

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**

(Creada por Ley Nro. 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**TESIS**

**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA MATERIA  
ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL  
TRATAMIENTO DE DOS HUMEDALES  
ARTIFICIALES EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
AGRARIA CALLQUI – HUANCVELICA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. MENDOZA QUISPE, JHERSSON ALBERTO**

**PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**HUANCVELICA, PERÚ**

**2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

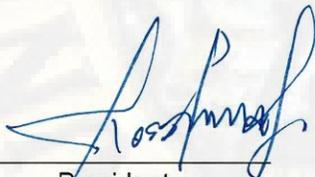
En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 07 días del mes de agosto del año 2019, a horas 9:00 a.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **Ing. Héctor José LA ROSA GUERRERO (PRESIDENTE)**, **Mg. Cesar CASTAÑEDA CAMPOS (SECRETARIO)**, **M.Sc. Fernando Martín TORIBIO ROMÁN (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 099-2018-FCI-UNH, de fecha 20 de agosto del 2018 y ratificados con Resolución de Decano N° 138-2019-FCI-UNH de fecha 02 de agosto del 2019, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE DOS HUMEDALES ARTIFICIALES EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA CALLQUI-HUANCAVELICA", presentado por el Bachiller **Jheresson Alberto MENDOZA QUISPE**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; en presencia del **M.Sc. Jorge Luis HUERE PEÑA**, como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 10:30 am, se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO

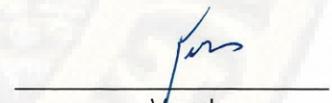
POR... UNANIMIDAD

DESAPROBADO

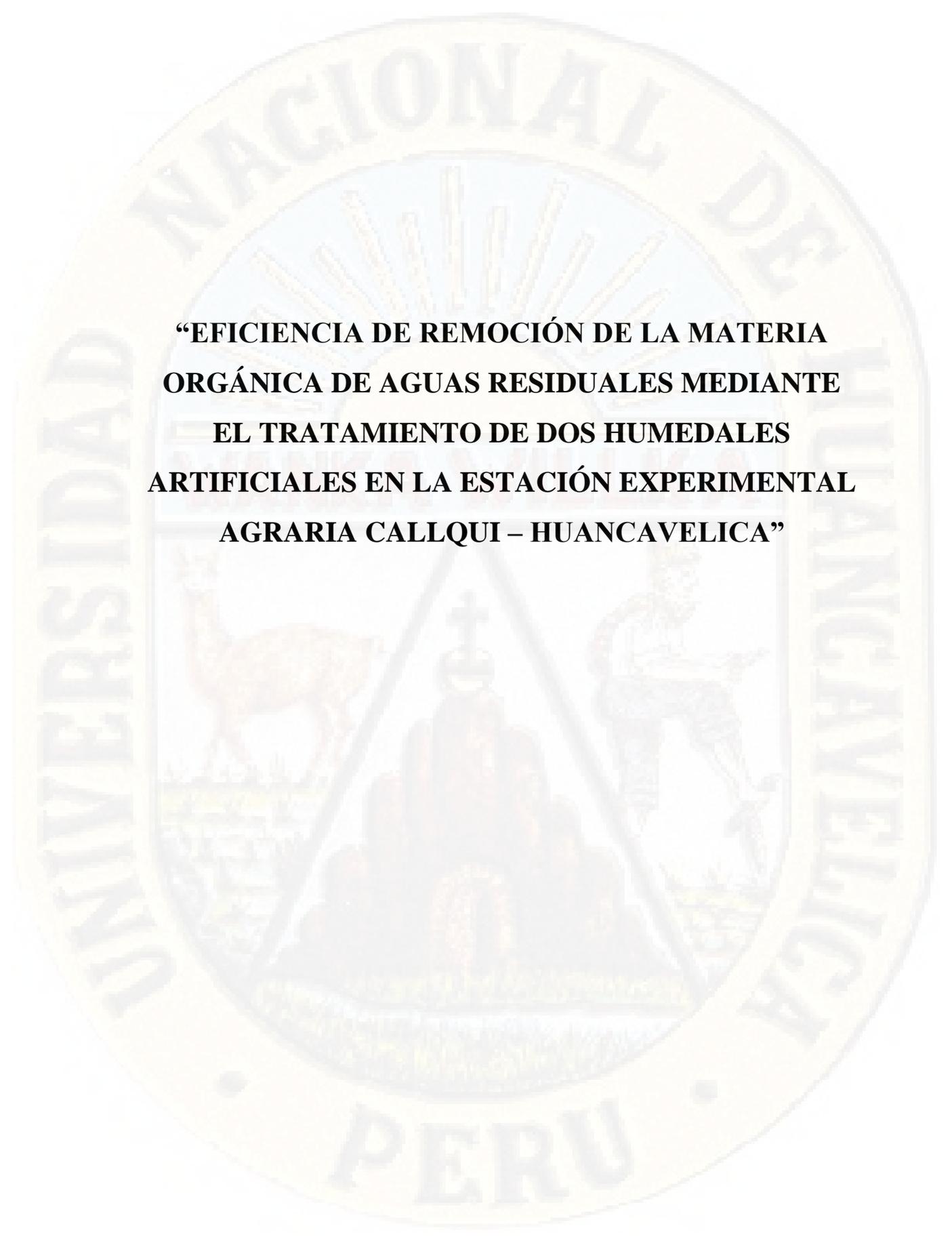
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

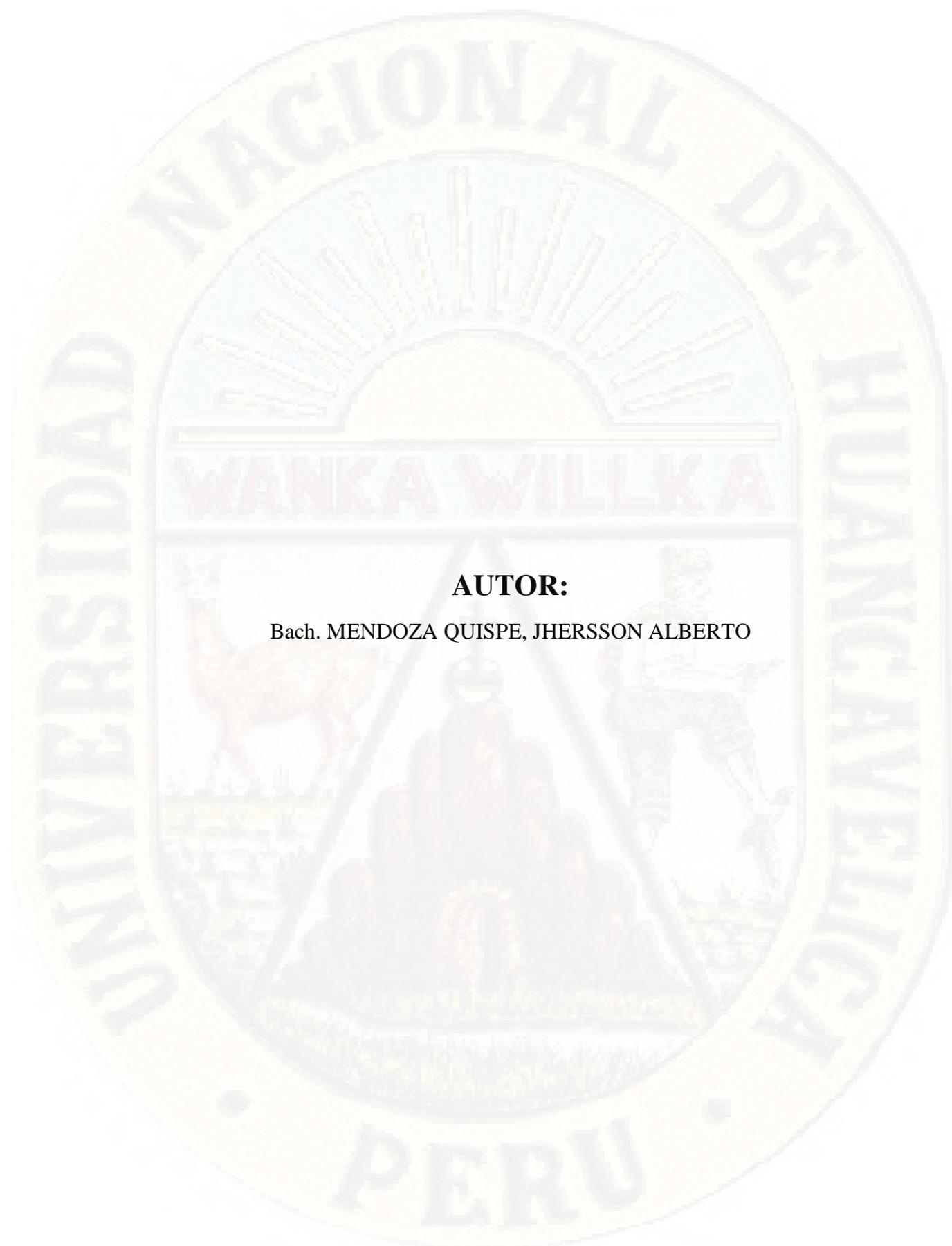
  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
V° B° Decano

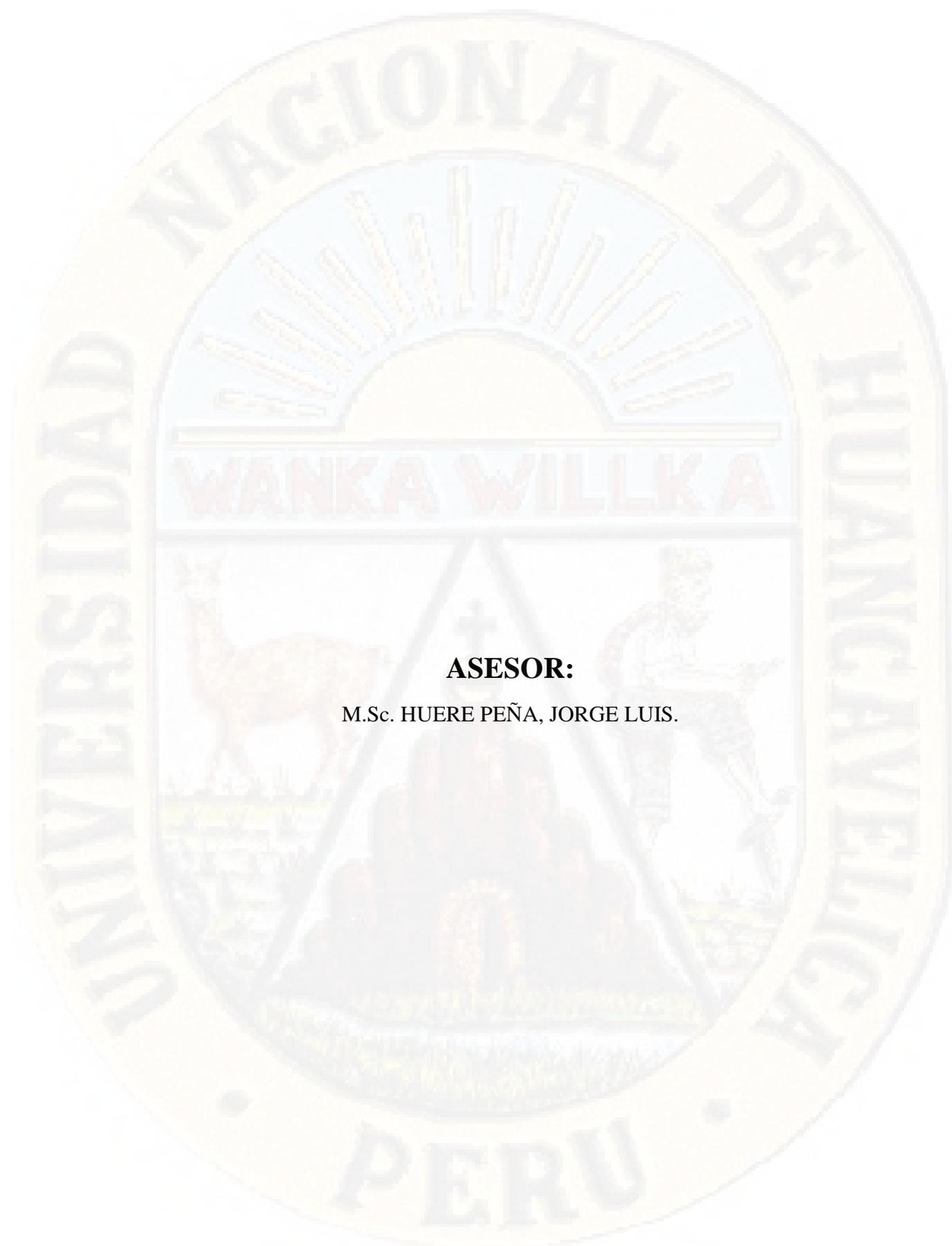


**“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA MATERIA  
ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE  
EL TRATAMIENTO DE DOS HUMEDALES  
ARTIFICIALES EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
AGRARIA CALLQUI – HUANCABELICA”**



