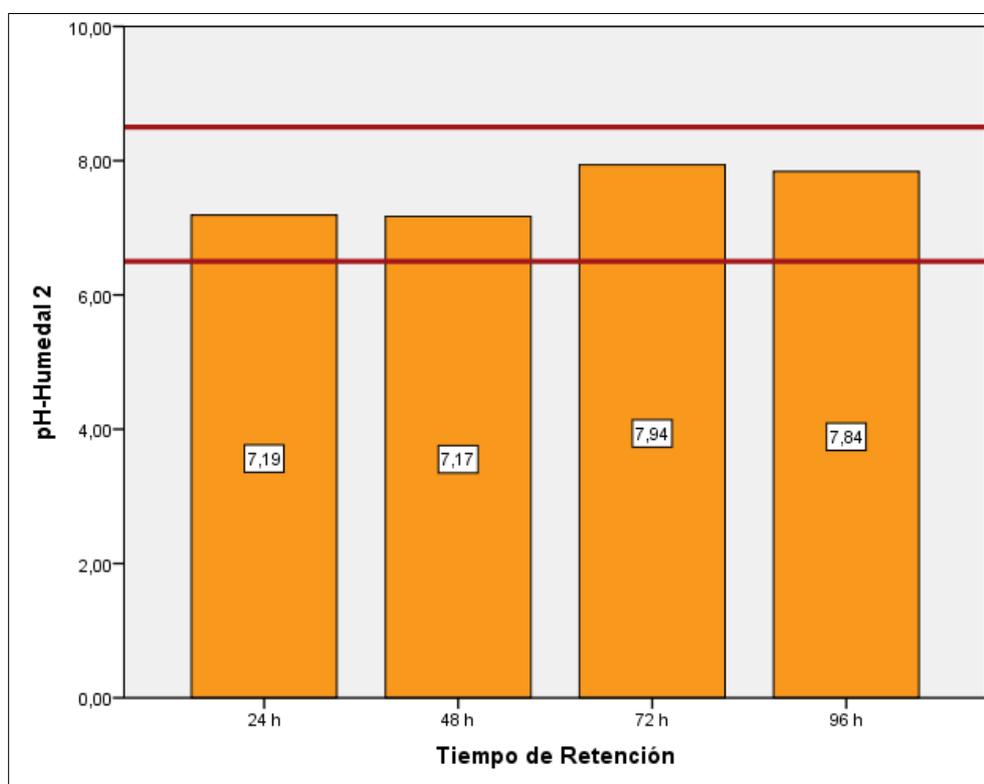
En la figura 35 se puede observar que el pH obtenido durante las 96 horas de tratamiento en el humedal 1, se encuentra dentro del límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Teniendo como valor mínimo 7,24 a las 24 horas y valor máximo 8,19 a las 72 horas del tratamiento.

Tabla 36: Resultados de pH y límite máximo permisible en el humedal 2

| Tiempo de Retención |  | pH LMP |      | pH Humedal 2 |
|---------------------|--|--------|------|--------------|
|                     |  | 6,50   | 8,50 |              |
| 24 h                |  | 6,50   | 8,50 | 7,19         |
| 48 h                |  | 6,50   | 8,50 | 7,17         |
| 72 h                |  | 6,50   | 8,50 | 7,94         |
| 96 h                |  | 6,50   | 8,50 | 7,84         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Comparación de pH entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2



Fuente: Elaboración propia

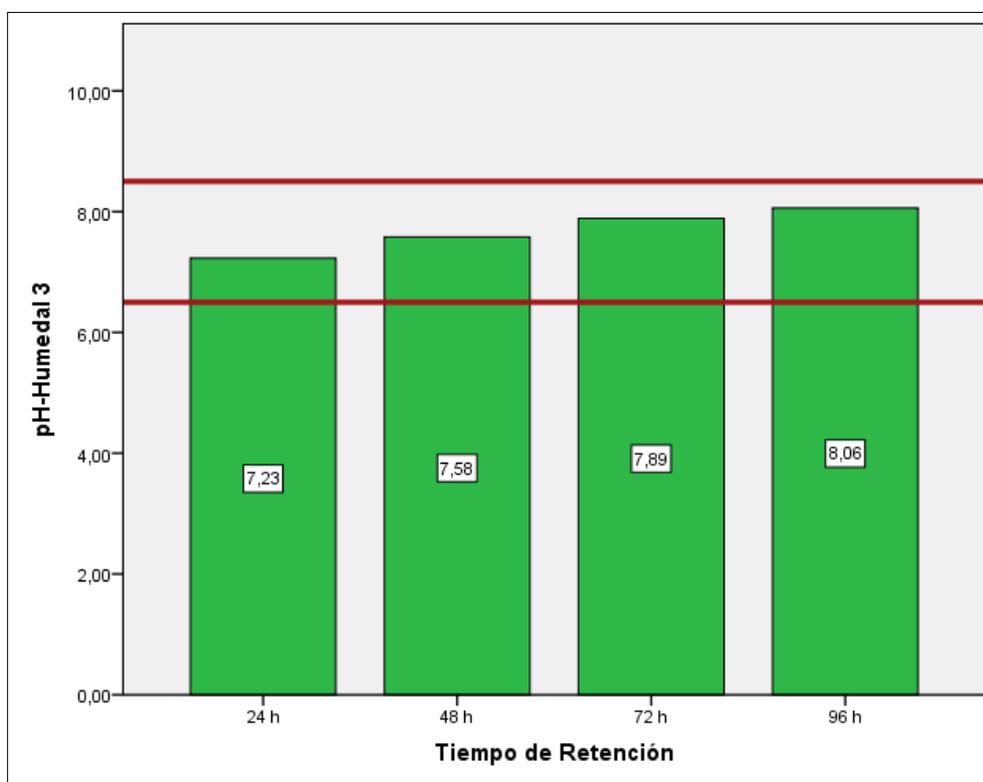
En la figura 36 se puede observar que el pH obtenido durante las 96 horas de tratamiento en el humedal 2, se encuentran dentro del límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tiene como valor mínimo 7,17 a las 48 horas del tratamiento y como valor máximo 7,94 a las 72 horas.

Tabla 37: Resultados de pH y límite máximo permisible en el humedal 3

| Tiempo de Retención |      | pH LMP |      | pH Humedal 3 |
|---------------------|------|--------|------|--------------|
|                     |      |        |      |              |
| Tiempo de Retención | 24 h | 6,50   | 8,50 | 7,23         |
|                     | 48 h | 6,50   | 8,50 | 7,58         |
|                     | 72 h | 6,50   | 8,50 | 7,89         |
|                     | 96 h | 6,50   | 8,50 | 8,06         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Comparación de pH entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3



Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se puede observar que el pH obtenido durante las 96 horas de tratamiento en el humedal 3, se encuentran dentro de los límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Teniendo como valor mínimo 7,23 a las 48 horas del tratamiento y valor máximo 8,06 a las 96 horas.

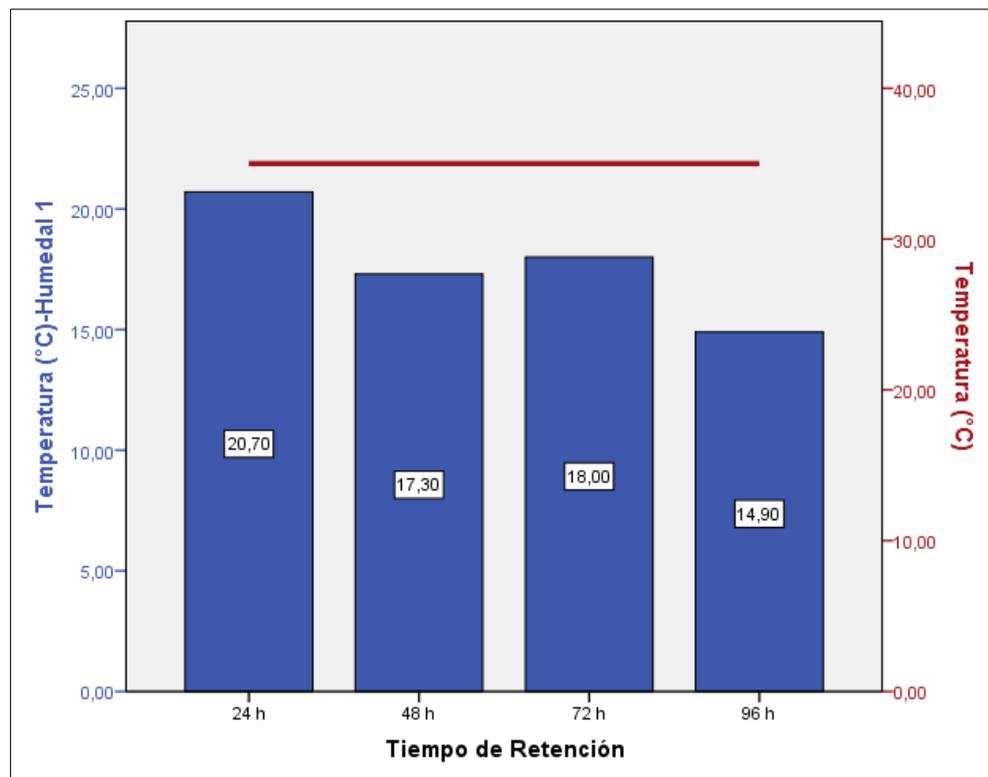
#### 4.5.2. Comparación de temperatura con su límite máximo permisible

Tabla 38: Resultados de temperatura y límite máximo permisible en el humedal 1

|                     |      | Temperatura (°C)<br>LMP | Temperatura (°C)<br>Humedal 1 |
|---------------------|------|-------------------------|-------------------------------|
| Tiempo de Retención | 24 h | 35,00                   | 20,70                         |
|                     | 48 h | 35,00                   | 17,30                         |
|                     | 72 h | 35,00                   | 18,00                         |
|                     | 96 h | 35,00                   | 14,90                         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 38: Comparación de temperatura entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1



Fuente: Elaboración propia

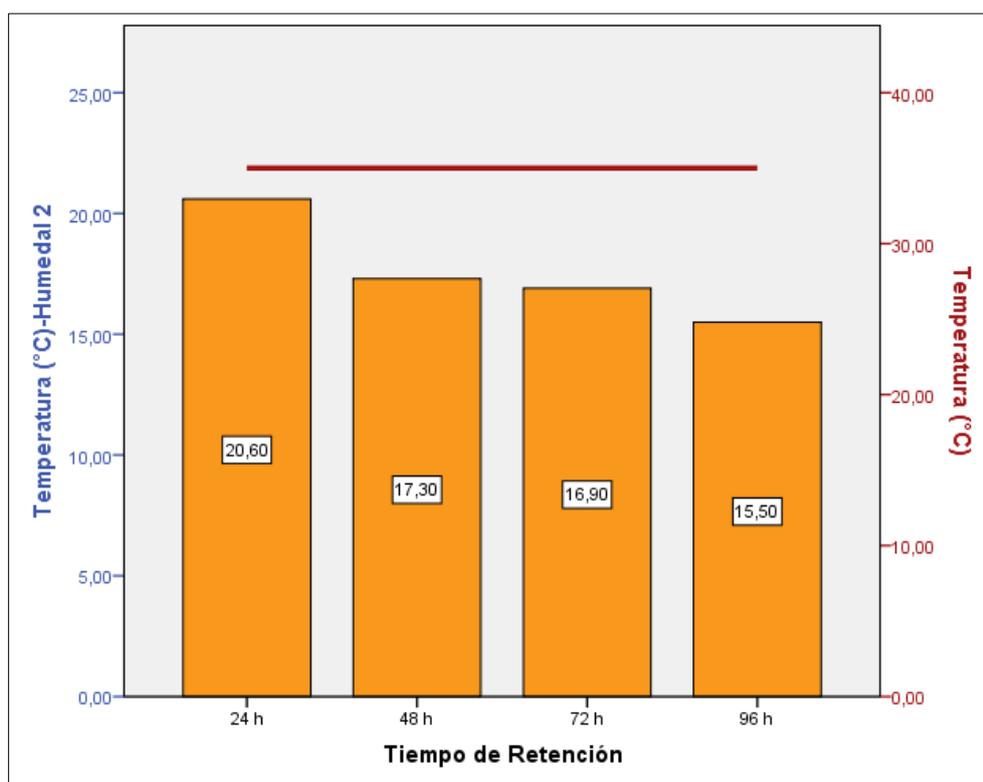
En la figura 38 se observa que en el humedal 1 durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 14,90 a las 96 horas y como valor máximo 20,70 a las 24 horas del tratamiento.