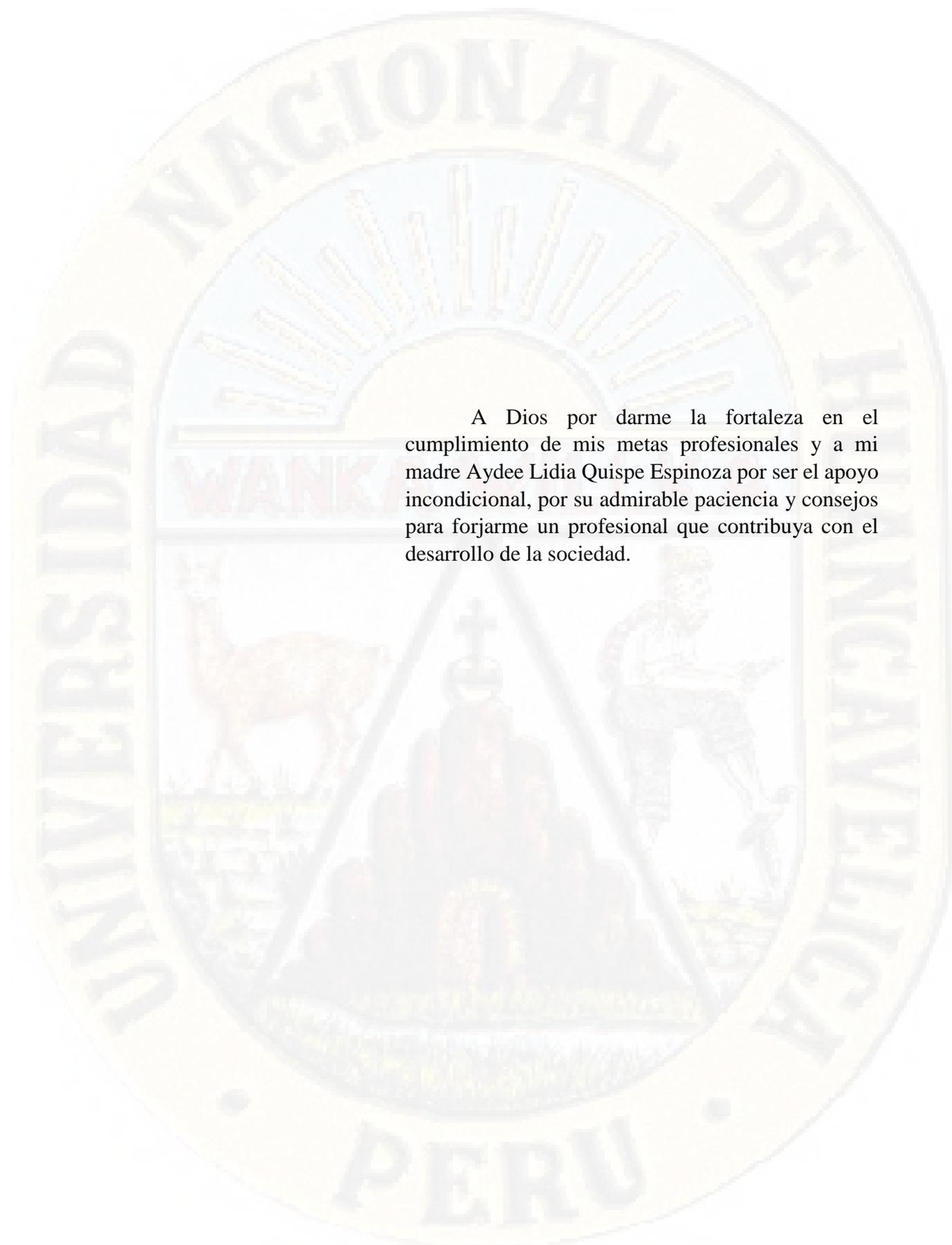
**AUTOR:**

Bach. MENDOZA QUISPE, JHERSSON ALBERTO



**ASESOR:**

M.Sc. HUERE PEÑA, JORGE LUIS.



A Dios por darme la fortaleza en el cumplimiento de mis metas profesionales y a mi madre Aydee Lidia Quispe Espinoza por ser el apoyo incondicional, por su admirable paciencia y consejos para forjarme un profesional que contribuya con el desarrollo de la sociedad.

## **AGRADECIMIENTOS:**

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Huancavelica – Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y a los docentes por el apoyo incondicional en la elaboración del presente trabajo de investigación.

Al M.Sc Jorge Luis. Huere Peña, asesor de esta tesis, por su orientación y apoyo constante para desarrollar exitosamente esta tesis de investigación.

Al Ing. Julio Daniel. Enríquez Quispe, por su orientación y apoyo constante para desarrollar exitosamente esta tesis de investigación.

Al laboratorio de nutrición animal y evaluación de alimentos de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional de Huancavelica por el apoyo con equipos y así cumplir los objetivos de la tesis y en especial al M.Sc Jose. Paco Contreras por la ayuda incondicional para el desarrollo de esta tesis de investigación.

A los trabajadores del Centro Experimental Agraria – Callqui por los favores incondicionales que contribuyeron en el desarrollo de la tesis.

Finalmente, a mi familia por su apoyo incondicional y ante todo a mi madre por su apoyo y amor inconmensurable.

# ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
AGRADECIMIENTOS: .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xvii
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN .....	xx
CAPÍTULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos .....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo general .....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Limitaciones .....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes .....	6
2.2. Bases teóricas sobre el humedal subsuperficial de flujo horizontal .....	11
2.2.1. Teoría de transferencia de gases-doble capa .....	11
2.2.2. Teoría de la penetración .....	12
2.2.3. Teoría de la biopelícula .....	13
2.3. Bases conceptuales .....	14
2.3.1. Aguas residuales.....	14
2.3.2. Humedales artificiales .....	20
2.3.3. Sistemas de aire difuso .....	33
2.4. Definición de términos .....	33

2.5.	Hipótesis.....	38
2.5.1.	Hipótesis general.....	38
2.5.2.	Hipótesis específicas.....	38
2.6.	Variables.....	38
2.6.1.	Variables independientes.....	38
2.6.2.	Variable dependiente.....	38
2.6.3.	Variables intervinientes.....	39
2.7.	Operacionalización de variables.....	39
CAPÍTULO III.....		42
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		42
3.1.	Ámbito temporal y espacial.....	42
3.1.1.	Ámbito temporal.....	42
3.1.2.	Ámbito espacial.....	42
3.2.	Tipo de investigación.....	43
3.3.	Nivel de investigación.....	43
3.4.	Población, muestra y muestreo.....	44
3.4.1.	Población.....	44
3.4.2.	Muestra.....	44
	El caudal que ingresa a cada unidad del humedal es de 23ml /min. ....	44
3.4.3.	Muestreo.....	44
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos.....	45
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	47
3.6.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos.....	60
CAPÍTULO IV.....		62
PRESENTACION DE RESULTADOS.....		62
4.1.	Análisis de la información.....	62
4.1.1.	Variación del potencial de hidrogeno (pH) del agua residual en el sistema de tratamiento.....	62
4.1.2.	Variación del temperatura del agua residual en el sistema de tratamiento... ..	65
4.1.3.	Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua residual en el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.....	68
4.1.4.	Variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del agua residual en el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.....	70
4.1.5.	Eficiencia de la remoción en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	74
4.1.6.	Eficiencia de la remoción en términos de Demanda Química de Oxígeno .	77

4.2.	Prueba de hipótesis.....	79
4.2.1.	Contrastación de la hipótesis específicas .....	80
4.3.	Discusión de resultados .....	98
	CONCLUSIONES .....	102
	RECOMENDACIONES.....	103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
	APÉNDICE.....	107



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Mecanismos de remoción en humedales artificiales.....	30
Tabla 2. Operacionalización de variables estudiadas.....	40
Tabla 3. Cronograma de monitoreo ambiental y análisis de laboratorio .....	42
Tabla 4. Tratamientos y repeticiones para el análisis de variancia de las unidades de tratamiento de aguas residuales.....	46
Tabla 5. Tiempo de retención expresado en diferentes unidades de tiempo.....	55
Tabla 6. Estadística descriptiva de las unidades de pH en los puntos de monitoreo .....	64
Tabla 7. Estadística descriptiva de la temperatura en los puntos de monitoreo.....	67
Tabla 8. Estadística descriptiva para la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los puntos de monitoreo.....	70
Tabla 9. Estadística descriptiva para los valores de la Demanda Química de Oxígeno en los puntos de monitoreo.....	73
Tabla 10. Estadística descriptiva de la eficiencia de remoción para los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	76
Tabla 11. Estadística descriptiva de la eficiencia de remoción para los valores de la Demanda Química de Oxígeno.....	79
Tabla 12. Test de normalidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético.....	80
Tabla 13. Test de normalidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal tradicional.....	81
Tabla 14. Test de Levene para la homogeneidad de varianzas para la dimensión Demanda Bioquímica de Oxígeno del Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto al humedal tradicional.....	82
Tabla 15. Resumen del análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional.....	86
Tabla 16. Prueba de medias de Tukey en las unidades de tratamiento durante el periodo de evaluación.....	88
Tabla 17. Test de normalidad de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético.....	89

Tabla 18. Test de normalidad de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal artificial tradicional .....	90
Tabla 19. Test de Levene para la homogeneidad de varianzas para la dimensión Demanda Química de Oxígeno del Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto al humedal tradicional.....	91
Tabla 20. Resumen del análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional.....	95
Tabla 21. Prueba de medias de Tukey en las unidades de tratamiento durante el periodo de evaluación .....	96
Tabla 22. Matriz de consistencia.....	108
Tabla 23. Base de datos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	110
Tabla 24. Base de datos de la Demanda Química de Oxígeno .....	111
Tabla 25. Base de datos del pH.....	112
Tabla 26. Base de datos de la variable temperatura .....	114
Tabla 27. Eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) en humedales artificiales: optimizado y tradicional .....	116
Tabla 28. Eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en humedales artificiales: optimizado y tradicional .....	117
Tabla 29. Procedimiento de análisis de varianza variable dependiente: DBO <sub>5</sub> .....	118
Tabla 30. Procedimiento de análisis de varianza variable dependiente: DQO .....	118
Tabla 31. Etiqueta para muestra de agua. ....	119
Tabla 32. Cadena de custodia .....	120
Tabla 33. Conservación y preservación de muestras de agua en función del parámetro evaluado.....	121
Tabla 34. Límites máximos permisibles para efluentes de planta de tratamiento de agua residual (PTAR).....	122
Tabla 35. Valores críticos de la “F” de Fisher para $\alpha=0.05$ para contrastación de hipótesis .....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Tránsferencias de gases, interface – agua.....	11
Figura 2. Modelo de la teoría de la penetración.....	13
Figura 3. Glicocalix (Biopelícula) .....	14
Figura 4. Esquema artificial de flujo subsuperficial (HAFSS) .....	21
Figura 5. Esquema humedal artificial de flujo subsuperficial.....	22
Figura 6. Macrófita <i>Scirpus californicus</i> (Totora) .....	25
Figura 7. Muestra de tubo PVC corrugado .....	32
Figura 8. Muestra de gravas de diámetro entre 1 y 2 pulgadas.....	33
Figura 9. Ubicación y localización del área de estudio.....	43
Figura 10. Esquema del Humedal artificial subsuperficial de flujo Horizontal.....	47
Figura 11. Unidades de tratamiento mediante humedales artificiales subsuperficial de flujo horizontal.....	48
Figura 12. Tanque de almacenamiento y homogeneizador.....	49
Figura 13. Medidor de caudal tipo volumétrico 23 ml/min .....	49
Figura 14. Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal de tipo tradición: medio filtrante de grava y totora.....	50
Figura 15. Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal de tipo optimizado: medio filtrante sintético (PVC), aireación artificial y totora.....	51
Figura 16. Compresor de aire de 38 L/min de caudal de aire marca ACO-001 .....	52
Figura 17. Difusores de aire comprimido de 15 cm de longitud.....	52
Figura 18. Compresora utilizada y sus características. ....	53
Figura 19. Curva para diseño de aireación.....	54
Figura 20. Muestra de calidad de agua en el afluente a las unidades de tratamiento .....	57
Figura 21. Muestreo de la calidad de agua en el efluente del humedal artificial optimizado .....	57
Figura 22. Monitoreo de calidad de agua en el humedal artificial tradicional.....	58
Figura 23. Análisis de pH y Temperatura con multiparametro Hanna modelo Edge .....	59
Figura 24. Colorímetro marca Hanna para análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	59
Figura 25. Digestor para análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	60
Figura 26. pH del afluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del proyecto .....	62
Figura 27. Valores de pH en el afluente, efluente del humedal optimizado y tradicional	63