Tabla 39: Resultados de temperatura y límite máximo permisible en el humedal 2

|                     |      | Temperatura (°C)<br>LMP | Temperatura (°C)<br>Humedal 2 |
|---------------------|------|-------------------------|-------------------------------|
| Tiempo de Retención | 24 h | 35,00                   | 20,60                         |
|                     | 48 h | 35,00                   | 17,30                         |
|                     | 72 h | 35,00                   | 16,90                         |
|                     | 96 h | 35,00                   | 15,50                         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Comparación de temperatura entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2



Fuente: Elaboración propia

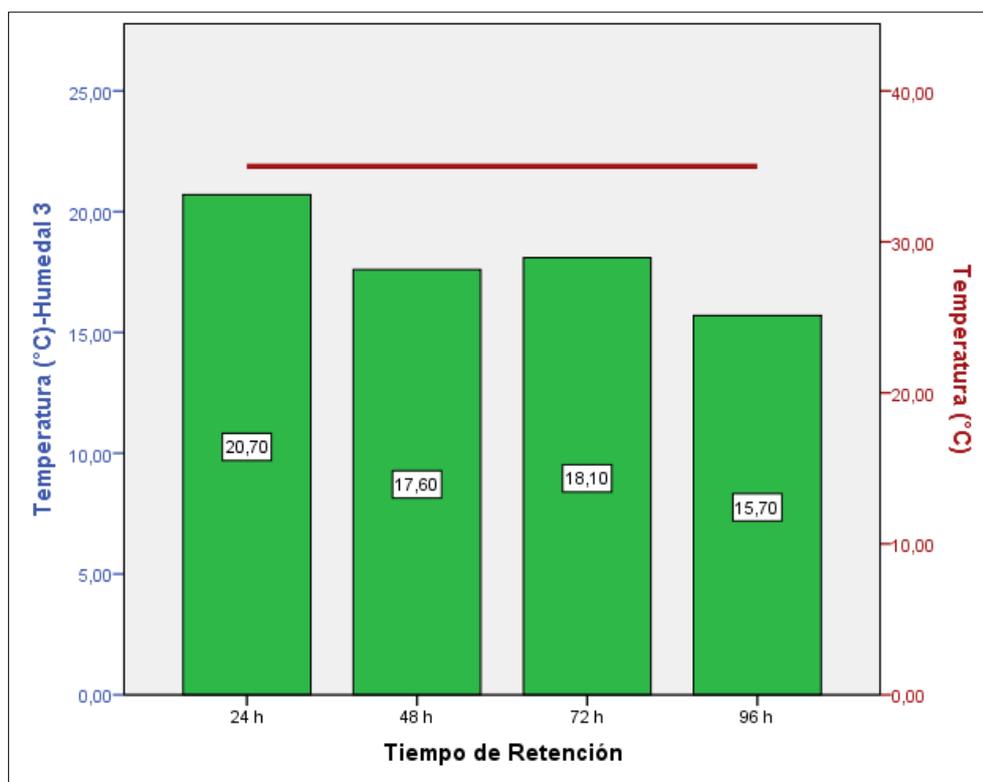
En la figura 39 se observa que en el humedal 2 durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 15,50 a las 96 horas y como valor máximo 20,60 a las 24 horas del tratamiento.

Tabla 40: Resultados de temperatura y límite máximo permisible en el humedal 3

|                     |      | Temperatura (°C)<br>LMP | Temperatura (°C)<br>Humedal 3 |
|---------------------|------|-------------------------|-------------------------------|
| Tiempo de Retención | 24 h | 35,00                   | 20,70                         |
|                     | 48 h | 35,00                   | 17,60                         |
|                     | 72 h | 35,00                   | 18,10                         |
|                     | 96 h | 35,00                   | 15,70                         |

Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Comparación de temperatura entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3



Fuente: Elaboración propia

En la figura 40 se observa que en el humedal 3, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 15,70 a las 96 horas y como valor máximo 20,70 a las 24 horas del tratamiento.

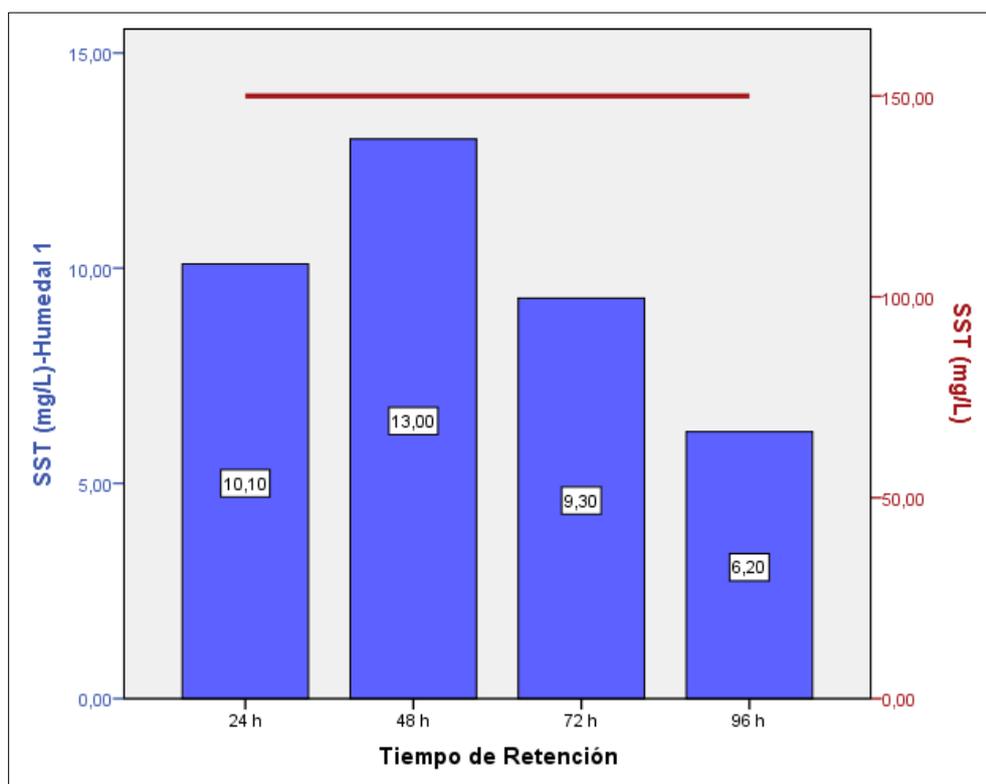
**4.5.3. Comparación de sólidos suspendidos totales con su límite máximo permisible**

Tabla 41: Resultados de los sólidos suspendidos totales y límite máximo permisible en el humedal 1

|                     |      | SST (mg/L)<br>LMP | SST (mg/L)<br>Humedal 1 |
|---------------------|------|-------------------|-------------------------|
| Tiempo de Retención | 24 h | 150,00            | 10,10                   |
|                     | 48 h | 150,00            | 13,00                   |
|                     | 72 h | 150,00            | 9,30                    |
|                     | 96 h | 150,00            | 6,20                    |

Fuente: Elaboración propia

Figura 41: Comparación de sólidos suspendidos totales entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1



Fuente: Elaboración propia

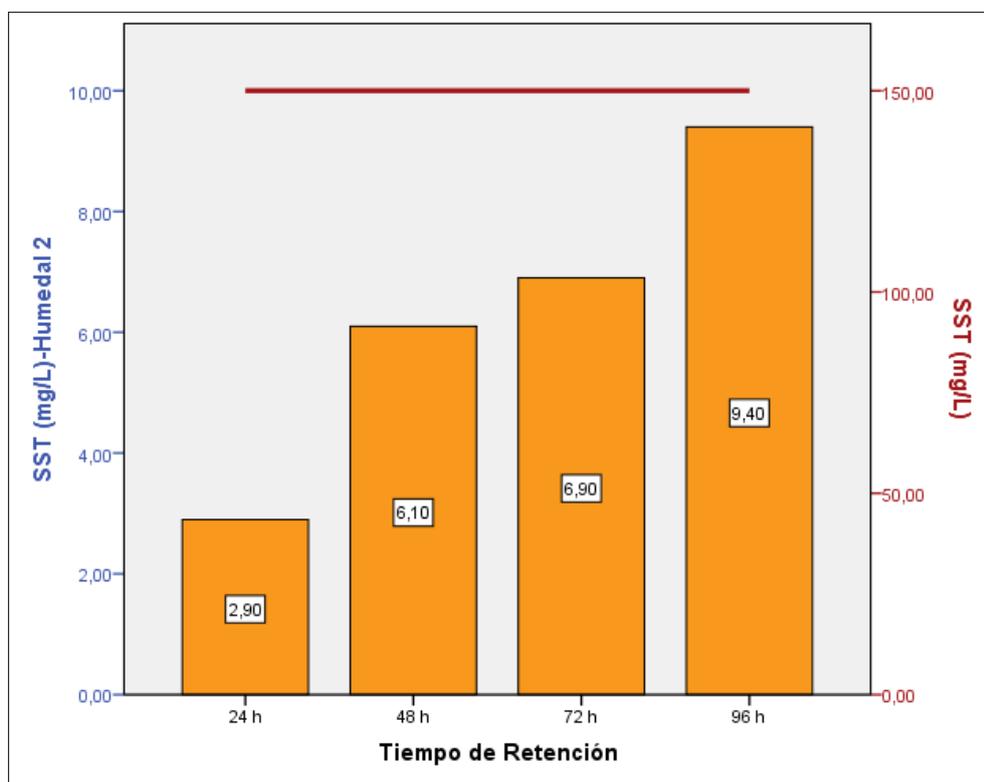
En la figura 41 se observa que en el humedal 1, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 6,20 mg/L a las 96 horas y como valor máximo 13 mg/L a las 48 horas del tratamiento.

Tabla 42: Resultados de los sólidos suspendidos totales y límite máximo permisible en el humedal 2

|                     |      | SST (mg/L)<br>LMP | SST (mg/L)<br>Humedal 2 |
|---------------------|------|-------------------|-------------------------|
| Tiempo de Retención | 24 h | 150,00            | 2,90                    |
|                     | 48 h | 150,00            | 6,10                    |
|                     | 72 h | 150,00            | 6,90                    |
|                     | 96 h | 150,00            | 9,40                    |

Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Comparación de sólidos suspendidos totales entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2



Fuente: Elaboración propia

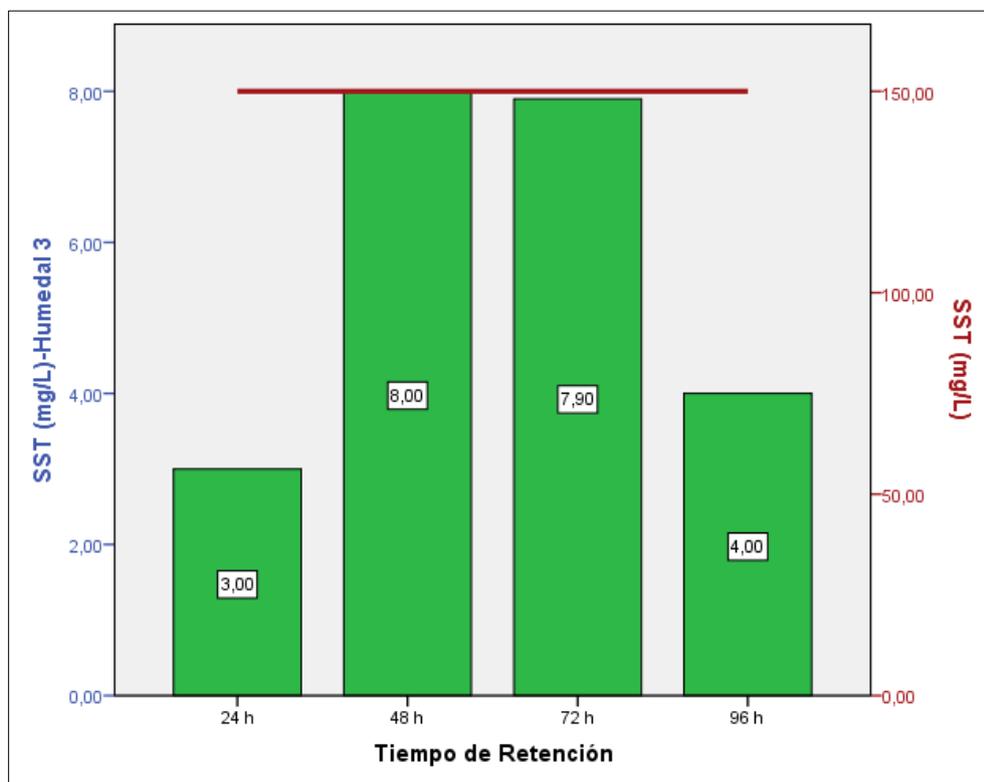
En la figura 42 se observa que en el humedal 2, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 2,90 mg/L a las 24 horas y como valor máximo 9,40 mg/L a las 96 horas del tratamiento.

Tabla 43: Resultados de los sólidos suspendidos totales y límite máximo permisible en el humedal 3

|                     |      | SST (mg/L)<br>LMP | SST (mg/L)<br>Humedal 3 |
|---------------------|------|-------------------|-------------------------|
| Tiempo de Retención | 24 h | 150,00            | 3,00                    |
|                     | 48 h | 150,00            | 8,00                    |
|                     | 72 h | 150,00            | 7,90                    |
|                     | 96 h | 150,00            | 4,00                    |

Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Comparación de sólidos suspendidos totales entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3



Fuente: Elaboración propia

En la figura 43 se observa que en el humedal 3, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 8 mg/L a las 48 horas y como valor máximo 3 mg/L a las 24 horas del tratamiento.

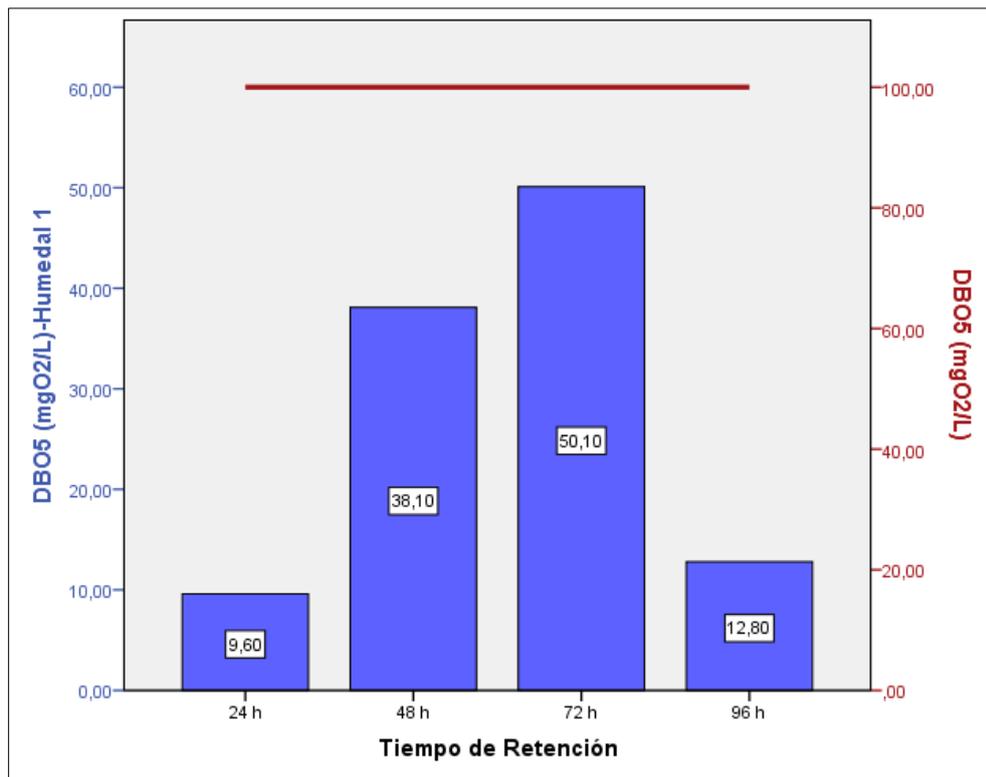
#### 4.5.4. Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno con su límite máximo permisible

Tabla 44: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 1

|                     |      | DBO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>LMP | DBO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>Humedal 1 |
|---------------------|------|-----------------------------------|---|
| Tiempo de Retención | 24 h | 100,00                            | 9,60                                    |
|                     | 48 h | 100,00                            | 38,10                                   |
|                     | 72 h | 100,00                            | 50,10                                   |
|                     | 96 h | 100,00                            | 12,80                                   |

Fuente: Elaboración propia

Figura 44: Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1



Fuente: Elaboración propia

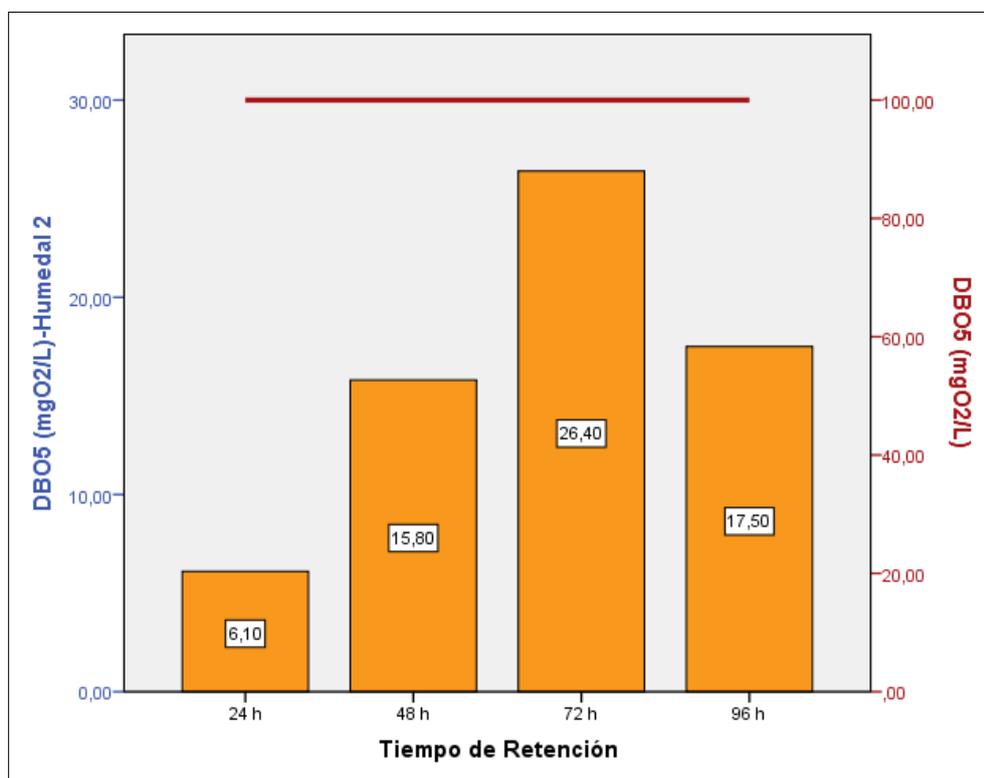
En la figura 44 se observa que en el humedal 3, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 9,60 mgO<sub>2</sub>/L a las 24 horas y como valor máximo 50,10 mgO<sub>2</sub>/L a las 72 horas del tratamiento.

Tabla 45: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 2

|                     |      | DBO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>LMP | DBO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>Humedal 2 |
|---------------------|------|-----------------------------------|---|
| Tiempo de Retención | 24 h | 100,00                            | 6,10                                    |
|                     | 48 h | 100,00                            | 15,80                                   |
|                     | 72 h | 100,00                            | 26,40                                   |
|                     | 96 h | 100,00                            | 17,50                                   |

Fuente: Elaboración propia

Figura 45: Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2



Fuente: Elaboración propia

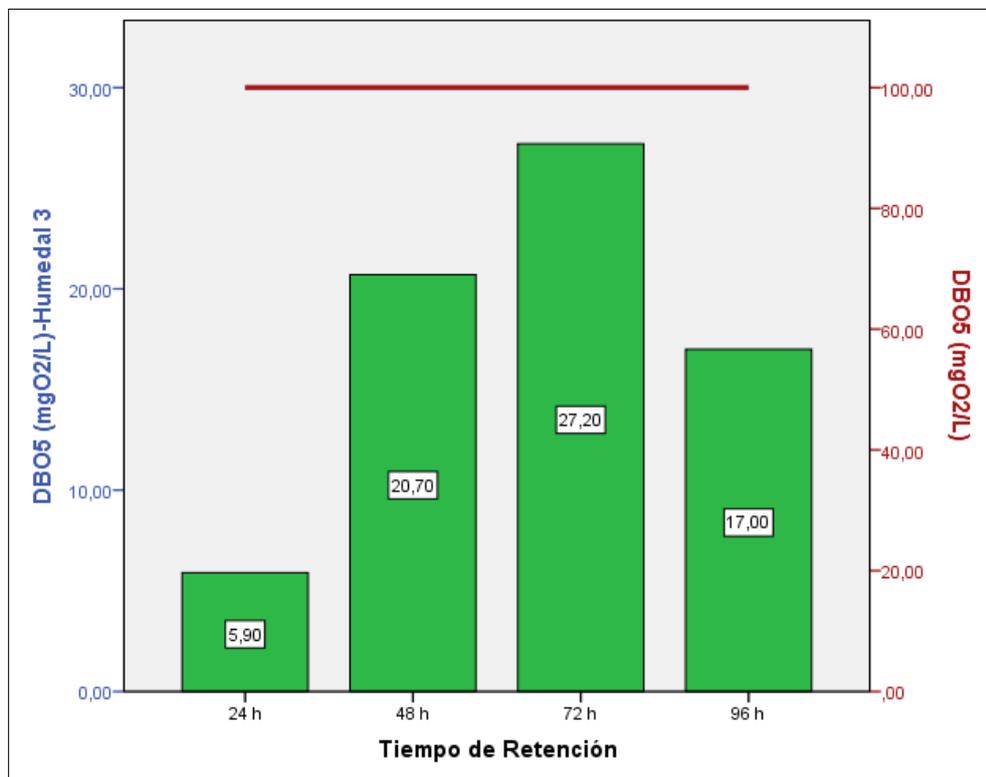
En la figura 45 se observa que en el humedal 2, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 6,10 mgO<sub>2</sub>/L a las 24 horas y como valor máximo 26,40 mgO<sub>2</sub>/L a las 72 horas del tratamiento.

Tabla 46: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 3

| Tiempo de Retención | DBO (mg O <sub>2</sub> /L) |           |
|---------------------|----------------------------|-----------|
|                     | LMP                        | Humedal 3 |
| 24 h                | 100,00                     | 5,90      |
| 48 h                | 100,00                     | 20,70     |
| 72 h                | 100,00                     | 27,20     |
| 96 h                | 100,00                     | 17,00     |

Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3



Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se observa que en el humedal 3, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 5,90 mgO<sub>2</sub>/L a las 24 horas y como valor máximo 27,20 mgO<sub>2</sub>/L a las 72 horas del tratamiento.

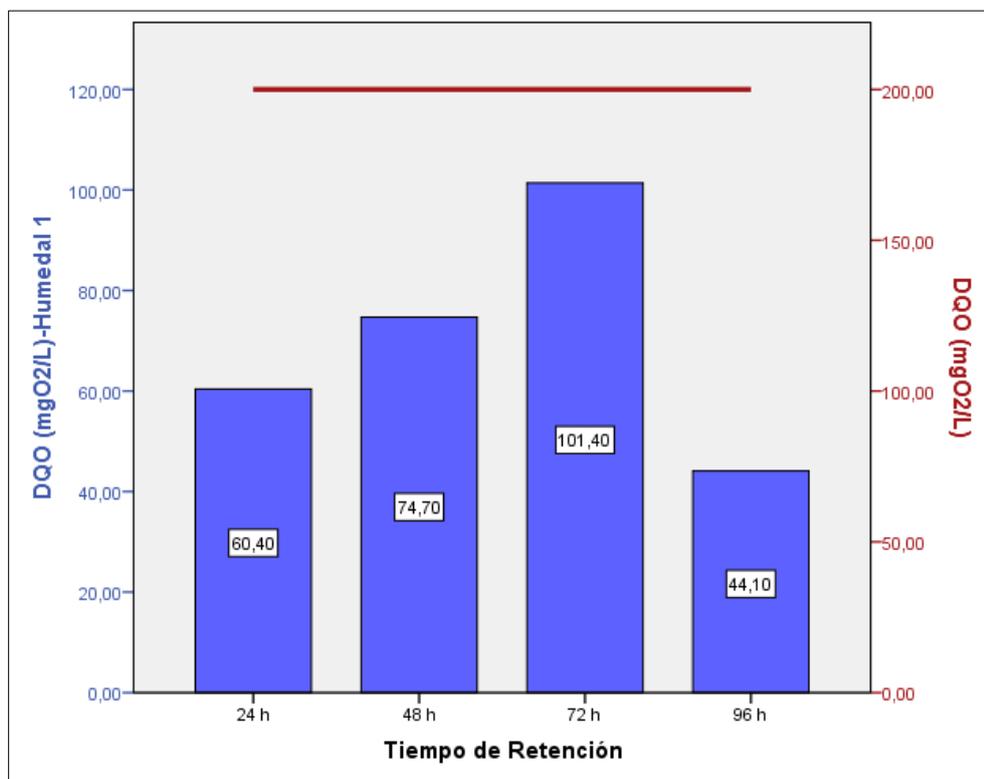
#### 4.5.5. Comparación de la demanda química de oxígeno con su límite máximo permisible

Tabla 47: Resultados de la demanda química de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 1

|                     |      | DQO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>LMP | DQO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>Humedal 1 |
|---------------------|------|-----------------------------------|---|
| Tiempo de Retención | 24 h | 200,00                            | 60,40                                   |
|                     | 48 h | 200,00                            | 74,70                                   |
|                     | 72 h | 200,00                            | 101,40                                  |
|                     | 96 h | 200,00                            | 44,10                                   |

Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Comparación de la demanda química de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 1



Fuente: Elaboración propia

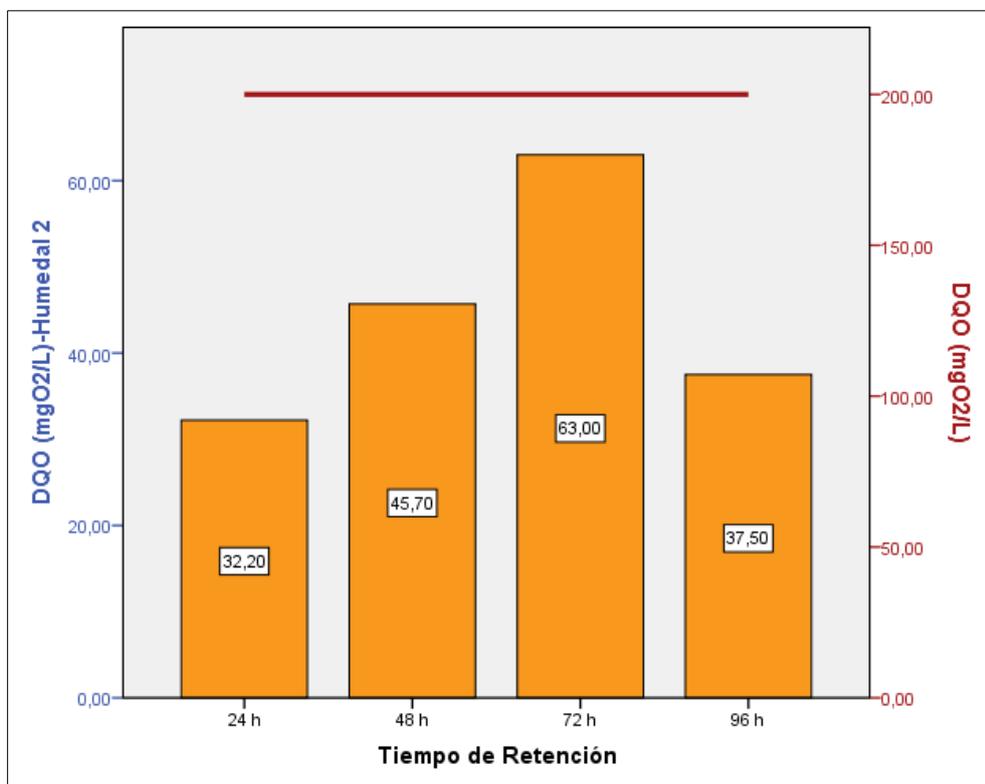
En la figura 47 se observa que en el humedal 1, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 44,10 mgO<sub>2</sub>/L a las 96 horas y como valor máximo 101,40 mgO<sub>2</sub>/L a las 72 horas del tratamiento.