Figura 28. Temperatura del afluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del proyecto.....	65
Figura 29. Valores de temperatura en el afluente y efluente de las unidades de tratamiento .....	66
Figura 30. Línea de tiempo de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) VS Tiempo en semanas .....	68
Figura 31. Valores máximo, mínimo y promedio de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) durante el periodo de evaluación .....	69
Figura 32. Línea de tiempo de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (mg/L) vs Tiempo en semana .....	71
Figura 33. Valores máximo, mínimo y promedio de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) durante el periodo de evaluación. ....	72
Figura 34. Línea de tiempo de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) vs Tiempo (semana).....	74
Figura 35. Valores de promedio, máximo y mínimo de las eficiencias de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en humedales artificiales optimizado y tradicional .....	74
Figura 36. Línea de tiempo de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (mg/L) vs Tiempo (semana).....	77
Figura 37. Valores de promedio, máximo y mínimo de las eficiencias de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en humedales artificiales optimizado y tradicional .....	77
Figura 38. Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal con aireación, medio filtrante sintético VS cuantiles normales.....	81
Figura 39. Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal tradicional VS cuantiles normales .....	82
Figura 40. Grafica de cajas para el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético (H-O) y el humedal tradicional (H-T), dimensión de la Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	83
Figura 41. Valores críticos para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	85
Figura 42. Valores “F” calculado para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	86
Figura 43. Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal con aireación, medio filtrante sintético vs cuantiles normales.....	90

Figura 44. Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno VS cuantiles normales.....	91
Figura 45. Figura de cajas para el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético (H-O) y el humedal tradicional (H-T), dimensión de la Demanda Química de Oxígeno .....	92
Figura 46. Valores críticos para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Química de Oxígeno .....	94
Figura 47. Valores “F” para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Química de oxígeno .....	95
Figura 48. Perforación del vinil de ½ pulg para uniformizar el flujo en el humedal artificial .....	123
Figura 49. Corte del vinil para en forma circular para sellar e impermeabilizar el humedal artificial .....	123
Figura 50. Instalación de las tuberías y válvulas para purga de lodos en los humedales artificiales.....	124
Figura 51. Nivelación transversal y longitudinal del humedal artificial tradicional y optimizado.....	124
Figura 52. Sellado con silicona de alta resistencia las estructuras de vinil y tuberías de PVC.....	125
Figura 53. Muestreo de la calidad del agua del afluente y efluente de los humedales artificiales tradicional y optimizado.....	125
Figura 54. Vista de los difusores de 15 cm para la aireación artificial en el humedal artificial tipo optimizado.....	126
Figura 55. Reservorio de 1.1 metros cúbicos que tiene la función de almacenamiento y homogenización de las aguas residuales .....	126
Figura 56. Punto de descarga del efluente de ambos humedales artificiales en el rio Callqui- Ascensión – Huancavelica .....	127
Figura 57. Compresor de aire de 38 L/s con cuatro salidas funciona durante todo el periodo de evaluación y toma de muestras .....	127
Figura 58. Vista de la difusión de oxígeno mediante aireación artificial del compresor de aire .....	128
Figura 59. Muestreo de la calidad de agua del efluente del humedal artificial optimizado para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	128
Figura 60. Vista de los componentes de los humedales artificiales de tipo optimizado y tradicional .....	129
Figura 61. Multipárametro marca “HANNA” modelo moderno “EDGE” para análisis de pH y temperatura.....	129

Figura 62. Análisis de pH y temperatura del afluente de agua residual que ingresa a las unidades de tratamiento .....	130
Figura 63. Muestra del punto de monitoreo ambiental del afluente para análisis de pH y temperatura .....	130
Figura 64. Muestra del punto de monitoreo ambiental del efluente sin aireación artificial para análisis de pH y temperatura.....	131
Figura 65. Muestra del punto de monitoreo ambiental del efluente con aireación artificial para análisis de pH y temperatura.....	131
Figura 66. Vista de las muestras del afluente y efluentes de los humedales artificiales tradicional y optimizado .....	132
Figura 67. Análisis de laboratorio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	134
Figura 68. Análisis de laboratorio de la Demanda Química de Oxígeno.....	135
Figura 69. Métodos de ensayo para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno .....	136

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Apéndice 1. Matriz de consistencia .....	107
Apéndice 2. Base de datos de parámetros físico – químico y biológico.....	110
Apéndice 3. Análisis de varianza de las dimensiones para contrastación de la hipótesis planteada.....	118
Apéndice 4. Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales, Autoridad Nacional del Agua (ANA). .....	119
Apéndice 5. Panel fotográfico.....	123
Apéndice 6. Figura de valores críticos de “F” de Fisher.....	133
Apéndice 7. Base de datos del análisis de laboratorio de la variable dependiente. ....	134

## RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de determinar la eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica. Para aceptar la hipótesis alterna se utilizó el Diseño Completamente al Azar con la prueba de hipótesis Análisis de Varianza (ANOVA)-Tukey. En la investigación se presentó los siguientes resultados. Según el análisis de varianza de las dos unidades experimentales en Demanda Bioquímica de Oxígeno resultó “F” calculado igual a  $136.03 > 4.04$ , pero para demostrar cual fue más eficiente de realizó la prueba de Tukey resultando que el humedal optimizado tiene un valor  $29.96^a > 26.58^b$ , el cual se acepta la hipótesis alterna. Para la Demanda Química de Oxígeno el análisis de varianza resultó “F” calculado igual a  $4.57 > 4.04$ , pero para demostrar cual fue más eficiente de realizó la prueba de Tukey resultando el humedal optimizado tiene un valor  $25.47^a > 24.28^b$ , el cual se acepta la hipótesis alterna. Por lo tanto, se concluye que la eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales con aireación artificial medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.

**Palabras claves:** Humedal artificial, Materia orgánica, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Medio filtrante, Aireación artificial.

## ABSTRACT

The research was carried out with the objective of determining the efficiency of the removal of organic matter from the media by treating artificial wetlands with artificial air, synthetic filtered media with respect to its traditional variant made in the Experimental Station Agraria Callqui - Huancavelica. Analysis of variance (ANOVA) -Tukey. The following results were presented in the investigation. According to the analysis of the variance of the two experimental units in Solved biochemical oxygen demand "F" calculated equal to  $136.03 > 4.04$ , but to demonstrate what was more efficient to perform the Tukey test that results in the optimized wetland has a value  $29.96 a > 26.58b$ , which accepts the alternative hypothesis. For the chemical oxygen demand, the analysis of the variance was obtained "F", equal to  $4.57 > 4.04$ , but to demonstrate that it was more efficient than the Tukey test, which turned out to be the optimized wetland has a value of  $25.47a > 24.28 b$ , which is accept the alternative hypothesis. Therefore, it is concluded that the efficiency of the removal of organic matter from water is translated into the treatment of artificial wetlands with artificial ventilation in the synthetic medium. It is the Callqui - Huancavelica Agricultural Experimental Station.

**Keywords:** Artificial Wetland, Organic Matter, Oxygen Biochemical Demand, Chemical Oxygen Demand, Filtering Media.

## INTRODUCCIÓN

Los graves problemas de la contaminación del agua surgen a falta de tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico e industrial. Así como la escasa información en tratamiento de aguas residuales para zonas rurales y pequeñas industrias en zonas alto andinas. Es por ello que surge la necesidad de investigación de nuevas tecnologías de tratamiento de agua residual que sean más eficientes que un tratamiento convencional.

La investigación comprende dos unidades de tratamiento mediante humedales artificiales con aireación artificial, medio filtrante sintético de media pulgada con respecto a su variante tradicional que comprende sin aireación artificial y medio filtrante de grava de media pulgada. Tiene como objetivo determinar la eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional, realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica. Se pretendió comparar ambas unidades de tratamiento y proponer una Hipótesis: La eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales con aireación artificial medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.

Se realizó el muestreo de calidad de agua semanalmente en tres puntos: en el afluente que es el ingreso a las unidades de tratamiento, el siguiente a la salida o efluente del humedal con aireación artificial con medio filtrante sintético y el tercer punto de monitoreo se realizó en el efluente del humedal de tipo tradicional. Se realizó monitoreo de parámetros de campo en potencial de hidrogeno y temperatura con el instrumento multiparámetro HANA-EDGE.

Para los indicadores de la materia orgánica en términos de demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno después del monitoreo de calidad de agua, se enviaron a analizar en laboratorios de análisis de agua en la ciudad de Huancayo.

Para determinar la diferencia estadística y determinar cuál de los humedales es más eficiente, se realizó la prueba de hipótesis análisis de varianza (ANOVA)- Prueba de medias de TUKEY.

La presente tesis de grado pretende obtener nuevas tecnologías en tratamiento de aguas residuales específicamente en humedales artificiales sub superficiales de flujo horizontal que en términos de construcción, operación y mantenimiento, los costos son mínimos para el tratamiento secundario de los efluentes de aguas residuales de tipo domestico aplicados especialmente en zonas rurales de tipo dispersos que cuentan con unidades básicas de saneamiento (UBS).

Así como también se puede aplicar para pequeñas agroindustrias cuyo efluente contiene materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

La escasez del agua potable como recurso, el imparable aumento de la población y del crecimiento económico, con el consiguiente incremento en la producción de aguas residuales y la necesidad de conseguir los objetivos de reducción de emisiones de carbono, contemplados en el protocolo de Kyoto, nos enfrentamos al reto de conseguir un tratamiento adecuado de las aguas residuales con el menor costo económico y energético posible (Veascoechea, 2014).

Los llamados sistemas blandos para el tratamiento de aguas residuales son métodos que suelen ser menos costosos y sofisticados en cuanto a operación y mantenimiento que los convencionales. Aunque dichos procesos requieren mayores extensiones de terreno (Gonzales, 2013).

La ciudad de Huancavelica, al encontrarse a los 3680 m.s.n.m, posee un clima frío por ende el tratamiento de las aguas residuales domésticas hace difícil la opción de implementar sistemas como: lodos activados, reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) u otro sistema, en la cual la temperatura ambiental es un parámetro fundamental.

El Centro Experimental Agraria Callqui ubicada en la ciudad de Huancavelica, cuenta con un tanque séptico para tratamiento de aguas residuales provenientes de los inodoros y lavamanos, con serias deficiencias de diseño y construcción produciendo infiltración y contaminación del suelo y del agua de la microcuenca que vierte sus aguas al rio ichu en épocas de avenida.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ✚ ¿Cuál será la eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica?.

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ✚ ¿Cuál será la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica?.
- ✚ ¿Cuál será la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica?.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- ✚ Determinar la eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizado en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✚ Determinar la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) de aguas residuales mediante el tratamiento de

dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.

- ✚ Determinar la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.

#### **1.4. Justificación**

Se desarrolló la presente investigación para justificar la importancia de implementar una nueva propuesta tecnológica en tratamiento de agua residual como es el humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal optimizado mediante aireación artificial y medio filtrante sintético de tubería de Policloruro de Vinilo (PVC), respecto a un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal que es de tipo tradicional con medio filtrante de grava de media pulgada y con aireación natural. Ambos sistemas con la presencia de la macrófita *Scirpus californicus*, por medio del cual mejoró la remoción de la materia orgánica como tratamiento secundario.

La información obtenida es un aporte para futuros trabajos de investigación, donde se pretende determinar experimentalmente las ventajas del tratamiento secundario de aguas residuales del efluente de un tanque séptico, mediante humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal con aireación artificial del lecho filtrante sintético, en su depuración con respecto a una unidad similar pero que no posee aireación artificial y es de lecho filtrante de grava. Si bien es cierto que existen estudios similares realizados en la ciudad de Lima, es preciso indicar que los resultados son relativos y diferentes, debido a que las condiciones geográficas, climáticas, de diseño y construcción donde se realizaron los estudios en otras regiones del ámbito nacional e internacional son diferentes. Como por ejemplo una tesis realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería menciona que el

sistema aireado es 10 % superior a sistema no aireado. Por los resultados que se conoce de acuerdo a las condiciones donde se realizaron los estudios, se hizo necesario realizar el estudio en condiciones locales para conocer la influencia en la remoción adicional de materia orgánica que tiene un sistema aireado con medio filtrante sintético de Policloruro de Vinilo (PVC) corrugado, en humedales subsuperficiales de flujo horizontal respecto a un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal que es de tipo tradicional.

Social: Se utilizó esta propuesta tecnológica en tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico y se evitará conflictos sociales en la población y el Centro Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.

Económico: Se desarrolló esta propuesta tecnológica en tratamiento de aguas residuales porque los costos de construcción, operación y mantenimiento hay mínimas diferencias con los humedales tradicionales para un conjunto pequeño de familias o instituciones públicas y privadas como es el caso del Centro Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.

Ambiental: Se realizó esta propuesta tecnológica en tratamiento de aguas residuales de tipo domestico por que posee una mayor eficiencia que un humedal tradicional además que cumple con los Limites Máximo Permissible (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales por el cual contribuye a mitigar la contaminación ambiental en ecosistemas naturales, así como contaminación del suelo y del agua de la microcuenca que vierte sus aguas al rio Ichu en épocas de avenida produciendo focos infecciosos.