Tabla 48: Resultados de la demanda química de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 2

|                     |      | DQO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>LMP | DQO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>Humedal 2 |
|---------------------|------|-----------------------------------|---|
| Tiempo de Retención | 24 h | 200,00                            | 32,20                                   |
|                     | 48 h | 200,00                            | 45,70                                   |
|                     | 72 h | 200,00                            | 63,00                                   |
|                     | 96 h | 200,00                            | 37,50                                   |

Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Comparación de la demanda química de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 2



Fuente: Elaboración propia

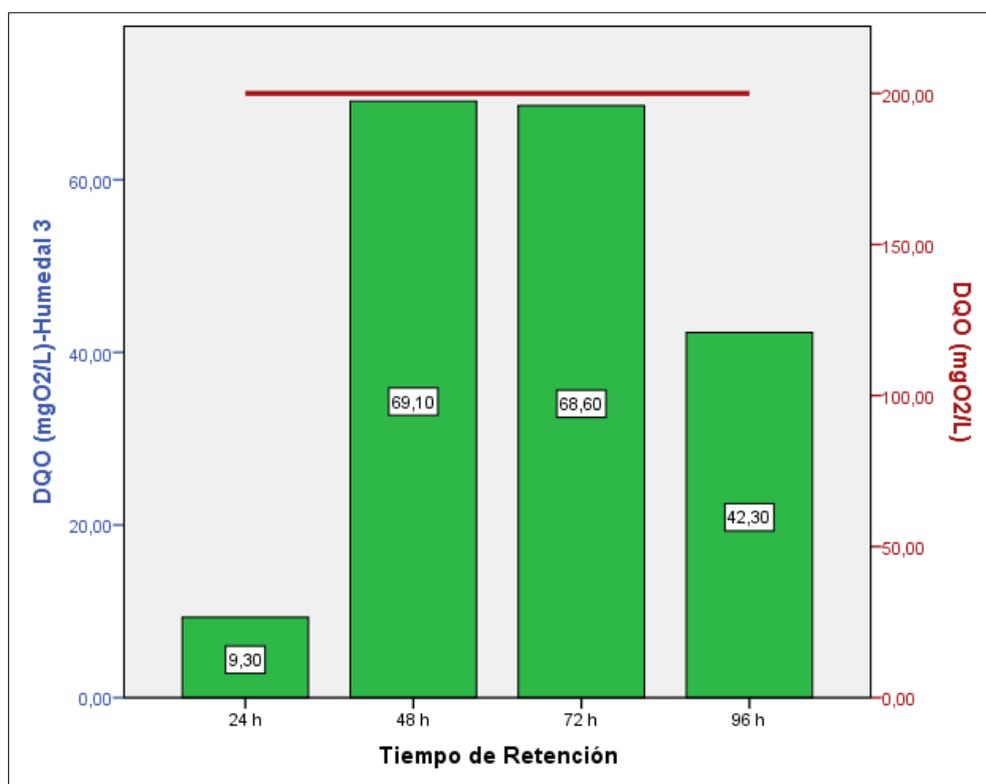
En la figura 48 se observa que en el humedal 2, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 32,20 mgO<sub>2</sub>/L a las 24 horas y como valor máximo 63 mgO<sub>2</sub>/L a las 72 horas del tratamiento.

Tabla 49: Resultados de la demanda química de oxígeno y límite máximo permisible en el humedal 3

|                     |      | DQO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>LMP | DQO (mg O <sub>2</sub> /L)<br>Humedal 3 |
|---------------------|------|-----------------------------------|---|
| Tiempo de Retención | 24 h | 200,00                            | 9,30                                    |
|                     | 48 h | 200,00                            | 69,10                                   |
|                     | 72 h | 200,00                            | 68,60                                   |
|                     | 96 h | 200,00                            | 42,30                                   |

Fuente: Elaboración propia

Figura 49: Comparación de la demanda química de oxígeno entre el límite máximo permisible y resultados del humedal 3



Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se observa que en el humedal 3, durante las 96 horas de tratamiento, ningún dato sobrepasa el límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se tuvo como valor mínimo 9,30 mgO<sub>2</sub>/L a las 14 horas y como valor máximo 69,10 mgO<sub>2</sub>/L a las 48 horas del tratamiento.

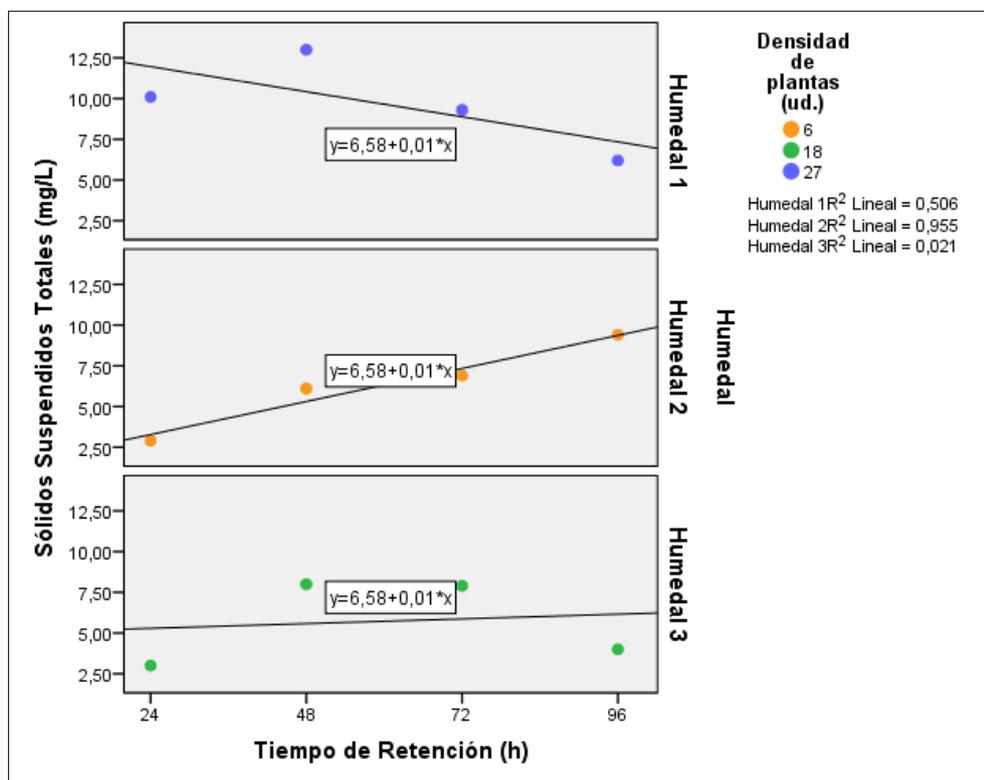
#### 4.6. Correlación de variables del sistema

Tabla 50: Resultados de sólidos suspendidos totales, densidad de plantas y tiempo de retención en los sistemas

|         |           |                     |    |                     | SST (mg/L) |       |
|---------|-----------|---------------------|----|---------------------|------------|-------|
| Humedal | Humedal 1 | Densidad de plantas | 27 | Tiempo de retención | 24 h       | 10,10 |
|         |           |                     |    |                     | 48 h       | 13,00 |
|         |           |                     |    |                     | 72 h       | 9,30  |
|         |           |                     |    |                     | 96 h       | 6,20  |
|         | Humedal 2 | Densidad de plantas | 6  | Tiempo de retención | 24 h       | 2,90  |
|         |           |                     |    |                     | 48 h       | 6,10  |
|         |           |                     |    |                     | 72 h       | 6,90  |
|         |           |                     |    |                     | 96 h       | 9,40  |
|         | Humedal 3 | Densidad de plantas | 18 | Tiempo de retención | 24 h       | 3,00  |
|         |           |                     |    |                     | 48 h       | 8,00  |
|         |           |                     |    |                     | 72 h       | 7,90  |
|         |           |                     |    |                     | 96 h       | 4,00  |

Fuente: Elaboración propia

Figura 50: Correlación entre sólidos suspendidos totales, densidad de plantas y tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

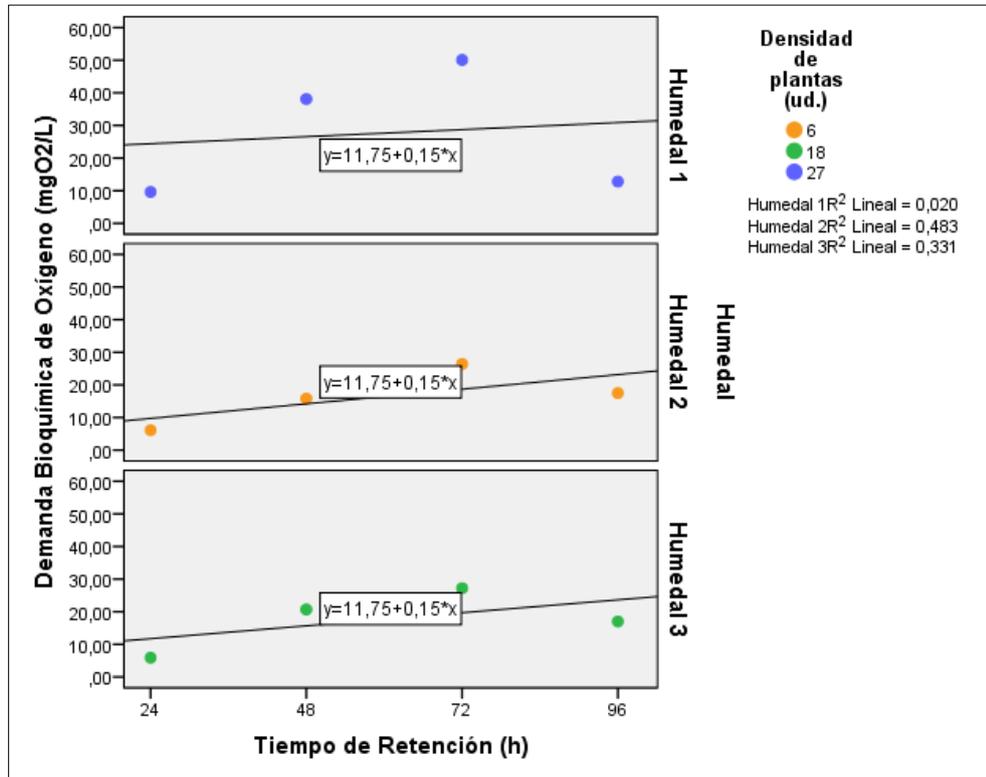
En la figura 50 se observa que en el humedal 1 el  $R^2$  tiene un valor de 0,506 lo que indica que el 50% de la variabilidad en la remoción de sólidos suspendidos totales es originado por el tiempo de retención y la densidad de plantas, pero no hay una correlación lineal. En el humedal 2 el  $R^2$  tiene un valor de 0,955 lo que indica que el 95% de la variación en la remoción de sólidos suspendidos totales es originado por el tiempo de retención y la densidad de plantas, existe una correlación positiva. En el humedal 3 el  $R^2$  tiene un valor de 0,021 lo que indica que el 21% de la variación en la remoción de sólidos suspendidos totales es originado por el tiempo de retención y la densidad de plantas, existe una correlación lineal muy baja.

Tabla 51: Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención en los sistemas

|         |           |                     |    |                     | DBO (mgO <sub>2</sub> /L) |       |
|---------|-----------|---------------------|----|---------------------|---------------------------|-------|
| Humedal | Humedal 1 | Densidad de Plantas | 27 | Tiempo de retención | 24 h                      | 9,60  |
|         |           |                     |    |                     | 48 h                      | 38,10 |
|         |           |                     |    |                     | 72 h                      | 50,10 |
|         |           |                     |    |                     | 96 h                      | 12,80 |
|         | Humedal 2 | Densidad de Plantas | 6  | Tiempo de retención | 24 h                      | 6,10  |
|         |           |                     |    |                     | 48 h                      | 15,80 |
|         |           |                     |    |                     | 72 h                      | 26,40 |
|         |           |                     |    |                     | 96 h                      | 17,50 |
|         | Humedal 3 | Densidad de Plantas | 18 | Tiempo de retención | 24 h                      | 5,90  |
|         |           |                     |    |                     | 48 h                      | 20,70 |
|         |           |                     |    |                     | 72 h                      | 27,20 |
|         |           |                     |    |                     | 96 h                      | 17,00 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 51: Correlación entre la demanda bioquímica de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

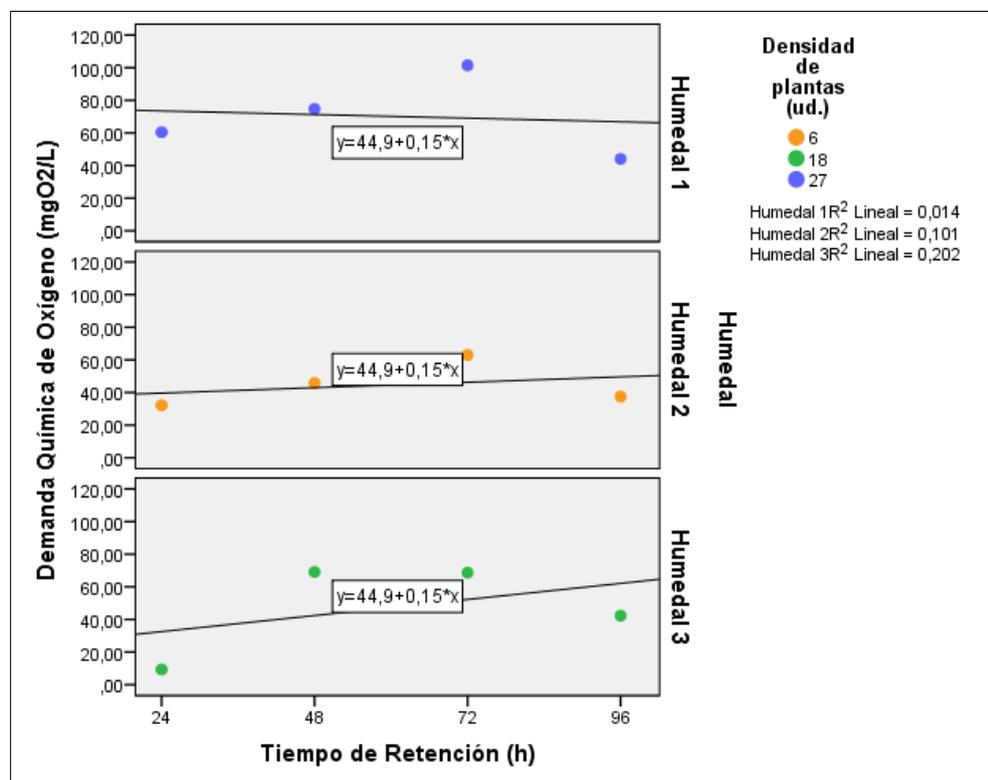
En la figura 51 se observa que en el humedal 1 el  $R^2$  tiene un valor de 0,020 lo que indica que el 2% de la variabilidad en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es originado por el tiempo de retención y la densidad de plantas, existe una pequeña correlación lineal. En el humedal 2 el  $R^2$  tiene un valor de 0,483 lo que indica que el 48% de la variabilidad en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es originado por el tiempo de retención y la densidad de plantas, existe una pequeña correlación lineal. En el humedal 3 el  $R^2$  tiene un valor de 0,331 lo que indica que el 33% de la variabilidad en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es originado por el tiempo de retención y la densidad de plantas, existe una pequeña correlación lineal.

Tabla 52: Resultados de la demanda química de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención en los sistemas

|         |           |                     |    |                     | DQO (mgO <sub>2</sub> /L) |        |
|---------|-----------|---------------------|----|---------------------|---------------------------|--------|
| Humedal | Humedal 1 | Densidad de Plantas | 27 | Tiempo de retención | 24 h                      | 60,40  |
|         |           |                     |    |                     | 48 h                      | 74,70  |
|         |           |                     |    |                     | 72 h                      | 101,40 |
|         |           |                     |    |                     | 96 h                      | 44,10  |
|         | Humedal 2 | Densidad de Plantas | 6  | Tiempo de retención | 24 h                      | 32,20  |
|         |           |                     |    |                     | 48 h                      | 45,70  |
|         |           |                     |    |                     | 72 h                      | 63,00  |
|         |           |                     |    |                     | 96 h                      | 37,50  |
|         | Humedal 3 | Densidad de Plantas | 18 | Tiempo de retención | 24 h                      | 9,30   |
|         |           |                     |    |                     | 48 h                      | 69,10  |
|         |           |                     |    |                     | 72 h                      | 68,60  |
|         |           |                     |    |                     | 96 h                      | 42,30  |

Fuente: Elaboración propia

Figura 52: Correlación entre la demanda química de oxígeno, densidad de plantas y tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 52 se observa que en el humedal 1 el  $R^2$  tiene un valor de 0,014 lo que indica que el 1% de la variabilidad en la remoción de la demanda química de oxígeno depende del tiempo de retención y variación de plantas, existe una correlación pequeña no lineal. En el humedal 2 el  $R^2$  tiene un valor de 0,101 lo que indica que el 10% de la variabilidad en la remoción de la demanda química de oxígeno depende del tiempo de retención y variación de plantas, existe una correlación lineal pequeña. En el humedal 3 el  $R^2$  tiene un valor de 0,202 lo que indica que el 20% de la variabilidad en la remoción de la demanda química de oxígeno depende del tiempo de retención y variación de plantas, existe correlación lineal positiva.

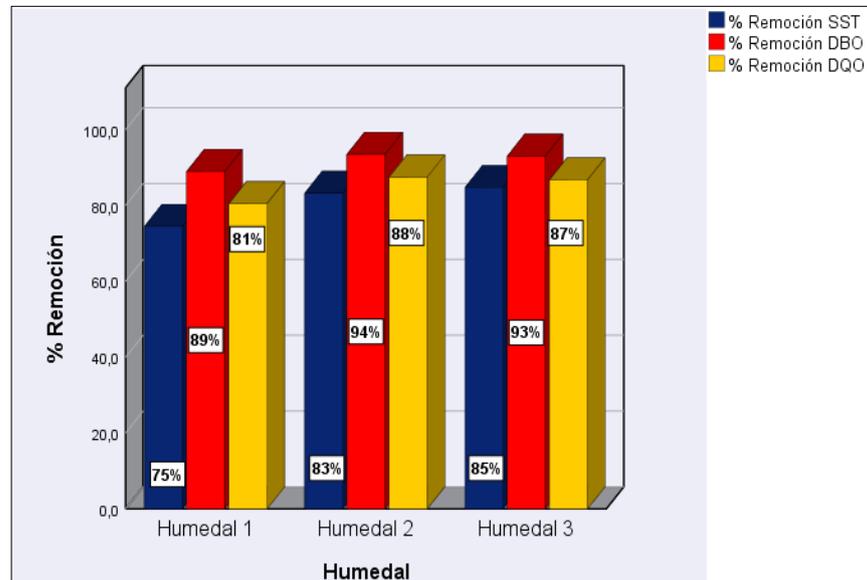
#### 4.7. Remoción de materia orgánica en los sistemas de humedales

Tabla 53: Porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno

|                   | Humedales           |      |      |      |                     |      |      |      |                     |      |      |      |
|-------------------|---------------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|
|                   | Humedal 1           |      |      |      | Humedal 2           |      |      |      | Humedal 3           |      |      |      |
|                   | Tiempo de retención |      |      |      | Tiempo de retención |      |      |      | Tiempo de retención |      |      |      |
|                   | 24 h                | 48 h | 72 h | 96 h | 24 h                | 48 h | 72 h | 96 h | 24 h                | 48 h | 72 h | 96 h |
| % Remoción de SST | 73%                 | 66%  | 75%  | 84%  | 92%                 | 84%  | 82%  | 75%  | 92%                 | 79%  | 79%  | 89%  |
| % Remoción de DBO | 96%                 | 85%  | 80%  | 95%  | 98%                 | 94%  | 89%  | 93%  | 98%                 | 92%  | 89%  | 93%  |
| % Remoción de DQO | 83%                 | 79%  | 72%  | 88%  | 91%                 | 87%  | 82%  | 90%  | 97%                 | 81%  | 81%  | 88%  |

Fuente: Elaboración propia

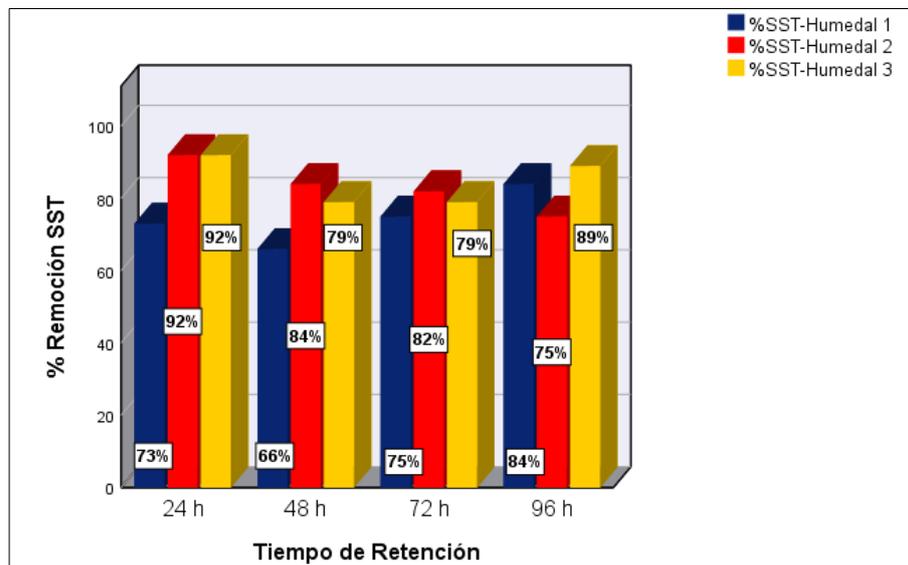
Figura 53: Promedio de porcentajes de remoción en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 53 se muestra el promedio de porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno de cada sistema de humedal; para la remoción de sólidos suspendidos totales, en el humedal 1 se tiene un promedio de 75% para el humedal 2 de 83% y para el humedal 3 de 85%. En la remoción de demanda bioquímica de oxígeno de tiene 89% en humedal 1, 94% en humedal 2 y 93% para el humedal 3. Para la remoción de demanda química de oxígeno se tiene 81% para el humedal 1, 88% para el humedal 2 y 87% para el humedal 3.

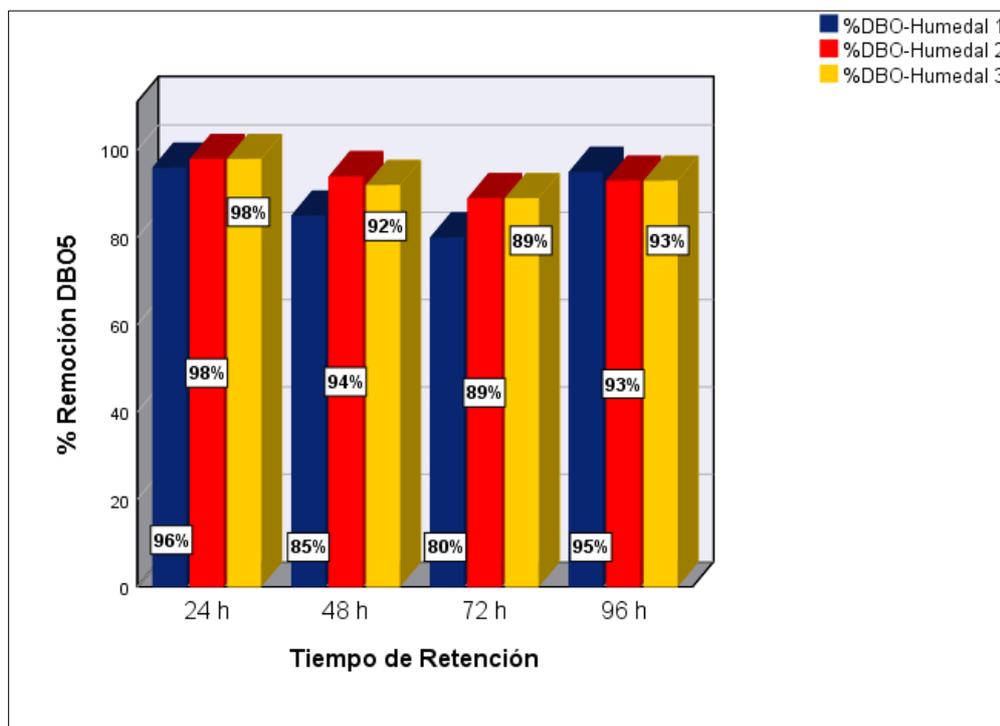
Figura 54: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales en función al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 54 se muestra porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales de cada sistema de humedal durante el tiempo de retención de 24, 48, 72 y 96 horas. En el humedal 1 se tiene una remoción de 73% en 24 horas, 66% a 48 horas, 75% a las 72 horas y 84% de remoción máxima a las 96 horas. Para el humedal 2 se tienen porcentajes de remoción de 92, 84, 82 y 75% a las 24, 48, 72 y 96 horas respectivamente, siendo el mayor % de remoción a las 24. En el humedal 3 se tiene 92% de remoción en 24 horas, 79% en las 48 y 72 horas y 89% en las 96 horas.

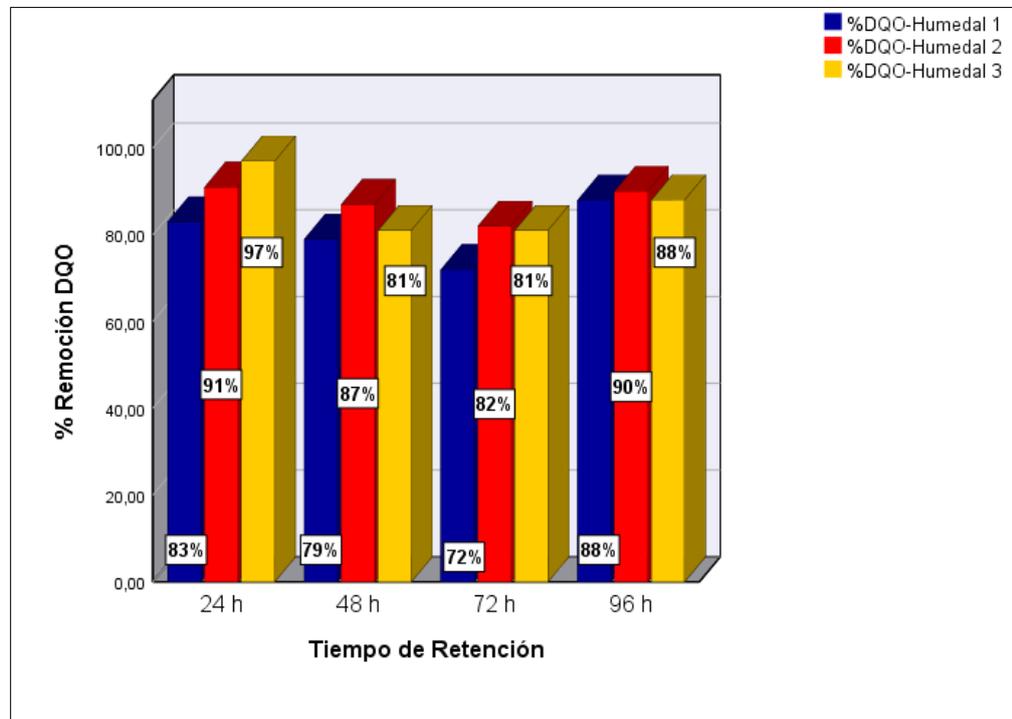
Figura 55: Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en función al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 55 se muestra porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno de cada sistema de humedal durante el tiempo de retención de 24, 48, 72 y 96 horas. En el humedal 1 se tiene una remoción de 96% en 24 horas, 85% a 48 horas, 80% a las 72 horas y 95% a las 96 horas. Para el humedal 2 se tienen porcentajes de remoción de 98, 94, 89 y 93% a las 24, 48, 72 y 96 horas respectivamente, siendo el mayor % de remoción a las 24. En el humedal 3 se tiene 98% de remoción en 24 horas, 92% en las 48, 89% a las 72 horas y 93% en las 96 horas.

Figura 56: Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno en función al tiempo de retención



Fuente: Elaboración propia

En la figura 56 se muestra porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno de cada sistema de humedal durante el tiempo de retención de 24, 48, 72 y 96 horas. En el humedal 1 se tiene una remoción máxima de 83% en 24 horas, 79% a 48 horas, 72% a las 72 horas y 88% de remoción a las 96 horas. Para el humedal 2 se tienen porcentajes de remoción de 91, 87, 82 y 90% a las 24, 48, 72 y 96 horas respectivamente, siendo el mayor % de remoción a las 24. En el humedal 3 se tiene 97% de remoción en 24 horas, 81% en las 48 y 72 horas y 88% en las 96 horas.