### **1.5. Limitaciones**

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental Agraria Callqui que se encuentra en la capital del departamento de Huancavelica por el cual la investigación se limita en un espacio geográfico que si bien el tratamiento en aguas residuales en remoción de la materia organiza depende de la temperatura no es igual que realizar en otras zonas geográficas con climas más cálidos.

El periodo de evaluación y obtención de muestras en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno se realizó en los periodos de octubre del 2018 hasta marzo del 2019.



# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### Antecedentes Internacionales

Hernandez y Orduña (2015), realizaron la investigación “Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo sub superficial utilizando *Sthipa ichu* para el tratamiento de aguas residuales domésticas”. Cuyo objetivo general es: Evaluar la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial utilizando la planta *Sthipa ichu* en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Como resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: Se logró disminuir las concentraciones, alcanzando eficiencias de remoción de hasta el 92.43 % para los humedales sin planta, el 95.5 % para los humedales que tienen solo planta, y del 94.15 % para los que tienen planta más HSF. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es: Se logró reducir hasta el 98.55 % para los humedales sin planta, el 99.67 % para los que tienen solo planta y el 99.55 % para los que tienen planta más HSF. Estos porcentajes de remoción se deben principalmente al trabajo que realizan los microorganismos presentes en el sustrato.

Chavez y Chimbo (2015), desarrollaron la investigación “Estudio comparativo de la capacidad depuradora de *Phragmites australis* y *Cyperus papyrus* en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el Cantón Santa Isabel”. Cuyo objetivo general es: Realizar un análisis comparativo de la capacidad depuradora entre *Phragmites australis* y *Cyperus papyrus* en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el Cantón Santa Isabel. Como resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: El muestreo 6 el que representa mayor porcentaje de remoción, con valores de 80.08 % para el Papiro y de 76.92 % para el Carrizo. En cambio, el muestreo 3 representa los porcentajes más bajos de remoción,

48.47 % para el Papiro y 40 % para el Carrizo. Sin embargo, se puede evidenciar que en todos los muestreos el Papiro es más eficiente que el Carrizo. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es: En el muestreo 5 se alcanza mayor porcentaje de remoción, 91.16 % para el Papiro y 93.53 % para Carrizo. Este muestreo 5 el Carrizo es más eficiente que el Papiro, sin embargo, en la mayoría de muestreos el Papiro presenta porcentajes altos de remoción. Por lo tanto, con el Papiro se obtiene mayores rendimientos de remoción para DBO<sub>5</sub>. Como conclusión que la DBO<sub>5</sub> y DQO el papiro representa mayor remoción en comparación con el Carrizo. En primer lugar, esto se debe por la estructura de los tallos, en cuanto a las variables intervinientes se tuvo valores promedio de 7.32 de pH para el Papiro y 11.52 de pH para Carrizo, para valores de Temperatura 24 C° para el Papiro y 23 C° para Carrizo.

Bedoya, Ardila, y Relles (2014), elaboraron la investigación “Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de aguas residuales superficiales generadas en la institución del colegio de Antioquia - Colombia”. Cuyo objetivo general es: Determinar la eficiencia de remoción de carga contaminante presente en aguas residuales generadas en la institución del colegio de Antioquia – Colombia. Como resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: Al final del tratamiento se obtuvo un promedio de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 53.9 % con *T. latifolia* y de 47.9 % con *C.papyrus*. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es: En términos de DBO<sub>5</sub>, el porcentaje de remoción fue casi similar con ambas especies 8.2 % con *T. latifolia* y 82.9 % con *C.papyrus*.

Bernal (2014), realizó la investigación “Diseño de una unidad piloto de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de aguas residuales domesticas en el campus UMNG – Cajica con fines de reúsos”. Cuyo objetivo general es: Diseñar una unidad piloto de humedales artificiales de flujo sub superficial vertical (HAFSSV) para tratamiento de aguas residuales domesticas en la Universidad Militar Nueva Granada. Como

resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: Durante los dos periodos en los cuatro meses de estudio con resultados para el punto M1 con promedios entre 238 a 375 mg O<sub>2</sub>/L y los dos puntos de tratamiento M2 con 117 a 175 mg O<sub>2</sub>/L y M3 con valores de 132 a 163 mg O<sub>2</sub>/L. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es: En la primera evaluación del estudio M1 y M2 fueron iguales con un promedio de 147 mg O<sub>2</sub>/L y M3 84.2 mg O<sub>2</sub>/L, ya para la segunda evaluación M2 evidencio una disminución en un valor de 598 mg O<sub>2</sub>/L frente al valor de M1 767 mg O<sub>2</sub>/L. como conclusión se tiene: Respecto al El diseño del HAFSSV del presente proyecto puede llegar a ser una opción a lo largo plazo para la descontaminación de aguas residuales de la UMNG- Cajica al ser eficiente en la disminución de un 90 % de los valores obtenidos en el efluente de la Planta de tratamiento en las variables de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

#### Antecedentes nacionales

Cabrera (2016), desarrolló la investigación “Remoción de materia orgánica, influenciada por la macrofita *Scirpus californicus*, en humedales artificiales subsuperficiales”, en la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú”. Cuyo objetivo general es: Determinar la remoción de materia orgánica influenciada por las macrofitas *Scirpus Californicus*, en un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal. Los resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: Evaluando para un tiempo de retención hidráulico de 16 horas, se obtuvo una concentración promedio en el afluente de 208.33 mg/L de DQO; para el cual se obtuvieron eficiencias en remoción de 64.1 % y 47.7 % de DQO, para el humedal (H1) y la cama de sólidos (H2) respectivamente, lo que implica una remoción adicional influenciada por la macrófita *Scirpus californicus* del 16.4 % en remoción de DQO. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) se tiene que evaluando para un tiempo de retención hidráulico de 16 horas, se obtuvo una concentración promedio el afluente de 48.21 mg/L de DBO<sub>5</sub>, para el cual se obtuvieron eficiencias en remoción de 61.4 % y 78.6 % de DBO<sub>5</sub>, para el humedal (H1) y la cama de sólidos (H2) respectivamente, lo que implica una influencia

negativa de la macrófita *Scirpus californicus* del 17.2 % en remoción de DBO<sub>5</sub>. Se tiene como conclusión: La hipótesis se cumple parcialmente, debido a que la remoción de DBO<sub>5</sub> influenciada por la macrófita *Scirpus californicus* es negativa en la primera etapa para 16 horas de tiempo de retención hidráulico; además la remoción de DQO es menor al 10 % planteado inicialmente en la primera etapa para 9 horas de tiempo de retención y en la segunda etapa para 10 y 14 horas de tiempo de retención.

Goicochea (2014), ejecutó la investigación “Influencia de los materiales filtrantes policloruro de vinilo (PVC) corrugado y grava en la remoción de la materia orgánica en humedales artificiales”, realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú”. Cuyo objetivo general es: Determinar la influencia de los materiales filtrantes, PVC corrugado y grava, en la remoción orgánica en humedales artificiales. Los resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: Para la eficiencia de la DQO, en el humedal artificial con grava, efluente del punto de monitoreo H-1, se alcanzaron valores promedio de 23.67 % de DQO. En el humedal artificial con PVC, el efluente del punto de monitoreo H-2, se alcanzaron valores promedio de 35.34 % de DQO. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es: La eficiencia de la DQO, en el humedal artificial con Grava, efluente del punto de monitoreo H-1, se alcanzaron valores promedio de 43.5 % de DBO<sub>5</sub> en el humedal artificial con PVC, el efluente del punto de monitoreo H-2, se alcanzaron valores promedio de 62.3 % de DBO<sub>5</sub>. Se tiene como conclusión: La eficiencia de la DQO en el humedal artificial con PVC fue superior, en 11.7 % más, que la eficiencia de la DQO en el humedal artificial con grava debido a que la superficie específica del PVC corrugado y para la eficiencia de la DBO<sub>5</sub> en el humedal artificial con PVC fue superior, en 18.8 % más, que la eficiencia de la DBO<sub>5</sub> en el humedal artificial con grava debido a que la superficie específica del PVC corrugado.

Huataquispe y Segura (2011), realizaron la investigación “Evaluación comparativa del tratamiento secundario de aguas residuales de un matadero mediante el uso de un humedal de lecho horizontal con aireación artificial y presencia de plantas con respecto a un lecho horizontal con

aireación artificial sin presencia de plantas”, realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú”. Cuyo objetivo general es: Determinar experimentalmente la eficiencia del tratamiento secundario de un lecho horizontal con aireación artificial y presencia de plantas con respecto a un lecho horizontal con aireación artificial sin presencia de plantas en la remoción de los distintos parámetros físico-químicos. Los resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: En el periodo de evaluación se obtuvieron valores promedio, en todos los periodos, el efluente de los humedales artificiales con planta se alcanzaron valores promedio de 89.86 mg/L de DQO. El efluente de los humedales artificiales sin planta se alcanzó valores promedio de 92.78 mg/L de DQO. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es: En el periodo de evaluación se obtuvieron valores promedio, en todos los periodos, el efluente de los humedales artificiales con planta se alcanzaron valores promedio de 96.42 mg/L de DBO<sub>5</sub>. El efluente de los humedales artificiales sin planta se alcanzó valores promedio de 97.98 mg/L de DBO<sub>5</sub>. Se tiene como conclusión: para la DQO el lecho sin plantas muestra una mejor eficiencia que el lecho con plantas pero la diferencia de los promedios globales es de solo 2.92 % lo que indica que el lecho con plantas es competitivo con respecto al lecho sin plantas a pesar de ser menos eficiente y para la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> es semejante en ambos lechos ya que el lecho sin planta presenta una eficiencia promedio de todos los periodos de 97.98 % de DBO<sub>5</sub> y el lecho con plantas, 96.42 % de DBO<sub>5</sub>, el cual indica que ambos lechos son efectivos.

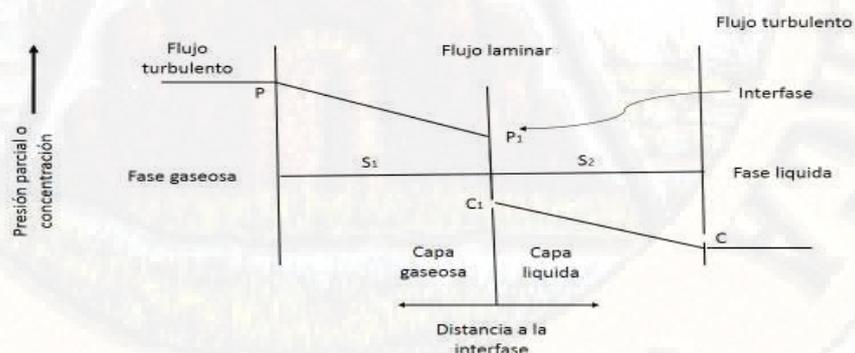
Garay y Enriquez (2011), desarrollaron la investigación “Evaluación comparativa del tratamiento secundario de aguas residuales de un matadero mediante el uso de un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal y su variante con aireación del lecho filtrante a escala de laboratorio”, realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú”. Cuyo objetivo general es: Determinar experimentalmente las ventajas del tratamiento secundario de aguas de matadero mediante humedales artificiales subsuperficial de flujo horizontal con aireación del lecho filtrante, en su depuración con respecto a una unidad similar pero que no posee aireación del lecho filtrante. Los resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es: Se

obtuvieron valores promedio, en todos los periodos, el efluente de los humedales artificiales con aireación se alcanzaron valores promedio de 1151.0 mg/L de DQO. El efluente de los humedales artificiales sin aireación se alcanzó valores promedio de 1039.0 mg/L de DQO. Para Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) es: En el periodo de evaluación se obtuvieron valores promedio, en todos los periodos, el efluente de los humedales artificiales con aireación se alcanzaron valores promedio de 284.7 mg/L de  $DBO_5$ . El efluente de los humedales artificiales sin aireación se alcanzó valores promedio de 394.8 mg/L de  $DBO_5$ . Se tuvo como conclusión: La eficiencia de remoción en DBO del wetland con aireación (CA) es superior a la del wetland sin aireación (SA) en todo el horizonte del proyecto y para la eficiencia de remoción en DBO del wetland con aireación (CA) es superior a la del wetland sin aireación (SA) en todo el horizonte del proyecto.

## 2.2. Bases teóricas sobre el humedal subsuperficial de flujo horizontal

### 2.2.1. Teoría de transferencia de gases-doble capa

Fue propuesto por Lewis y Whitman en 1924. Se basan en un modelo físico, según el cual, en la interface gas – líquido existen dos capas, una capa gaseosa y una capa líquida, las cuales se trasfiere el gas por difusión molecular (Eddy, 1995).



**Figura 1.**Trasferencias de gases, interface – agua.

Fuente. Eddy, (1995).

#### A. Paso del transporte

1. Paso del gas a través de la fase gaseosa hacia la interface.
2. El gas debe atravesar la capa gaseosa situada en el lado de la fase gaseosa de la interface.
3. Este debe atravesar la capa líquida en la fase líquida de la interface.
4. Gas debe dispersarse a través de la masa principal de la solución.

#### B. Equilibrio continuo

Es el gas cristalino que se en una masa líquida a través de la interface líquido –gas, se trata de una película fina de gas y película de líquido en la interface.

Las concentraciones del gas en cualquier punto del sistema cambian en el tiempo, los cambios en la concentración de oxígeno en el a, su flujo, o cambios en las condiciones ambientales de presión y temperatura.

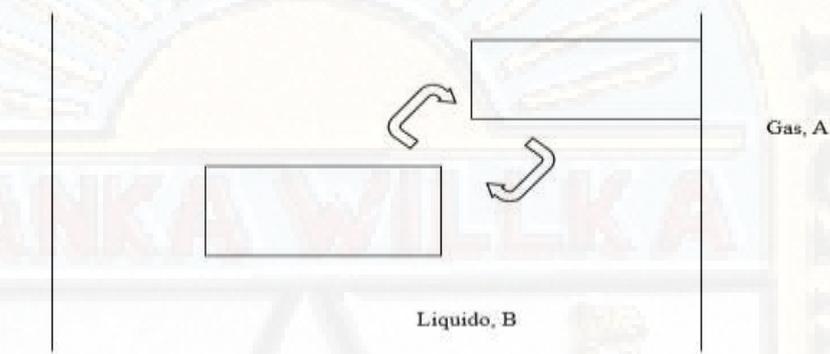
Los procesos de transferencia de oxígeno han sido descritos como un fenómeno ocurre en tres etapas

1. Las moléculas se gas son transferidas a la superficie del líquido, resultando en condiciones de saturación o de equilibrio en la interface. La velocidad de transferencia es muy rápida y la película de gas – líquido es muy fina de, por lo menos, tres moléculas de espesor.
2. Las moléculas de oxígeno atraviesan esta película por difusión molecular.
3. El ose dispersa en el líquido por difusión y convección

#### 2.2.2. Teoría de la penetración

- ✚ Pretende tomar en cuenta la inestabilidad que existe en la interface de los sistemas fluido – fluido (no lo puede hacer el modelo de la película estacada).
- ✚ Sea el caso de un sistema gas – líquido.

- ✚ El modelo consiste en considerar que el líquido “B” hay de fluido que se ponen en contacto con el gas duran un tiempo que es suficiente para que ocurra el transporte de las especies de interés “A” (hacia desde la fase gas); después de lo cual dichos paquetes se hacia el seno del líquido, y son reemplazados otros. En este sentido, este modelo supone el transporte del soluto “A” dentro de una capa de líquido de espesor infinito en estado no estacionario (Gigbie, 2018).



**Figura 2.** Modelo de la teoría de la penetración.

**Fuente.** Gigbie, (2018).

El modelo matemático de Higbie tiene las siguientes restricciones:

1. Transporte por difusión.
2. Unidireccional:  $x$ .
3. Estado no estacionario.
4. Isotérmico.
5. Espesor de la capa de líquido es infinito.

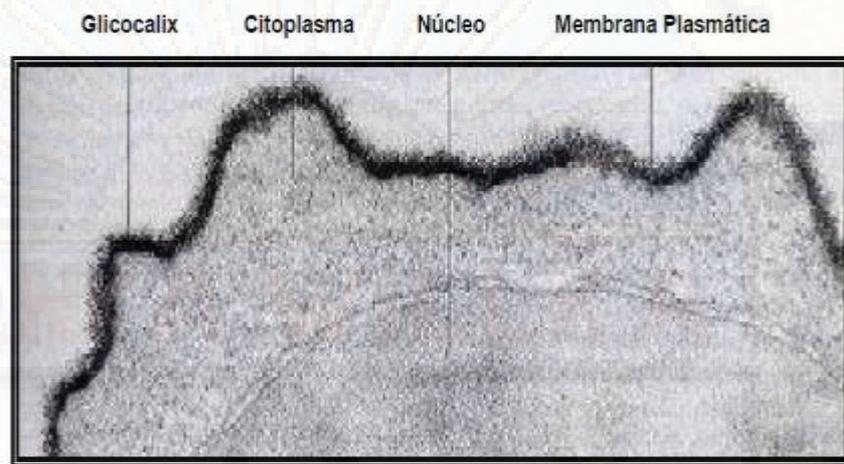
### 2.2.3. Teoría de la biopelícula

Teoría de la biopelícula propuesto por Marshall, Stout en 1971.

Resalta que la adhesión es un proceso que ocurre en dos fases:

- A. Primera fase es reversible en función del proceso de adhesión de los microorganismos a la superficie que ocurre por fuerzas Van der Waals y atracciones electrostáticas.

B. La segunda fase, ocurre con la interacción física de las células a la superficie por medio del material extracelular de naturaleza polisacáridica o proteica producida por bacterias, se denomina matriz de glicocalix, es producido después del proceso de adhesión superficial, y va a favorecer las condiciones de adhesión de los peptidoglicanos de las bacterias Gram positivas.



**Figura 3.** Glicocalix (Biopelícula).

**Fuente.** Marchal, (1971).

## **2.3. Bases conceptuales**

### **2.3.1. Aguas residuales**

Las aguas residuales pueden definirse como aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo natural de aguas o descargarlas al sistema de alcantarillado (Rodier, 1990).

#### **2.3.1.1. Características y parámetros de las aguas residuales**

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas cuyo conocimiento es de importancia en el tratamiento de las aguas residuales. Estas características varían según el origen de las aguas residuales. Así mismo, la

determinación de estas características es relevante para definir aspectos tales como el origen del agua residual, la concentración de los constituyentes, el tratamiento requerido, la buena operación del tratamiento, así como los efectos adversos según sea la disposición final del efluente (Sperling, 2017).

### **2.3.1.2. Características físicas**

Las principales características físicas de un agua residual son: contenido de sólidos, distribución de partículas por tamaño, turbiedad, color, transmitancia /absorbancia, olor, temperatura, densidad y conductividad (Tchobanoglous, 2000).

#### **a) Sólidos:**

Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida. En aguas residuales la determinación de sólidos es ordinariamente de poco valor, ya que es difícil su significado en forma real y exacta.

La determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles es importante para evaluar la concentración del agua residual y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento; el valor de sólidos sedimentables es básico para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia (Castro, 1995).

#### **b) Turbidez:**

Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión; puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos (Rodrigues, 2002).

c) Color:

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. En forma cualitativa, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacteriana bajo condiciones anaerobias. El oscurecimiento de las aguas residuales se da con frecuencia debido a la formación de varios sulfuros, en particular sulfuro ferroso ( $\text{FeS}$ ) (Tchobanoglous, 2000).

d) Olor:

La determinación de olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la propia operación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos mal olientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (Tchobanoglous, 2000).

e) Temperatura:

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. Es un parámetro muy importante porque

afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos (Tchobanoglous, 2000).

### **2.3.1.3. Características químicas**

Los constituyentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados en inorgánicos y orgánicos. Los inorgánicos incluyen: a) elementos individuales como: calcio, cloruro, hierro, cromo, y zinc, b) una amplia variedad de compuestos como nitratos y sulfatos. Los constituyentes orgánicos de mayor interés se clasifican en agregados e individuales, los agregados comprenden un número de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada, de gran interés en el tratamiento, vertimiento y reutilización de aguas residuales al igual que los constituyentes orgánicos específicos (Tchobanoglous, 2000).

#### **a) Materia inorgánica:**

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo de uso. Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua,

conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso (Eddy, 1995).

b) pH:

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Eddy, 1995).

c) Oxígeno disuelto:

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: solubilidad del gas; presión parcial del gas en la atmósfera; temperatura, y pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.) (Sperling, 2017).

d) Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual (Rojas, 2002).

e) Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días ( $DBO_5$ ):

Es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a  $20^{\circ}\text{C}$  y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia

orgánica. La relación DQO/DBO5 proporciona una indicación de la biodegradabilidad de las aguas residuales (Ramalho, 2003).

#### **2.3.1.4. Característica biológica**

Las características biológicas son muy importantes en el control de enfermedades causadas por microorganismos patógenos y por la importancia que tienen las bacterias y otros microorganismos que interviene en la descomposición y estabilización de la materia orgánica presente en el agua residual (Tchobanoglous, 2000).

Los principales grupos de microorganismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, bacterias y arqueobacterias (Eddy, 1995).

##### **a) Organismos patógenos:**

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son: bacterias, virus y protozoarios. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causen enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea, paratifoidea, la disentería, diarrea y cólera. Debido a la alta infecciosidad estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales (Hammeken, 2005).

##### **b) Organismos indicadores:**

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales contaminadas en cantidades muy pequeñas, y

además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliformes como indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias conocidas como organismos coliformes, cada humano evacua de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes cada día. Por ello se puede considerar que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquellos es un indicador de que las aguas están libres de organismos que pueden causar enfermedades. Debido a que algunos patógenos pueden estar presentes en el agua aún en ausencia de coliformes, este grupo ya no sería tan buen indicador (Hammeken, 2005).

### **2.3.2. Humedales artificiales**

Los humedales artificiales son unidades de tratamiento con elevado grado de humedad y una profusa vegetación que reúnen características biológicas, físicas y químicas que les confieren un elevado potencial auto-depurador. Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a superficie (Chafloque y Gómez, 2012).

Los humedales artificiales logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, adsorción y metabolismo bacteria. Los humedales operan casi a velocidades de flujo y caudal constante y están sujetos a drásticos cambios en la remoción de DBO, debido a los cambios en la temperatura del agua (Chafloque y Gómez, 2012).

Los humedales artificiales se consideran una opción viable, en lo técnico y económico, para el tratamiento de aguas residuales. Su

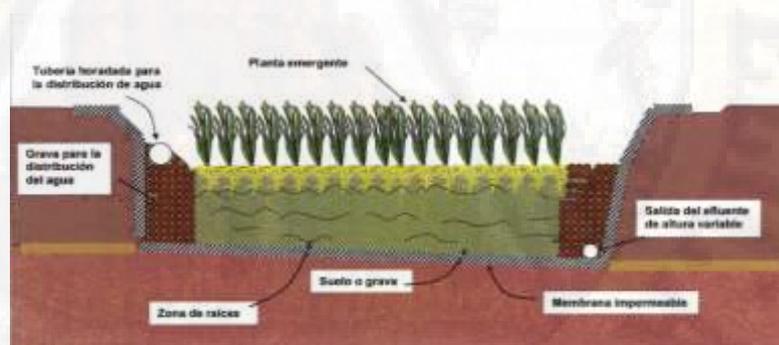
elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica, nutriente y patógenos disminuye los impactos negativos al realizar los vertimientos sobre cuerpos receptores de agua.

### 2.3.2.1. Tipos de humedales artificiales

Existen dos tipos de humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) y humedales artificiales de flujo superficial (HAFS). En el primero, HAFSS, el agua fluye debajo del medio filtrante. El segundo, HAFS, el agua fluye sobre la superficie del medio filtrante. (Chafloque y Gómez, 2012).

#### A. Humedal artificial de flujo superficial (HAFS)

Estos sistemas consisten en mantener el flujo de agua por encima del medio filtrante. Generalmente estos sistemas son diseñados con profundidades relativamente bajas, entre 30 cm y 50 cm. La baja profundidad del agua, la baja velocidad del flujo y la presencia de tallos de plantas regulan el flujo del agua residual. Sus ventajas respecto a los humedales de flujo subsuperficial (HAFSS) son el menor costo de inversión (ausencia de medio filtrante) y el valor ambiental que se tiene como ecosistema acuático (Chafloque y Gómez, 2012).



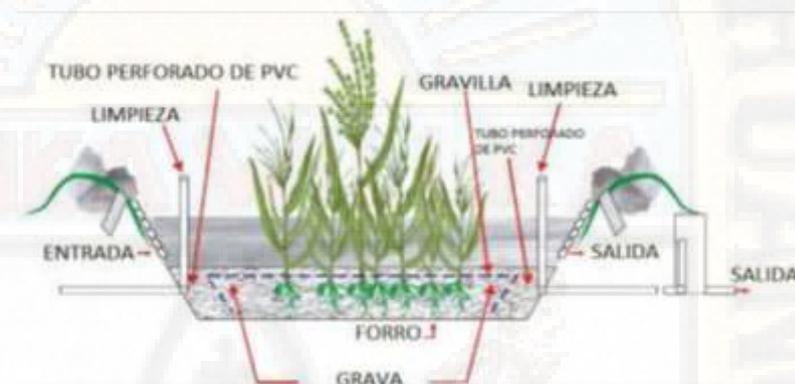
**Figura 4.** Esquema artificial de flujo subsuperficial (HAFSS).