#### 4.8. Contrastación de hipótesis

La contrastación se realizó mediante el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis ANOVA (análisis de varianza), ya que es un método que hace la comparación de 2 a más muestras de una variable dependiente y una independiente. En este estudio se realizó la comparación de la variable dependiente y dos independientes.

##### 4.8.1. Contraste de hipótesis de las variables de remoción y tiempo de retención

Tabla 54: Prueba de homogeneidad de varianzas de sólidos suspendidos totales

|                |   | Estadístico de Levene | gl1 | gl2   | Sig.  |
|----------------|---|-----------------------|-----|-------|-------|
| % Remoción SST | Se basa en la media                     | 1,849                 | 3   | 8     | 0,217 |
|                | Se basa en la mediana                   | 0,210                 | 3   | 8     | 0,886 |
|                | Se basa en la mediana y con gl ajustado | 0,210                 | 3   | 4,217 | 0,885 |
|                | Se basa en la media recortada           | 1,613                 | 3   | 8     | 0,262 |

Fuente: Elaboración propia

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene indica que se cumple con uno de los supuestos para contrastar en el método ANOVA (Estadístico media: 1,849; gl1:2; gl2:9;  $p > 0,05$ ).

Tabla 55: ANOVA de sólidos suspendidos totales

| % Remoción SST   | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig.  |
|------------------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Entre grupos     | 155,000           | 3  | 51,667           | 0,767 | 0,544 |
| Dentro de grupos | 538,667           | 8  | 67,333           |       |       |
| Total            | 693,667           | 11 |                  |       |       |

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA unifactorial indica que no hay diferencias en el porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención, es decir los % removidos durante las 96 horas en cada humedal son muy cercanos, superando el 80% de remoción de sólidos suspendidos totales (F: 0,767;  $p > 0,05$ ).

Tabla 56: Prueba de homogeneidad de varianzas de la demanda bioquímica de oxígeno

|                |   | Estadístico de Levene | gl1 | gl2   | Sig.  |
|----------------|---|-----------------------|-----|-------|-------|
| % Remoción DBO | Se basa en la media                     | 4,174                 | 2   | 9     | 0,052 |
|                | Se basa en la mediana                   | 3,765                 | 2   | 9     | 0,065 |
|                | Se basa en la mediana y con gl ajustado | 3,765                 | 2   | 8,979 | 0,065 |
|                | Se basa en la media recortada           | 4,168                 | 2   | 9     | 0,052 |

Fuente: Elaboración propia

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene indica que se cumple con uno de los supuestos para contrastar en el método ANOVA (Estadístico media: 4,174; gl1:2; gl2:9;  $p > 0,05$ ).

Tabla 57: ANOVA de la demanda bioquímica de oxígeno

| % Remoción DBO   | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig.  |
|------------------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Entre grupos     | 48,667            | 2  | 24,333           | 0,826 | 0,468 |
| Dentro de grupos | 265,000           | 9  | 29,444           |       |       |
| Total            | 313,667           | 11 |                  |       |       |

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA unifactorial indica que no hay diferencias en el porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención, es decir los % removidos durante las 96 horas en cada humedal son muy cercanos, superando el 80% de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno ( $F: 0,826; p > 0,05$ ).

Tabla 58: Prueba de homogeneidad de varianzas de la demanda química de oxígeno

|                |   | Estadístico de Levene | gl1 | gl2   | Sig.  |
|----------------|---|-----------------------|-----|-------|-------|
| % Remoción DQO | Se basa en la media                     | 0,804                 | 2   | 9     | 0,477 |
|                | Se basa en la mediana                   | 0,629                 | 2   | 9     | 0,555 |
|                | Se basa en la mediana y con gl ajustado | 0,629                 | 2   | 7,411 | 0,560 |
|                | Se basa en la media recortada           | 0,801                 | 2   | 9     | 0,478 |

Fuente: Elaboración propia

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene indica que se cumple con uno de los supuestos para contrastar en el método ANOVA (Estadístico media: 0,804; gl1:2; gl2:9;  $p > 0.05$ ).

Tabla 59: ANOVA de la demanda química de oxígeno

| % Remoción DQO   | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | Sig.  |
|------------------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Entre grupos     | 118,167           | 2  | 59,083           | 1,482 | 0,278 |
| Dentro de grupos | 358,750           | 9  | 39,861           |       |       |
| Total            | 476,917           | 11 |                  |       |       |

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA unifactorial indica que no hay diferencias en el porcentaje de remoción con respecto al tiempo de retención, es decir los % removidos durante las 96 horas en cada humedal son muy cercanos, superando el 80% de remoción de la demanda química de oxígeno (F: 1,482;  $p > 0,05$ ).

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las plantas utilizadas en los sistemas de humedales y el tiempo de retención han logrado porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Para sólidos suspendidos totales se tiene un promedio de porcentaje de remoción de 75 en el humedal 1, para el humedal 2 un porcentaje de 83 y en el humedal 3 un porcentaje de 85, con esto se puede evidenciar que el humedal 3 con *Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp* tuvo una mayor remoción, y en relación a (Figuroa Gallegos, 1999) en su estudio realizado con *Zantedeschia aethiopica* muestra resultados efectivos con un porcentaje de 65,35% con respecto a este parámetro, aclarando que esto pudo haber sido a causa de los mecanismos de filtración y sedimentación existentes en el sistema.

Por otro lado, los resultados promedios de remoción concernientes a la demanda bioquímica de oxígeno fueron de 89% para el humedal 1, para el humedal 2 de 94% y para el humedal 3 de 93%, evidenciando que los humedales 2 y 3 tienen los más altos porcentajes, esto pudo ser a la mayor profundidad de las raíces de la *Canna spp* que contribuyó a una mejor remoción. En el estudio de (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013), se muestran valores de remoción de 78% a 83% de demanda bioquímica de oxígeno utilizando la *Canna spp*; mientras que (Figuroa Gallegos, 1999) demuestra en sus resultados una remoción de 66% de demanda bioquímica de oxígeno con la especie del *Zantedeschia aethiopica*; realizando una comparación de resultados se tiene que en esta investigación la *Canna spp* superó los porcentajes de remoción dadas en dichos estudios.

Los resultados promedios de remoción de la demanda química de oxígeno fueron de 81% para el humedal 1, para el humedal 2 de 88% y para el humedal 3 de 87%, concluyendo que los humedales 2 y 3 tienen los más altos porcentajes, si se compara con (Figuroa Gallegos, 1999) que en su estudio obtuvo un 68% de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con la especie de *Zantedeschia aethiopica* podemos decir que el porcentaje de remoción es mayor. Teniendo en cuenta todos los porcentajes de remoción se comprueba que el sistema que tiene *Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp* tiende a remover mejor la materia orgánica.

La correlación con respecto a los sólidos suspendidos totales que existe en los sistemas de tratamiento es positiva en el humedal 2, puesto que a un 95% el tiempo de retención y la variación de plantas influyen en la remoción. Con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno existe una pequeña correlación lineal de 48% en el humedal 2 y por último para la demanda química de oxígeno existe una correlación lineal positiva de 20%. Con ello se logra determinar que la mejor correlación entre las variables se ha dado en el humedal 2 y3.

Esta investigación tiene amplios conocimientos para posteriores estudios en referencia al tema, sin embargo existen aún pequeños vacíos por estudiar respecto al tiempo de retención hidráulico que se pueda considerar. Asimismo el hecho de utilizar la *Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp* como plantas ornamentales en los sistemas fue uno de los aspectos más importantes para la obtención de resultados óptimos, es bueno recalcar que si el estudio se realiza con más muestreos, en un espacio más amplio y el análisis de más parámetros se obtendría mejores resultados.

## CONCLUSIONES

Se diagnosticó las condiciones iniciales físicas y químicas del agua residual doméstica, las cuales tuvieron concentraciones elevadas.

Se evaluó el efecto del tiempo de retención de 24, 48, 72 y 96 horas y la variación de especies de plantas ornamentales (*Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp*) en los sistemas de humedales artificiales para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas, dando como resultado que los tres sistemas lograron remover materia orgánica más del 80% en los tres parámetros de remoción (suspensos totales, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno).

Se logró identificar que los parámetros analizados varían de acuerdo al tiempo de retención, en el caso de la turbiedad, sólidos disueltos totales y conductividad fue de manera decreciente, el pH tuvo un pequeño aumento y la temperatura disminuyó, en los sólidos suspendidos totales fue de manera irregular, puesto que los humedales 1 y 3 aumentaron en las 24 y 48 horas, pero disminuyeron en las 72 y 96 horas, por otro lado en el humedal 2 se incrementó la concentración; en el caso de la demanda bioquímica de oxígeno hay un incremento hasta las 72 horas y a las 96 horas disminuyó; para la demanda química de oxígeno en el humedal 1 y 2 aumentó hasta las 72 horas y luego empieza a disminuir, en el humedal 3 se incrementó hasta las 48 horas pero disminuyó en las 72 y 96 horas.

Al evaluar la variación de plantas se tuvo un efecto significativo en los sistemas, puesto que los valores de la concentración inicial y los resultados después del tratamiento fueron: el nivel de turbiedad inició con 82,30 NTU y los resultados promedios disminuyeron a 17,18; 24,53 y 17,94 NTU; el valor inicial de sólidos disueltos totales fue de 1032,00 mg/L y disminuyó a 830,25; 828,00 y 820,00 mg/L; en el caso de conductividad inició con 1973,00  $\mu$ S/cm y disminuye a 1203,50; 1356,00 y 1186,25  $\mu$ S/cm; para el pH fue de 7,40 valor inicial y los valores de los resultados fueron de 7,61; 7,54 y 7,69; en el caso de la temperatura inicial es de 17,90 °C y los resultados finales son de 17,73; 17,58; 18,02 °C; para los sólidos suspendidos totales el valor inicial es de 37,80 mg/L disminuyendo a 9,65; 6,33 y 5,73 mg/L; para la demanda bioquímica de oxígeno se tuvo una concentración inicial de 250,50 mgO<sub>2</sub>/L y valores finales de 27,65; 16,45; 17,70; en el caso de la demanda química de oxígeno se tuvo 357,90 como valor inicial y 70,15; 44,60; 47,33 como resultados finales en los sistemas de humedales 1,2 3 respectivamente.

Al evaluar la composición de los sistemas de humedales se determinó que el mejor tiempo de retención para la remoción de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno es de 24 horas.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos de pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica y química de oxígeno están muy por debajo de los límites máximos permisibles (LMPs) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

## RECOMENDACIONES

Para posteriores investigaciones concernientes a este tema o para instituciones se debería considerar lo siguiente:

Para la construcción de los sistemas se debe tener en cuenta un espacio más amplio, dependiendo la escala que se desee construir, con el fin de tener medidas más exactas en el dimensionamiento de los humedales; además se recomienda que en posteriores estudios variar la granulometría de los componentes del sustrato en los sistemas y ver qué resultados se obtienen.

Realizar una evaluación y prevenir frente a las condiciones climatológicas, ya que el tratamiento se puede ver afectado por ello.

Debido a que no se cuenta con muchos estudios en nuestro país, se recomienda aplicar la *Zantedeschia aethiopica* y *Canna spp* en humedales como especies para la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas, ya que se demostró la eficiencia de las mismas y con un buen mantenimiento se lograría mejorar la calidad de agua y generar ingresos económicos.

Se recomienda al Gobierno Regional y municipalidades de Cajamarca que consideren esta investigación para realizar un adecuado tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que es una tecnología limpia y podría generar ingresos con la producción de las plantas ornamentales.

## REFERENCIAS

- Alianza por el agua. (2014). Género y agua en centro américa. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO1.pdf>
- Arellano Díaz, J., & Guzmán Pantoja, J. E. (2011). Ingeniería Ambiental. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, 2011. Obtenido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat04910a&AN=upn.ebr10806619&lang=es&site=eds-live&custid=s4509042>
- Báez Noguera, J. (2007). Ingeniería ambiental sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales.
- Baron, L. M. (2009). Aguas residuales. Córdoba, AR: El Cid Editor | apuntes. Obtenido de <http://www.ebrary.com>
- Batista Yee, C. Banco mundial de la salud, un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Obtenido de [https://eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium\\_Spanish\\_pdfs/compendio\\_sp.pdf](https://eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf)
- Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. (2008). Obtenido de [http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/legislacion/DS\\_002\\_2008.pdf](http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/legislacion/DS_002_2008.pdf).
- Definición de materia orgánica. (2013). Obtenido de Enciclopedia Culturalia: <https://edukavital.blogspot.pe/2013/10/definicion-de-materia-organica.html>.
- Definición de remoción. (s.f.). Obtenido de DefiniciónABC: <https://www.definicionabc.com/general/remocion.php>
- Duarte, Y. (2012). Cartucho. Obtenido de Flores Silvestres: <http://florsilvextre.blogspot.pe/2012/09/cartucho.html>
- Fair, G. M., Geyer, J. C., & Okun, D. A. (2008). Purificación de Agua y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. México: Limusa.
- Figueroa Gallegos, J. A. (Mayo de 1999). Artículo científico. Obtenido de bvsde: [https://repositorio.itesm.mx/bitstream/handle/11285/569834/DocsTec\\_10671.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.itesm.mx/bitstream/handle/11285/569834/DocsTec_10671.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Flavia. (2016). Conoce el cuidado de la Canna. Obtenido de Blog Gardencenterejea: <https://blog.gardencenterejea.com/canna/>
- Flores idóneas para el verano. (2016). Obtenido de Mantenimiento integral: <http://atcmantenimientos.com/jardines-piscinas-comunidades-limpieza/flores-idoneas-verano/>