**Fuente.** Chafloque y Gómez, (2012).

#### B. Humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS)

Estos sistemas consisten en mantener el flujo de agua por debajo del medio filtrante. Evidentemente, el mecanismo de

acción de este tipo de humedales se asemeja a los sistemas clásicos de infiltración en terreno. También, estos sistemas son diseñados con profundidades relativamente bajas, entre 30 cm. Y 50 cm. La baja profundidad del agua, la baja velocidad del flujo, la presencia del medio filtrante y vegetación regulan el flujo de agua residual. Sus ventajas respecto a los humedales de flujo superficial son la menor incidencia de malos olores, la menor probabilidad de aparición de vectores infecciosos, y el bajo riesgo de exposición directa entre el agua residual y las personas (Chafloque y Gómez, 2012).



**Figura 5.** Esquema humedal artificial de flujo subsuperficial.

**Fuente.** Chafloque y Gómez, (2012).

#### **2.3.2.2. Componentes de los humedales artificiales**

Los componentes de los humedales artificiales son las plantas acuáticas, el medio filtrante y los microorganismos.

##### **A. Plantas acuáticas**

Entre las plantas acuáticas, las especies más utilizadas en los humedales artificiales son las plantas macrófitas. Las especies de plantas que se introducen para crear un humedal dependen del tipo de humedal que se desea establecer. En este sentido, el clima, salinidad, profundidad y el régimen de uso son los factores que van a definir las especies de plantas que será introducidas. Las plantas macrófitas son capaces de soportar variaciones en el nivel de agua y poseen la cualidad

de poder reproducirse en condiciones con bajos niveles de oxígeno disuelto (Chafloque y Gómez, 2012).

La función de mayor importancia de las macrófitas en relación con el proceso de tratamiento de las aguas residuales, es el efecto físico que ellas producen, las macrófitas estabilizan la superficie del medio filtrante y proporcionan, al sistema de humedales, condiciones para la buena filtración, transferencia de oxígeno, absorción de nutrientes y el Los procesos utilizados por las plantas para asimilar contaminantes son la Fitoextracción, rizofiltración, Fitoextracción, Fito estimulación, Fito dolarización y biodegradación, en primer lugar, en la Fitoextracción las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces).en segundo lugar, en la rizo filtración, las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados, y degradar compuestos orgánicos, de igual forma, en la Fito estabilización, las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire. Por un lado, el a Fito estimulación, los excusados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos. Por otro lado, en la Fito volatilización, las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos. Eliminación de contaminantes (Chafloque y Gómez, 2012).

Las plantas más utilizadas son la familia *Scirpus californicus*. Esta familia se caracteriza por que penetra en medio filtrante y son capaces de crecer bajo condiciones ambientales adversas con gran facilidad de propagación.

La macrófita *Scirpus californicus* (Totora) tiene las siguientes características:

Tamaño: La totora es una planta acuática perenne, de escaso porte y fasciculada, que puede llegar a medir hasta 4 m de altura.

Tallo.- Posee un tallo erecto, liso, flexible, liviano, rollizo, triangular, similar al césped y sin tuberosidades en la base.

Hojas.- Las hojas de la totora forman una vaina que rodea al tallo en la base. Están distribuidas en dos sectores: las hojas de la parte inferior de la planta presentan vainas foliares carentes de láminas, mientras que las superiores las desarrollan ocasionalmente.

Inflorescencia.- La parte alta de la planta presenta una inflorescencia ramificada que por un lado es arqueada, debido al desarrollo de brácteas rígidas, y por otro es erecta en la prolongación del tallo. Las espigüelas son hermafroditas, abundantes, ovoides u oblongas. Presenta una cubierta floral espiralada, decidua, ovada, redonda en la parte posterior, con una nervadura media fuerte y una lateral inconspicua u obsoleta.

Flores.- Las pequeñas flores de la totora son hermafroditas, es decir, reúnen en sí ambos sexos, y la envoltura floral está compuesta por dos a seis escamas.

Frutos.- Esta planta produce frutos secos biconvexos o aplanados convexos, lisos o transversalmente rugosos, con un pericarpio no soldado a ellos. El fruto contiene una sola semilla de forma similar a la lenteja.



**Figura 6.** Macrófita *Scirpus californicus* (Totora).

**Fuente:** Chafloque y Gómez, (2012).

#### B. Medio filtrante (Sustrato)

El medio filtrante es un componente importante de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Por un lado, el metabolismo del proceso biológico tiene lugar en el sustrato. Por otro lado, la permeabilidad del medio filtrante afecta el movimiento del agua a través del humedal. Por último, el sustrato adsorbe, en su superficie, a los microorganismos presentes en el agua residual.

La principal característica del medio filtrante es que debe tener la permeabilidad suficiente para que el agua residual fluya a través de él. Esto obliga a utilizar sustrato de tipo granular como, por ejemplo, grava seleccionada con un diámetro de 1 pulgada. El tamaño del sustrato afecta directamente al flujo hidráulico del humedal artificial.

Por un lado, si el medio filtrante está constituido por arcilla y limo, aumenta la capacidad de absorción y filtración. La superficie específica es elevada y el diámetro del material filtrante es pequeño. En consecuencia, el caudal a tratar queda limitado, puesto que este medio presente alta resistencia

hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas (Arévalo y Salvador, 2014).

Por otro lado, si el medio filtrante está constituido por grava y arena y arena gruesa disminuye la capacidad de adsorción y filtración. Además, la superficie específica no es elevada y el diámetro del material filtrante no es pequeño. En consecuencia, aumenta la conductividad hidráulica. Así mismo, de forma indirecta, al sustrato de grava contribuye a la eliminación de contaminantes por que sirve de soporte de crecimiento de las plantas. Aparte de ello, en las plantas también se adhieren colonias de microorganismos y forman la capa zoogeal o biopelícula (Arévalo y Salvador, 2014).

### C. Microorganismos

El metabolismo es un conjunto de reacciones bioquímicas que permiten la transformación de los nutrientes para formar energía o materia propia. Las transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico en humedales artificiales son debidas al metabolismo microbiano. Los microorganismos involucrados, principalmente, son bacterias, hongos y protozoarios (Arévalo y Salvador, 2014).

Los microorganismos utilizan los nutrientes y el carbono como fuente de energía y fuente de nueva biomasa microbiana. La velocidad de crecimiento de la biomasa dependerá de las condiciones ambientales y de la superficie de la materia filtrante. La energía es obtenida por la oxidación de compuestos reducidos (dador de electrones) con un oxidante (aceptor de electrones) a través de la cadena respiratoria. La mayoría de los procesos son elevados a cabo por bacterias heterótrofas y autótrofas. La degradación aeróbica de la materia orgánica libera mayor energía que la nitrificación o

cualquier otra degradación orgánica (Arévalo y Salvador, 2014).

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios de carga orgánica en el agua residual. Así mismo, muchos microorganismos se inactivan, cuando las condiciones ambientales no son convenientes. La comunidad microbiana se un humedal puede ser afectada por sustancias tóxicas, pesticidas y metales pesados. Por ello, se debe prevenir que estas se introduzcan en las cadenas tróficas del proceso (Arévalo y Salvador, 2014).

#### D. Biopelícula

También conocida como la capa zoogeal. La biopelícula es el conglomerado de grupos complejos de microorganismos donde predominan las bacterias heterótrofas. Así mismo, la biopelícula está siempre presente en superficies expuestas a contacto con el agua, por ejemplo, en ríos, lagos, mares sistemas de aguas subterráneas, canales de aguas residuales, entre otros. La capa zoogeal se relacionan particularmente con sistemas acuáticos con altos contenidos de nutrientes, especialmente en aguas residuales

##### a) Composición microbiana de la biopelícula

Las especies de microorganismos dependen de varios factores: características del líquido residual a tratar, carga hidráulica, carga orgánica, disponibilidad de oxígeno, temperatura y pH. Las poblaciones microbianas son, usualmente, una mezcla muy compleja de diferentes géneros y especies de bacterias, hongos y protozoarios. En etapas iniciales del proceso se desarrollan poblaciones de bacterias del tipo filamentosas, en etapas posteriores, crecen otro microorganismo: bacterias nitrificantes,

protozoos y rotíferos (Welter, Romero , Grumelli, Sanchez, y Ascar, 1978).

b) Características de la biopelícula

Una de las principales características de la biopelícula es su heterogeneidad. Es decir, la biopelícula está conformada por una organización de colonias compuestas por diversas especies de microorganismos: bacterias, hongos y protozoos. Los microorganismos al ser variados dentro de esta organización presentan diferentes microambientes de pH, tensión de oxígeno, concentración de iones, carbono y nitrógeno

Otra característica importante de la biopelícula es su resistencia de agentes microbianos. Las colonias organizadas forman una capa impermeable. En la capa impermeable, solo los microorganismos más superficiales se ven ligeramente afectados (Welter *et al.* 1978).

c) Propiedades físicas de la biopelícula

Las propiedades físicas más resaltante de la biopelícula son el color, el aspecto y la densidad. Por un lado, el color es un indicativo de la biomasa formada. En las etapas iniciales del proceso biológico, la biopelícula tiene color amarronado-gris que es indicativo de una biomasa que remueve, principalmente, materia organiza. En las etapas avanzadas, la biopelícula tiene color amarronado-gris que es característica de que predominan microorganismos nitrificantes. Por otro lado, la biomasa tiene dos aspectos: filamentoso y gelatinoso. El aspecto filamentoso corresponde a una biomasa en las etapas iniciales del proceso biológico; el aspecto gelatinoso, a una biomasa en las etapas avanzadas. Por último, la densidad de la biopelícula seca es una variable que se

utiliza para correlacionarla con la difusividad relativa (capacidad para transmitir el agua) (Welter *et al.* 1978).

La capa zoogleal se genera cuando los microorganismos se van adhiriendo a las paredes del medio filtrante. Como el proceso se repite, las capas se sobreponen una encima de la otra. Evidentemente, la última capa; la externa, tiene más contacto con el agua residual y el oxígeno. En cambio, la capa adherida a la superficie de sustrato, la interna, tiene menos contacto con el agua residual y el oxígeno. Esto último genera que la capa zoogleal interna muera y se desprenda del material filtrante (Welter *et al.* 1978).

d) Mecanismos de remoción de los contaminantes

Los principales mecanismos de remoción en los humedales artificiales se muestran en la siguiente figura.

**Tabla 1**

## Mecanismos de remoción en humedales artificiales

Contaminantes	Mecanismos de remoción
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Sedimentación</li> <li>✚ Filtración</li> </ul>
Materia orgánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Degradación microbiana aerobia</li> <li>✚ Degradación microbiana anaerobia</li> </ul>
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Amonificación seguido por nitrificación microbiana y desnitrificación.</li> <li>✚ Asimilación por parte de las plantas</li> <li>✚ Volatilización del amoniaco</li> </ul>
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Adsorción por parte del lecho</li> <li>✚ Asimilación por parte de las plantas</li> </ul>
Metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Asimilación por parte de las plantas</li> <li>✚ Intercambio iónico</li> </ul>
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Sedimentación</li> <li>✚ Filtración</li> <li>✚ Muerte natural</li> <li>✚ Radiación ultravioleta</li> </ul>

**Fuente.** Welter et al. (1978).

A continuación, se muestra los mecanismos de remoción evaluados en los humedales artificiales de la investigación.

#### E. Remoción de la materia orgánica

La degradación de la materia orgánica, mediante vías aerobias, sucede cerca de la superficie del agua (en los primeros 10 cm) y en las zonas cercanas a las raíces. No obstante; en algunas zonas del humedal (las que tienen mayor profundidad), el oxígeno liberado por las raíces no alcanza para degradar completamente la materia orgánica. Estimaciones realizadas indican que la degradación de la materia orgánica se completa mediante procesos anaerobios (García y Corzo, 2008).

F. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Es la relación del volumen de espacios vacíos sobre el caudal promedio del humedal artificial. Naturalmente, el tiempo de retención hidráulica es propio de cada diseño, dado que este depende del volumen de espacios vacíos de cada humedal artificial; y este, a la vez, de sus porosidades respectivas (Arévalo y Salvador, 2014).

G. Tubo de policloruro de vinilo (PVC) corrugado

El tubo de policloruro de vinilo (PVC) corrugado es utilizado por sus aplicaciones y características técnicas, como material en instalaciones de sistemas eléctricos. Este material está diseñado para alojar y proteger cables en la instalación eléctrica. En primer lugar, entre sus aplicaciones más frecuentes se encuentran las canalizaciones embutidas de todo tipo, tanto en obras húmedas como secas. Por un lado, en las obras húmedas, se realizan embutidos en paredes, bajo pisos térmicos y techos. Sin embargo, este no es apto para losas de hormigón puro. Por otro lado, en obras secas, se realizan embutidos en techos, paredes o tabiques de hormigón pre moldeado con previsión de huecos o canales. En segundo lugar, entre las características técnicas del material se encuentran que es termoplástico, aislante, biodegradable, con alto nivel de flexibilidad, resistente a la compresión (32 kg). Finalmente, como propiedad intensiva del material, el PVC tiene un calor específico equivalente a 1500 J/Kg.K.



**Figura 7.** Muestra de tubo PVC corrugado.

**Fuente:** Arévalo y Salvador, (2014).

#### H. Grava

Se denomina grava a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros. La grava es alisada, por sus aplicaciones y características técnicas, principales, como material de construcción civil, en humedales artificiales, entre otros. Por otro lado, la grava como fuente de abastecimiento, se encuentra en los siguientes puntos: bancos de sedimentación, cauce de ríos, pozos secos y canteras. Los bancos de sedimentación son bancos construidos artificialmente para embarcar el material fino-grosso que arrastran los ríos. El cauce de ríos corresponde a la extracción desde el lecho del río, en los cuales se encuentra material arrastrado por el escurrimiento de las aguas. Los pozos secos son zonas de antiguos rellenos aluviales en valles cercanos a ríos. Las canteras es el lugar de explotación de los mantos rocosos o formaciones geológicas, donde los materiales se extraen, usualmente, desde cerros. Finalmente, como propiedad intensiva del material, la grava tiene un calor específico equivalente a  $910 \text{ J/Kg.K}$ .



**Figura 8.** Muestra de gravas de diámetro entre 1 y 2 pulgadas.

**Fuente:** Arévalo y Salvador, (2014).

### **2.3.3. Sistemas de aire difuso**

Un sistema de aireación difuso está formado por difusores y equipos de conducción de aire. Los difusores están distribuidos en gran parte de la masa total del agua residual presente en el reactor de lodos activados, y los conductores de aire están conformados por los compresores y demás equipos auxiliares por los que circula el aire ( Alvis, 2012).

## **2.4. Definición de términos**

- ✚ Anaerobia.- La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de fangos. En este proceso se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Sus principales aplicaciones han sido, y siguen siendo hoy en día la estabilización de fangos concentrados industriales. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos también se pueden tratar anaeróbicamente (Eddy, 1995).
- ✚ Aerobia.-La digestión aerobia es un método alternativo de tratar los fangos orgánicos producidos en el curso de las diversas operaciones de tratamiento. Los digestores aerobios se pueden emplear para el tratamiento de (1) únicamente fangos activados o de filtros percoladores, (2) mezclas de fangos activados o de filtros percoladores con fangos primarios, o (3) fangos biológicos en exceso de plantas de tratamiento de fangos activados sin sedimentación primaria (Eddy, 1995).

- ✚ Adsorción.- El proceso de adsorción consiste, en términos generales, en la captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución. Esta interfase puede hallarse entre un líquido y un gas, un sólido, o entre dos líquidos diferentes. A pesar de que la adsorción también tiene lugar en las interfases aire- líquido en el proceso de flotación. El tratamiento del agua residual con carbón activado suele estar considerado como un proceso de refinado de aguas que ya han recibido un tratamiento biológico normal (Eddy, 1995).
- ✚ Absorción.- La absorción es el fenómeno de sorción en el que átomos, moléculas o iones pasan de una fase fluida (líquido o gas) a otra fase que puede ser fluida o sólida. En la absorción hay transferencia de materia de una fase A (absorbato) a una fase B (absorbente), la sustancia absorbida difunde en el material absorbente y queda disuelta o dispersa en él (Eddy, 1995).
- ✚ Biopelícula.- También conocida como la capa zoogeal. La biopelícula es el conglomerado de grupos complejos de microorganismos donde predominan las bacterias heterótrofas. Así mismo, la biopelícula está siempre presente en superficies expuestas a contacto con el agua, por ejemplo, en ríos, lagos, mares, sistemas de aguas subterráneas, canales de aguas residuales, entre otros. La capa zoogeal se relaciona particularmente con sistemas acuáticos con altos contenidos de nutrientes, especialmente en aguas residuales (Pérez y Torres, 2008).
- ✚ Conductividad. - La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio, por esta razón el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos (Castro 1995).

- ✚ Coloidales.- Es la fracción filtrable de los sólidos, la fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0.001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación (Castro, 1995).
- ✚ Coliformes.- Las bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 C° se conocen como coliformes termotolerantes. En la mayoría de las aguas, el género predominante es *Escherichia*, pero algunos tipos de bacteria de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* también son termotolerantes. *Escherichia coli* difiere de los demás por su capacidad para producir indol a partir de triptófano o por la producción de la enzima B- glucuronilasa. *E.coli* está presente en concentración muy grande en las heces humanas y animales, y raramente se encuentra en ausencia de contaminación fecal (Ramalho, 2003).
- ✚ Depuradora.- Las estaciones depuradoras de aguas residuales son plantas dedicadas a la depuración de aguas residuales cuya función básica es recoger las aguas residuales de una población o industria, y después de reducir la contaminación mediante ciertos tratamientos y procesos, la devuelve a un cauce receptor como un río, embalse, mar, etc (Ramalho, 2003).
- ✚ Interfase.- Se basa en la teoría de la doble capa que es un modelo físico según el cual la interfase gas- líquido existen dos capas. Las dos capas, una líquida y otra gaseosa presentan una resistencia al paso de las moléculas de gas de una fase a otra. En el caso de gases ligeramente solubles, la capa que ofrece una mayor resistencia al paso de las moléculas de gas de la fase gaseosa a la líquida es la capa líquida, mientras que para el caso de gases muy solubles es la capa gaseosa la que

presenta una mayor resistencia. Los gases de solubilidad intermedia experimentan una elevada resistencia por parte de ambas capas (Eddy, 1995).

- ✚ Grava.- En geología y en construcción se denomina grava a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, aunque no existe homogeneidad de criterio para el límite superior. Pueden ser producidas por el hombre, en cuyo caso suele denominarse piedra partida o chancada (Gonzales, 2013).
- ✚ Glicocalix.- Es la cobertura celular que reviste la membrana plasmática de la célula y que es fundamentalmente compuesta por polisacáridos y/o oligosacáridos proyectados por la propia membrana plasmática (Rodrigues, 2002).
- ✚ Metabolismo.- Son reacciones químicas que se producen en el interior de las células de un organismo. El metabolismo tiene principalmente dos finalidades: obtener energía química utilizable por la célula y fabricar sus propios compuestos a partir de los nutrientes que serán utilizados para crear sus estructuras o para almacenarlos como reserva (Rodrigues, 2002).
- ✚ Macrofitas.- Son aquellas que pueden vivir en terrenos inundados durante toda su vida o encharcadas durante largos periodos de tiempo. Son plantas de biorremediación, al proceso para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural, mediante el empleo de la biorremediación se puede atacar contaminantes específicos del agua (Gonzales, 2013).
- ✚ Piloto.- Es una planta de procesos unitarios a escala reducida que tiene un fin de obtener información sobre un determinado proceso físico o químico, que permita determinar si el proceso es técnicamente y económicamente viable, así como establecer los parámetros de

operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial (Castro, 1995).

- ✚ Rizofiltración.-Es una modalidad específica de fitorremediación (bioremediación usando plantas), la rizofiltración se sirve del filtrado de agua a través de raíces para eliminar sustancias tóxicas o exceso de nutrientes (Eddy, 1995).
- ✚ Sólidos. - Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida. En aguas residuales la determinación de sólidos es ordinariamente de poco valor, ya que es difícil su significado en forma real y exacta (Castro, 1995).
- ✚ Solución.- Es una mezcla homogénea de dos o más sustancias una que se denomina soluto que es la sustancia disuelta y la otra que se denomina disolvente que es la sustancia donde se disuelve (Eddy, 1995).
- ✚ Turbidez.- Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión; puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos. (Rodríguez, 2002). Es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal (Tchobanoglous, 2000).
- ✚ Wetland.- Es un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedales construidos. Es un sistema de tratamiento que promueve el uso sostenible de recursos hídricos de tal manera que permite aprovechar los nutrientes de las aguas residuales para el crecimiento de plantas emergentes que tienen un potencial económico y lograr producir un efluente que puede ser utilizado sin contaminar el medio ambiente (Lord, 1982).

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

- ✚ La eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- ✚ La eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.
- ✚ La eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.

## 2.6. Variables

### 2.6.1. Variables independientes

- ✚ Aireación artificial
- ✚ Medio filtrante

### 2.6.2. Variable dependiente

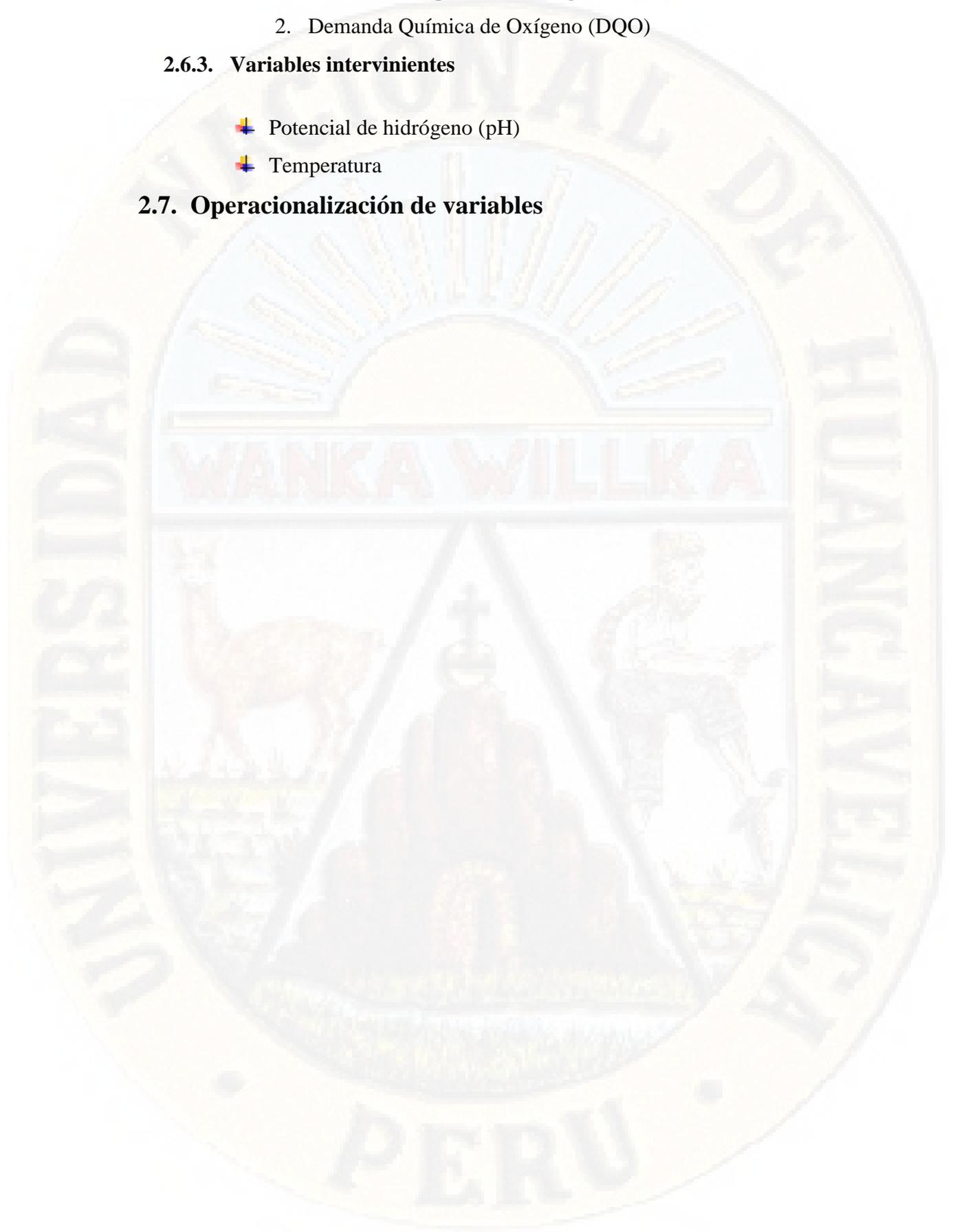
- ✚ Eficiencia de remoción de la materia orgánica  
Dimensiones Bioquímicos – Químicos

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

### 2.6.3. Variables intervinientes

- ✚ Potencial de hidrógeno (pH)
- ✚ Temperatura

### 2.7. Operacionalización de variables



**Tabla 2**

Operacionalización de variables estudiadas

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidades
<b>Variable independiente</b>					
Aireación	Es la extracción de un sistema de aireación difuso está formado por difusores y equipos de conducción de aire.	Las 4 piedras difusoras están distribuidas en gran parte de la masa total del agua residual en una sola unidad en contacto con el medio filtrante y el agua residual. Estimulando la degradación orgánica a través de procesos aeróbicos.	Aireación artificial	Caudal de aire mediante compresor de aire	Litros /min
Medio filtrante	Se denomina grava a las rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros. La grava es utilizada, en humedales artificiales, entre otros.	Se introducirá la grava solo en un humedal artificial el cual está en contacto con el agua residual y la macrófita para la remoción de la materia orgánica.	Material filtrante de grava ¾ pulg.	Tiempo de retención hidráulica. En medio filtrante de grava	Horas
	El tubo de PVC corrugado es utilizado por sus aplicaciones y características técnicas, como material en instalaciones de sistemas eléctricos.	Se introducirá el tubo PVC corrugado cortado en pequeños pedazos al otro sistema de humedal artificial como medio filtrante para la remoción orgánica mejorando el medio de contacto y formación de la biopelícula.	Material filtrante de Policloruro de Vinilo (PVC) corrugado de diámetro ½ pulg.	Tiempo de retención Hidráulica en medio filtrante de PVC	Horas

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidades
<b>Variable dependiente</b>					
I. :Eficiencia de remoción de la materia orgánica:	Son parámetros característicos de la materia orgánica en aguas residuales domésticas, que son fuentes de contaminación de cuerpos de agua.	Medición en laboratorio a partir de un muestreo de calidad de agua conforme al protocolo de monitoreo. De calidad de agua – ANA, en el afluente y efluente del humedal artificial que se realizara semanalmente.	Parámetros químicos	Concentración de (DBO <sub>5</sub> ) Concentración de (DQO)	mg/L mg/L
<b>Variables intervinientes</b>					
Potencial de hidrogeno	El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales	Se realizara el monitoreo de pH a través de un multiparámetro 5 veces por semana un muestreo en el afluente y dos muestreos en el efluente de cada unidad	Parámetro físico	Concentración de pH	Escala de pH
Temperatura	Es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos.	Se realizara el monitoreo de Temperatura a través de un multiparámetro 5 veces por semana un muestreo en el afluente y dos muestreos en el efluente de cada unidad	Parámetro físico	Medida de Temperatura	C °

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Ámbito temporal y espacial

##### 3.1.1. Ámbito temporal

La toma de datos y el procesamiento del trabajo de investigación comprende los meses de octubre del 2018 al mes de abril del 2019.