- García Serrano, J. & Corzo Hernández A. (Noviembre de 2008). Depuración con humedales construidos. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/353311819/GARCIA-and-CORZO-2008-Depuracion-Con-Humedales-Construidos>
- García Trujillo, Z. M. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Obtenido de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1292/1/garcia\\_tz.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1292/1/garcia_tz.pdf)
- Guerrero, Manuel. El agua. México, D.F., MX: FCE - Fondo de Cultura Económica, 2006. ProQuest ebrary. Web. 6 October 2017.
- Haro González, M. E., & Aponte Hernández, N. O. (2010). Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1399/Tesina.pdf?sequence=1>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill.
- Humedal. (s.f.). Obtenido de Glosario de Riego: <https://www.riego.org/glosario/humedal/>
- Jaramillo Gallego, M., Agudelo Cadavid, R., & Peñuela Mesa, G. (2016). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. Obtenido de Universidad de Antioquia: <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/fnsp/article/view/20108>
- Kuczynski Godard, P. P. (2017). Mensaje a la nación. Obtenido de <https://noticia.educacionenred.pe/2017/07/mensaje-nacion-texto-completo-mensaje-presidencial-2017-pedro-pablo-kuczynski-godard-128370.html>
- Lara Borrero, J. A. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Universidad politecnica de Cataluña. Obtenido de <https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>
- Larriva Vásquez, J. B., & González Díaz, O. A. (2016). Cinética de la remoción de DBO5 en humedales con flujo. Obtenido de Scielo: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n1/riha02117.pdf>
- Lehman, A. H. (2015). Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales. Madrid: Ibergarceta Publicaciones.
- Londoño Cardona, L. A. & Marín Vanegas, C. (2009). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en Humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética
- Los humedales artificiales: Componentes y tipos. (01 de febrero de 2013). Obtenido de Atl El portal del Agua desde México: [http://atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5954:los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos&Itemid=462](http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5954:los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos&Itemid=462)
- Maldonado Yactayo, V. A. (2005). Uso de wetlands para el tratamiento y reuso de aguas residuales domésticas. Obtenido de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/641>

- Mendoza, M. (2015). Parámetros de Calidad de Aguas Residuales. Obtenido de Prezi:  
<https://prezi.com/0uzwms4iqkv4/parametros-de-calidad-de-aguas-residuales/>
- Metcalf, E. (s.f.). Tratamiento y depuración de Aguas Residuales. Obtenido de  
[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_135\\_183\\_88\\_1242.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf)
- Mihelcic, J. R. & Zimmerman J. B. (2011). Ingeniería ambiental. Obtenido de  
<http://www.academia.edu/16460327/220588573-Ingenieria-ambiental-fundament-Mihelcic-James-R-pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). Descargas de aguas residuales sin tratamiento. Obtenido de  
<http://sinia.minam.gob.pe/indicador/1002>
- Ministerio de Vivienda y Construcción. Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Obtenido de  
<http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>
- Morales, G., & López, D., & Vera, I., & Vidal, G. (2013). Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas. *Theoria*, 22 (1), 33-46.
- Morales Novelo, J. A. & Rodríguez Tapia, L. (2007). Política hídrica en la zona metropolitana del Valle de México y riesgos para suministrar agua al uso doméstico e industrial. Obtenido de  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsvlx&AN=vlex.690692933&lang=es&site=eds-live&custid=s4509042>
- Naturaleza del Agua Residual y su Tratamiento. (s.f.). Obtenido de  
[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_135\\_183\\_88\\_1242.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf)
- Núñez Burga, R. M. F. (2016). Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente *Cyperus Papyrus* (Papiro). Obtenido de  
[http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU\\_976a2d398026d0954f94d940beeff3ed](http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_976a2d398026d0954f94d940beeff3ed)
- OMS. (s.f.). Agua. Obtenido de Organización Mundial de la Salud:  
<http://www.who.int/topics/water/es/>
- Orjuela Gutiérrez, M. I., & Lizarazo Becerra, J. M. (s.f.). Sistemas de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA. (Diciembre de 2015). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Fiscalización ambiental para el cambio. Lima, San Luis, Perú: Grafica Yovera Sac.
- Plantas Ornamentales. (s.f.). Obtenido de <http://kragando.galeon.com/>
- Pulido, S. P., Miranda, V. A., Guzman Guavita, M. & Molano, E. J. Obtenido de  
<https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>

- Prieto Bolívar, Carlos Jaime. El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación (3a. ed.). Bogotá, CO: Ecoe Ediciones, 2009. ProQuest ebrary. Web. 7 October 2017.
- Ramalho, R. S. (1996). Tratamiento de agua residual. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Retención. (s.f.). Obtenido de The Free Dictionary: <https://es.thefreedictionary.com/retenci%C3%B3n>
- Retención hidráulica. (s.f.). Obtenido de Real Academia de Ingeniería: <http://diccionario.raing.es/es/lema/tiempo-de-retenci%C3%B3n-hidr%C3%A1ulico>
- Superintendencia nacional de servicios de saneamiento. (2008). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Obtenido de <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar2.pdf>
- Tamayo Tamayo, M. (s.f.). Tipos de Investigación. Obtenido de trabajodegrado: [https://trabajodegradoucm.weebly.com/uploads/1/9/0/9/19098589/tipos\\_de\\_investigacion.pdf](https://trabajodegradoucm.weebly.com/uploads/1/9/0/9/19098589/tipos_de_investigacion.pdf)
- Tito Cantoral, R. (2015). Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie paraguaitas *Cyperus alternifolius* en humedales artificiales, Urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho 2015. Obtenido de Repositorio Universidad César Vallejo: [http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/32/browse?rpp=20&offset=0&etal=1&sort\\_by=1&type=author&value=Benites+Alfaro%2C+Elmer&order=ASC](http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/32/browse?rpp=20&offset=0&etal=1&sort_by=1&type=author&value=Benites+Alfaro%2C+Elmer&order=ASC)
- United States Environmental Protection Agency. (1993). Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales. Estados Unidos.
- Wiki (2007). Ingeniería de aguas residuales. Madrid, ES: Wiki. Obtenido de <http://www.ebrary.com>
- Vidal, G., & Hormazábal, S. (Diciembre 2016). Las fibras vegetales y sus aplicaciones. Chile: Okey Diseño y Publicidad. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/profile/Gladys\\_Vidal/publication/322852114\\_Las\\_fibras\\_vegetales\\_y\\_sus\\_aplicaciones\\_Innovacion\\_en\\_su\\_generacion\\_a\\_partir\\_de\\_la\\_depuracion\\_de\\_agua/links/5a7290cfaca2720bc0d9f34d/Las-fibras-vegetales-y-sus-aplicaciones-Innovacion-en-su-generacion-a-partir-de-la-depuracion-de-agua.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gladys_Vidal/publication/322852114_Las_fibras_vegetales_y_sus_aplicaciones_Innovacion_en_su_generacion_a_partir_de_la_depuracion_de_agua/links/5a7290cfaca2720bc0d9f34d/Las-fibras-vegetales-y-sus-aplicaciones-Innovacion-en-su-generacion-a-partir-de-la-depuracion-de-agua.pdf)
- Pérez, N. & Bermúdez, R. (2004). Caracterización de las aguas residuales. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upnortesp/reader.action?docID=3180017&query=aguas+residuales>

## ANEXOS

### Anexo 01

Figura 57: Toma de muestras para determinar concentración inicial de parámetros



Fuente: Elaboración propia

### Anexo 02

Figura 58: Construcción de los sistemas de humedales



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 03**

Figura 59: Agregados para el sustrato de los humedales



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 04**

Figura 60: Sustrato de los sistemas



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 05**

Figura 61: Siembra de plantas



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 06**

Figura 62: Adaptación de las plantas en los sistemas



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 07**

Figura 63: Toma de muestras después del tratamiento en el humedal 2



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 08**

Figura 64: Toma de muestras después del tratamiento en el humedal 3



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 09**

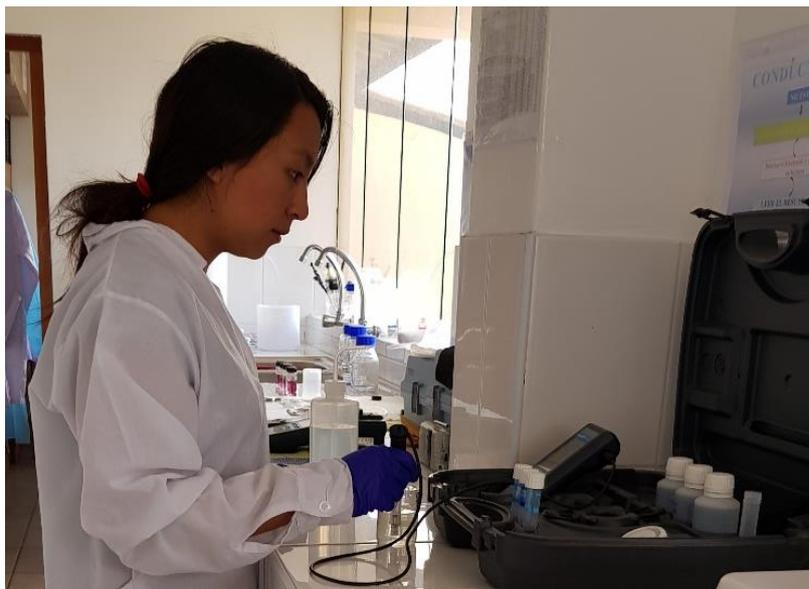
Figura 65: Análisis de pH



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 10**

Figura 66: Análisis de conductividad



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 11**

**Figura 67: Resultados de concentración inicial del agua residual doméstica**



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA**  
REGISTRO N° LE - 084



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0917596**

| ENSAYOS   |                      |     | FISICOQUÍMICOS |   |   |
|---|----------------------|-----|----------------|---|---|
| Código Cliente  | M1                   |     |                |   |   |
| Código Laboratorio                                    | 0917596-01           |     |                |   |   |
| Matriz de Agua  | RESIDUAL             |     |                |   |   |
| Descripción   | Doméstica            |     |                |   |   |
| Localización de la Muestra                            | Sector Columbito     |     |                |   |   |
| Parámetro   | Unidad               | LCM | Resultados     |   |   |
| (*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | 2.6 | 250.5          | - | - |
| (*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | 8.3 | 357.9          | - | - |
| (*) Sólidos Suspendedos Totales                       | mg/L                 | 2.5 | 37.8           | - | - |

| ENSAYOS                        |           |     | MICROBIOLÓGICOS    |   |   |
|--------------------------------|-----------|-----|--------------------|---|---|
| Parámetro                      | Unidad    | LCM | Resultados         |   |   |
| (*) Coliformes Termotolerantes | NMP/100mL | 1.8 | 16x10 <sup>4</sup> | - | - |

*relación DBO<sub>5</sub> = 0.7 DQO*

**Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento**  
Analista Responsable de Química  
CIP: 119544

**Blgo. Enver Zulueta Santa Cruz**  
Analista Responsable de Biología  
CBP: 9778

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
Cajamarca, 21 de Setiembre de 2017.

Cód: RT-15-10-01

Fecha de Emisión: 06/06/2017

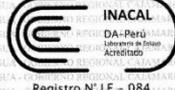
Rev: N°05

Página: 2 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"  
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio@delagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140

**Anexo 12**

**Figura 68: Resultados de los parámetros a las 24 horas**

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
CON REGISTRO N° LE-084

Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0218064**

| ENSAYOS   |                      | FISICOQUÍMICOS |            |      |
|---|----------------------|----------------|------------|------|
| Código Cliente                                    | AR 1                 | AR 2           | AR 3       |      |
| Código Laboratorio                                | 0218064-01           | 0218064-02     | 0218064-03 |      |
| Matriz de Agua                                    | RESIDUAL             | RESIDUAL       | RESIDUAL   |      |
| Descripción                                       | Doméstica            | Doméstica      | Doméstica  |      |
| Localización de la Muestra                        | Cajamarca            | Cajamarca      | Cajamarca  |      |
| Sólidos Suspendidos Total                         | mg/L                 | 2.5            | 10.1       | 2.9  |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | 2.6            | 9.6        | 6.1  |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | 8.3            | 60.4       | 32.2 |
|   |                      |                |            | 9.3  |

| Ensayo  | Unidad               | Método de Ensayo Utilizados   |
|---|----------------------|---|
| Sólidos Suspendidos Totales                       | mg/L                 | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,D, 22nd Ed. 2012. Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C                       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test                  |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD) Closed Reflux, Colorimetric Method |

**OBSERVACIONES**

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(\*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

**NOTAS FINALES**

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

**Cajamarca, 16 de Febrero de 2018.**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cód: RTI-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 2 de 2

---

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO  
 DR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FON: 0990000 anexo 1140

Fuente: Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca

**Anexo 13**

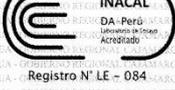
**Figura 69: Resultados de los parámetros a las 48 horas**



**GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**

**CON REGISTRO N° IE-084**



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0218065**

| ENSAYOS   |                      | FISICOQUÍMICOS |            |            |
|---|----------------------|----------------|------------|------------|
| Código Cliente                                    |                      | AR 1           | AR 2       | AR 3       |
| Código Laboratorio                                |                      | 0218065-01     | 0218065-02 | 0218065-03 |
| Matriz de Agua                                    |                      | RESIDUAL       | RESIDUAL   | RESIDUAL   |
| Descripción                                       |                      | Doméstica      | Doméstica  | Doméstica  |
| Localización de la Muestra                        |                      | Cajamarca      | Cajamarca  | Cajamarca  |
| Sólidos Suspendidos Total                         | mg/L                 | 2.5            | 13.0       | 6.1        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | 2.6            | 38.1       | 15.8       |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | 8.3            | 74.7       | 45.7       |
|   |                      |                |            | 69.1       |

| Ensayo  | Unidad               | Método de Ensayo Utilizados  |
|---|----------------------|--|
| Sólidos Suspendidos Totales                       | mg/L                 | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D, 22nd Ed. 2012: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C                        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test                  |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method |

**OBSERVACIONES**

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado.

(\*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

**NOTAS FINALES**

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

**Cajamarca, 16 de Febrero de 2018.**

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**

Cod: RT1-5.10-01. Fecha de Emisión: 26/08/2014. Rev: N°04

Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO  
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
 e-mail: laboratorio@delagua@gob.regioncajamarca.gob.pe / laboratorio@delagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140

Fuente: Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca

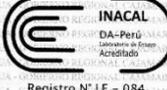
**Anexo 14**

**Figura 70: Resultados de los parámetros a las 72 horas**



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

## INFORME DE ENSAYO N° IE 0218067

| ENSAYOS   |                      | FISICOQUÍMICOS |            |            |            |
|---|----------------------|----------------|------------|------------|------------|
| Código Cliente                                    | AR 1                 | AR 2           | AR 3       | AR 4       | AR 5       |
| Código Laboratorio                                | 0218067-01           | 0218067-02     | 0218067-03 | 0218067-04 | 0218067-05 |
| Matriz de Agua                                    | RESIDUAL             | RESIDUAL       | RESIDUAL   | RESIDUAL   | RESIDUAL   |
| Descripción                                       | Doméstica            | Doméstica      | Doméstica  | Doméstica  | Doméstica  |
| Localización de la Muestra                        | Cajamarca            | Cajamarca      | Cajamarca  | Cajamarca  | Cajamarca  |
| Sólidos Suspendidos Total                         | mg/L                 | 2.5            | 9.3        | 6.9        | 7.9        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | 2.6            | 50.1       | 26.4       | 27.2       |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | 8.3            | 101.4      | 63.0       | 68.6       |

| Ensayo  | Unidad               | Método de Ensayo Utilizados  |
|---|----------------------|--|
| Sólidos Suspendidos Totales                       | mg/L                 | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C           |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test                  |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method |

**OBSERVACIONES**

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(\*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

**NOTAS FINALES**

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

**Cajamarca, 16 de Febrero de 2018.**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cód: RT1-5-10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev:N°04 Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO N° 0218067-01 UTS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU

Fuente: Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca

**DÍAZ VERA, Elena Jeaneth  
VALDIVIA ODIAGA, Iris Andrea**

**Anexo 15**

**Figura 71: Resultados de los parámetros a las 96 horas**



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
Registro N° LE - 084



CON REGISTRO N° LE-084

### INFORME DE ENSAYO N° IE 0218071

| ENSAYOS   |                      | FISICOQUÍMICOS |            |            |            |
|---|----------------------|----------------|------------|------------|------------|
| Código Cliente                                    | AR 1                 | AR 2           | AR 3       | AR 4       | AR 5       |
| Código Laboratorio                                | 0218071-01           | 0218071-02     | 0218071-03 | 0218071-04 | 0218071-05 |
| Matriz de Agua                                    | RESIDUAL             | RESIDUAL       | RESIDUAL   | RESIDUAL   | RESIDUAL   |
| Descripción                                       | Doméstica            | Doméstica      | Doméstica  | -          | -          |
| Localización de la Muestra                        | Cajamarca            | Cajamarca      | Cajamarca  | -          | -          |
| Sólidos Suspendidos Total                         | mg/L                 | 2.5            | 6.2        | 9.4        | 4.0        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | 2.6            | 12.8       | 17.5       | 17.0       |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | 8.3            | 44.1       | 37.5       | 42.3       |

| Ensayo  | Unidad               | Método de Ensayo Utilizados   |
|---|----------------------|---|
| Sólidos Suspendidos Totales                       | mg/L                 | SMEVVV-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 22nd Ed. 2012; Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C                       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg O <sub>2</sub> /L | SMEVVV-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD) - 5-Day BOD Test                 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg O <sub>2</sub> /L | SMEVVV-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012; Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method |

**OBSERVACIONES**

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado.

(\*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

**NOTAS FINALES**

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida solo si tiene firma y sello original.

✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.

✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.

✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.

✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.

✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

**Cajamarca, 19 de Febrero de 2018.**

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**

Cód: RTI-5.10.01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04 Página: 2 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO  
 DR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ  
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio@delagua@hotmail.com FON: 0990000 anexo 1140

Fuente: Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca

Anexo 16

Figura 72: Indicaciones para muestreo de agua residual

| Requisitos para toma de muestras de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo |  |                                   |   |                              |
|--|--|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Determinación/Parámetro  | Recipiente / Frasco<br>(Plástico, P) (Vidrio, V) | Volumen mínimo de<br>Muestra (mL) | Preservación y Concentración  | Tiempo Máximo<br>de Duración |
| <b>Fisicoquímico</b>   |  |                                   |   |                              |
| Temperatura  | P, V   | 1000                              | No es posible   | 15 min                       |
| pH   | P, V   | 50                                | No es posible   | 15 min                       |
| DBO(5)   | P, V   | 1000                              | Refrigerar a 4 °C   | 48 horas                     |
| DQO  | P, V   | 100                               | Analizar lo más pronto posible o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar a 4 °C | 28 días                      |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST)  | P, V   | 100                               | Refrigerar a 4 °C   | 7 días                       |
| Sólidos Disueltos Totales (SDT)  | P, V   | 100                               | Refrigerar a 4 °C   | 7 días                       |
| <b>Microbiológico</b>  |  |                                   |   |                              |
| Coliformes Termotolerantes (NMP)   | V, esterilizado                                  | 250                               | Refrigerar a 4 °C   | 6 horas                      |

Fuente: Ficha Adaptada del Protocolo de Monitoreo D.S. 003 – 2010 Ministerio de Vivienda

Anexo 17

Figura 73: Ficha de monitoreo de los sistemas

| MONITOREO DEL SISTEMA                |                   |                  |                      |                 |                           |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|
| Parámetros/ Determinación            | Fecha de muestreo | Hora de muestreo | Humedal 1            | Humedal 2       | Humedal 3                 |
| Turbiedad                            | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | <del>24</del> 24 NTU | 30.80 NTU       | 47.60 NTU                 |
| Sólidos Disueltos Totales (TDS)      | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | 1077 mg/L            | 889 mg/L        | <del>1108</del> 1108 mg/L |
| Conductividad                        | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | 1370 $\mu S/cm$      | 1687 $\mu S/cm$ | 1410 $\mu S/cm$           |
| pH                                   | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | 7.24                 | 7.19            | 7.23                      |
| Temperatura                          | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | 20.70 °C             | 20.60 °C        | 20.70 °C                  |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST)    | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | laboratorio          | laboratorio     | laboratorio               |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | laboratorio          | laboratorio     | laboratorio               |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)     | 06 - 02 - 2018    | 12:30 pm         | laboratorio          | laboratorio     | laboratorio               |

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 18

Tabla 60: Tabla de estadísticos del humedal 1

|                  |          | Estadísticos del Humedal 1 |  |                                |                   |                                |  |   |  |
|------------------|----------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|--|---|--|
|                  |          | Turbiedad<br>(NTU)         | Sólidos<br>Disueltos<br>Totales (mg/L) | Conductividad<br>( $\mu$ S/cm) | pH                | Temperatura<br>( $^{\circ}$ C) | Sólidos<br>Suspendidos<br>Totales (mg/L) | Demanda<br>Bioquímica de<br>Oxígeno<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | Demanda<br>Química de<br>Oxígeno<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
| N                | Válido   | 4                          | 4                                      | 4                              | 4                 | 4                              | 4  | 4   | 4  |
|                  | Perdidos | 0                          | 0                                      | 0                              | 0                 | 0                              | 0  | 0   | 0  |
| Media            |          | 17,1850                    | 830,2500                               | 1203,5000                      | 7,6075            | 17,7250                        | 9,6500                                   | 27,6500   | 70,1500  |
| Mediana          |          | 15,6450                    | 862,0000                               | 1272,0000                      | 7,5000            | 17,6500                        | 9,7000                                   | 25,4500   | 67,5500  |
| Moda             |          | 6,85 <sup>a</sup>          | 520,00 <sup>a</sup>                    | 795,00 <sup>a</sup>            | 7,24 <sup>a</sup> | 14,90 <sup>a</sup>             | 6,20 <sup>a</sup>                        | 9,60 <sup>a</sup>   | 44,10 <sup>a</sup>   |
| Desv. Desviación |          | 11,98791                   | 244,10295                              | 299,54243                      | ,43022            | 2,38659                        | 2,79583                                  | 19,65986  | 24,29630   |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 19

Tabla 61: Tabla de estadísticos del humedal 2

|                  |          | Estadísticos del Humedal 2 |  |                                |                   |                                |   |   |  |
|------------------|----------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|---|---|--|
|                  |          | Turbiedad<br>(NTU)         | Sólidos Disueltos<br>Totales<br>(mg/L) | Conductividad<br>( $\mu$ S/cm) | pH                | Temperatura<br>( $^{\circ}$ C) | Sólidos<br>Suspendidos<br>Totales<br>(mg/L) | Demanda<br>Bioquímica de<br>Oxígeno<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | Demanda<br>Química de<br>Oxígeno<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
| N                | Válido   | 4                          | 4                                      | 4                              | 4                 | 4                              | 4   | 4   | 4  |
|                  | Perdidos | 0                          | 0                                      | 0                              | 0                 | 0                              | 0   | 0   | 0  |
| Media            |          | 24,5250                    | 828,0000                               | 1356,0000                      | 7,5350            | 17,5750                        | 6,3250                                      | 16,4500   | 44,6000  |
| Mediana          |          | 24,6000                    | 800,0000                               | 1392,5000                      | 7,5150            | 17,1000                        | 6,5000                                      | 16,6500   | 41,6000  |
| Moda             |          | 18,10 <sup>a</sup>         | 525,00 <sup>a</sup>                    | 811,00 <sup>a</sup>            | 7,17 <sup>a</sup> | 15,50 <sup>a</sup>             | 2,90 <sup>a</sup>                           | 6,10 <sup>a</sup>   | 32,20 <sup>a</sup>   |
| Desv. Desviación |          | 6,45103                    | 281,72090                              | 481,64095                      | ,41203            | 2,15928                        | 2,68126                                     | 8,31966   | 13,46526   |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 20

Tabla 62: Tabla de estadísticos del humedal 3

|                  |          | Estadísticos del Humedal 3 |  |                                |                   |                                |   |   |  |
|------------------|----------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|---|---|--|
|                  |          | Turbiedad<br>(NTU)         | Sólidos Disueltos<br>Totales<br>(mg/L) | Conductividad<br>( $\mu$ S/cm) | pH                | Temperatura<br>( $^{\circ}$ C) | Sólidos<br>Suspendidos<br>Totales<br>(mg/L) | Demanda<br>Bioquímica de<br>Oxígeno<br>(mg O <sub>2</sub> /L) | Demanda<br>Química de<br>Oxígeno<br>(mg O <sub>2</sub> /L) |
| N                | Válido   | 4                          | 4                                      | 4                              | 4                 | 4                              | 4   | 4   | 4  |
|                  | Perdidos | 0                          | 0                                      | 0                              | 0                 | 0                              | 0   | 0   | 0  |
| Media            |          | 17,9400                    | 820,0000                               | 1186,2500                      | 7,6900            | 18,0250                        | 5,7250                                      | 17,7000   | 47,3250  |
| Mediana          |          | 9,5000                     | 861,0000                               | 1254,5000                      | 7,7350            | 17,8500                        | 5,9500                                      | 18,8500   | 55,4500  |
| Moda             |          | 5,16 <sup>a</sup>          | 450,00 <sup>a</sup>                    | 684,00 <sup>a</sup>            | 7,23 <sup>a</sup> | 15,70 <sup>a</sup>             | 3,00 <sup>a</sup>                           | 5,90 <sup>a</sup>   | 9,30 <sup>a</sup>  |
| Desv. Desviación |          | 19,90302                   | 298,33650                              | 384,57975                      | ,36542            | 2,06135                        | 2,60176                                     | 8,92525   | 28,27206   |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 21

Figura 74: Ficha para registro en campo

| Registro de datos en campo  |  |                        |
|---|--|------------------------|
| Nombre del lugar de recolección de muestra  | Jr. Armando Revoredo N° 405                                    |                        |
| <b>Afluente</b>   |  |                        |
| Denominación del punto de monitoreo   | Sistema de Humedales   |                        |
| <b>Fecha</b>  | <b>Hora</b>  | <b>Caudal afluente</b> |
| 05 / 02 / 2018  | 12:30 pm   | 22 litros / día aprox. |
| Eventuales observaciones al punto de monitoreo  |  |                        |
| Características del agua residual   | color gris   |                        |
| <b>Efluente</b>   |  |                        |
| Denominación del punto de monitoreo   | Sistema de Humedales   |                        |
| <b>Fecha</b>  | <b>Hora</b>  | <b>Caudal efluente</b> |
| 06 / 02 / 2018  | 12:30 pm   | 16 litros / día aprox. |
| Eventuales observaciones al punto de monitoreo  | Se aprecia que al salir el efluente existe rasgas de sustrato. |                        |
| Características del agua residual   | color ligeramente amarillo                                     |                        |
| Cajamarca, ..06.....de ..Febrero.....del 2018<br>Díaz Vera, Elena<br>Valdivia Odiaga Iris<br>Responsables del monitoreo |  |                        |

Fuente: Ficha Adaptada del Protocolo de Monitoreo D.S. 003 – 2010 Ministerio de Vivienda

Anexo 22

Figura 75: Etiqueta para muestras

| Etiqueta para muestras de agua residual    |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
| Nombre del lugar de recolección de muestra | Jr. Armando Revoredo N° 405                   |   |   |   |
| Denominación del punto de monitoreo        | Sistema de Humedales                          |   |   |   |
| N° muestra (orden de toma de muestra)      | AR-1  |   |   |   |
| Fecha y hora                               | 06/02/2018 - 12:30 pm                         |   |   |   |
| Ensayo Físicoquímico                       | <input checked="" type="checkbox"/> Turbiedad | <input checked="" type="checkbox"/> TDS | <input checked="" type="checkbox"/> Conductividad | <input checked="" type="checkbox"/> pH <input checked="" type="checkbox"/> T° |
| Preservación                               | Ninguna                                       |   |   |   |

Fuente: Ficha Adaptada del Protocolo de Monitoreo D.S. 003 – 2010 Ministerio de Vivienda