**Tabla 3**

Cronograma de monitoreo ambiental y análisis de laboratorio

Actividades	Año 2018-2019																							
	Meses																							
	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Ejecución del proyecto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
a) Visita de campo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
b) Toma de muestras	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
c) Análisis de laboratorio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
d) Sistematización de datos				X				X				X				X				X				X

##### 3.1.2. Ámbito espacial

El espacio del trabajo de investigación se ubica a unos metros de la estación meteorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), con una Latitud: 12°46'17.86'', Longitud 75°0'44.52'' y con una altitud aproximada de 3715 Medido con GPS Garmin y con temperaturas registradas diariamente por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

La comunidad de Callqui grande se ubica en:

Departamento: Huancavelica

Provincia : Huancavelica

Distrito : Ascensión

El área de estudio especificado es en el Centro Experimental Agraria

Por el Norte : Montaña Millpo

Por el Sur : Callqui Chico

Por el Este : Comunidad de Ccachuana

Por el Oeste : Callqui Grande



**Figura 9.** Ubicación y localización del área de estudio.

**Fuente:** Google hearth, (2019).

### **3.2. Tipo de investigación**

Aplicativo: por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón que se utilizaran conocimientos de las ciencias a fin de aplicarlas (Sampieri, 2010).

La investigación aplicada le interesa por solucionar dificultades prácticas con diligencia de los conocimientos teóricos asimismo busca conocer el estado actual para poder actuar, modificar, etc (Sampieri, 2010).

### **3.3. Nivel de investigación**

Explicativo: se realiza la experimentación en las unidades experimentales, en un área y tiempo determinado en el cual se manipula la variable independiente y se mide el efecto de esta variable dependiente, de

acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio experimental (Sampieri, 2010).

Es una investigación que se manipula cuidadosamente las variables, para determinar sus influencias. Responde a las preguntas ¿Cómo? y ¿Por qué? Es decir, se realiza la investigación sobre la base de la causa y efecto, con la finalidad de determinar su influencia. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar el por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones a este, o porque se relacionan dos o más variables (Sampieri, 2010).

### **3.4. Población, muestra y muestreo**

#### **3.4.1. Población**

La población de la investigación es el caudal de aguas residuales del centro experimental agraria que es igual a 144 L/día que corresponde a cálculos realizados partir del volumen del tanque del inodoro, la frecuencia y el número de trabajadores.

#### **3.4.2. Muestra**

El caudal que ingresa a cada unidad del humedal es de 23ml /min.

#### **3.4.3. Muestreo**

La técnica aplicada es no probabilístico con tipo de muestreo por conveniencia. Se utilizará la guía de protocolo de monitoreo de calidad de agua de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), donde se sigue los diferentes lineamientos para sacar muestras para su análisis respectivo en las instalaciones del Centro Experimental Agraria Callqui para parámetros de pH y Temperatura. Para el análisis de laboratorio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), serán transportados al laboratorio de la ciudad de Huancayo con denominación “RCJ LABS UNIVERSAL – SERVICIO DE ANÁLISIS DE MINERALES SUELO AGRÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE”.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas que se utilizó en este estudio es la técnica no probabilística con tipo de muestreo por conveniencia, por qué las elecciones de las muestras no dependen de fórmulas de la probabilidad, si no a causas relacionadas con las características y toma de decisión del investigador.

##### 3.5.1.1. Diseño de investigación

La investigación se encuentra enmarcada dentro del diseño experimentos “Puros” con pre prueba y pos prueba, que se monitoreó con la construcción de dos modelos de humedal artificial, para ello se utilizó como diseño de investigación experimental la fórmula matemática:

$$y_{ij} = \mu + M_i + A_j + E_{IJ}$$

Donde:

$y_{ij}$  = Eficiencia de remoción de la materia orgánica  
en términos de:  $DBO_5$  Y  $DQO$

$\mu$  = Media

$M_i$  = Medio filtrante (Grava , tubería Pvc )

$A_j$  = Aireación artificial (con aireación artificial, sin aireación artificial)

$E_{IJ}$  = Error experimental de 0.05 %

**Tabla 4**

Tratamientos y repeticiones para el análisis de variancia de las unidades de tratamiento de aguas residuales.

Tratamientos	Repeticiones (Muestras repetidas)					
	I	II	III	IV	...	XXIV
Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético	X <sub>I</sub>	X <sub>II</sub>	X <sub>III</sub>	X <sub>IV</sub>	...	X <sub>XXIV</sub>
Humedal tradicional	Y <sub>I</sub>	Y <sub>II</sub>	Y <sub>III</sub>	Y <sub>IV</sub>	...	Y <sub>XXIV</sub>

Nota: X<sub>I</sub>, X<sub>II</sub> ... X<sub>XXIV</sub> = Valores de las muestras repetidas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno en el Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; Y<sub>I</sub>, Y<sub>II</sub> ... Y<sub>XXIV</sub> = Valores de las muestras repetidas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno en el Humedal tradicional.

Según la fórmula matemática se consideró dos unidades de tratamiento de agua residual de tipo humedal artificial sub superficial de flujo horizontal con 24 repeticiones (Muestras repetidas), que son denominadas el número de observaciones en aguas residuales en la cual se utilizó la prueba de hipótesis paramétrica de tipo ANOVA – Fisher.

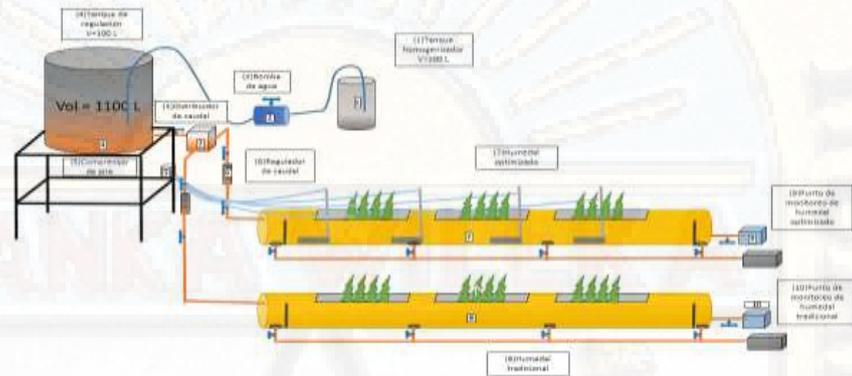
Para determinar la igualdad de las varianzas de dos o más tratamientos (Sampieri, 2010).

Posterior se aplicó la prueba de “Media de Tukey”, el cual se utilizó para determinar las medias estadísticas de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

### 3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- ✚ Digestor DBR – 200 y Colorímetro portátil D- 900: para determinar DQO.
- ✚ Equipos de análisis de DBO<sub>5</sub>.
- ✚ Multiparámetro marca Hanna- Edge, para análisis de temperatura y pH.

### 3.5.3. Instrumentos de recolección de datos en campo



**Figura 10.** Esquema del Humedal artificial subsuperficial de flujo Horizontal.

Las aguas residuales de la Estación Experimental Agraria Callqui tratados parcialmente a través de un tanque séptico colapsado que son enviados hacia un tanque de regulación y homogenizador de 1100 litros. El llenado del tanque se hizo cada semana. Posterior se instaló un regulador de caudal para mantener mismo caudal de 23 L/min a cada unidad de tratamiento y mantener constante el flujo a las unidades de tratamiento.

El sistema de alimentación a las unidades de tratamiento es por medio de una tubería de media pulgada de PVC el cual se controla el caudal con una válvula de retención de un cuarto de pulgada.

A. Sistema de tratamiento principal en evaluación – Humedales artificiales subsuperficial de flujo horizontal

Consiste en dos unidades de humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal, que consiste en la aireación artificial por la parte inferior y debajo de su lecho de tubería corrugada cortada de PVC de media pulgada y la otra unidad de tratamiento que consiste sin aireación con medio filtrante de grava de media pulgada, originando procesos y resultados diferentes.



**Figura 11.** Unidades de tratamiento mediante humedales artificiales subsuperficial de flujo horizontal.

**B. Dispositivo de regulación e ingreso del caudal a las unidades**

Se utilizó un recipiente de plástico con 2 orificios en ambos extremos para conectar la tuberías y repartir caudales posterior a ello se utilizó una válvula de retención de un cuarto de pulgada de bronce conectada a una dispositivo con indicador de medición volumétrica en mililitros para regular el caudal de 23 ml/min a cada unidad de tratamiento. Por medio de tubería de media pulgada que alimenta por goteo constante con accesorios de codos, “T” y un tubo horizontal con agujeros equidistantes para distribución homogénea.



**Figura 12.** Tanque de almacenamiento y homogeneizador.



**Figura 13.** Medidor de caudal tipo volumétrico 23 ml/min.

**C. Humedal artificial subsuperficial de flujo Horizontal sin aireación**

La unidad está constituida por una tubería de 18" de diámetro, el cual se le hicieron ventanas rectangulares por donde sobresalen las plantas que se instalaron, la unidad está dividida en tres zonas: ingreso, central y salida. Pantallas con orificios circulares de media pulgada que ayuda a uniformizar el flujo y separa la zona de ingreso de la zona central y salida.

La zona de ingreso posee una longitud horizontal de 30 cm, aquí se colocó piedra chancada de media pulgada, también posee un orificio en el fondo para purga de tres cuartos de pulgada.

La zona central contiene piedra chancada de media de pulgada y la planta *Cirpus californicus* (*tatora*), la pendiente aproximada es de dos por ciento.

La zona de salida, ocupa una longitud horizontal de veinte centímetros, posee en el fondo un orificio para la purga con una válvula de control de flujo, se colocó piedra chancada de media pulgadas y se hizo un orificio a cinco centímetros del fondo (en la pared vertical – perpendicular al tubo) por donde sale el efluente de la unidad para fines de muestreo de los parámetros a analizar

El nivel del agua al interior de la unidad es de aproximadamente 0.22 metros medido desde el fondo de la tubería.



**Figura 14.** Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal de tipo tradicional: medio filtrante de grava y totora.

D. Humedal artificial subsuperficial de flujo Horizontal con aireación

Se buscó que tenga las mismas condiciones características físicas (estructurales) que la otra unidad con la

variante con aireación artificial y medio filtrante sintético de Policloruro de Vinilo corrugado (PVC)



**Figura 15.** Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal de tipo optimizado: medio filtrante sintético (PVC), aireación artificial y totora.

La aireación se dio con una bomba de aire que se ubicó empotrado a la mesa donde se sostiene el tanque de 1100 litros, esta bomba tiene cuatro salidas que abastecen de aire a cuadro puntos a lo largo de la unidad de tratamiento de la zona central. Las mangueras de la aireación son de silicona de 8 mm de diámetro que se instalaron al fondo de la unidad donde se instalaron los difusores de piedra porosa de quince centímetros de largo.



**Figura 16.** Compresor de aire de 38 L/min de caudal de aire marca ACO-001.



**Figura 17.** Difusores de aire comprimido de 15 cm de longitud.



Especificaciones técnicas

Modelo	ACO-001
Voltaje	100-120 V / 220-240 V
Frecuencia	50//60 Hz
Corriente	0.20/0.11 A
Potencia	18 w
Presión	0.020 M Pa
Caudal de aire	0.038 m3/min o 38 L/min
Diámetro de salida	8 mm
N° de salidas	4
Peso	1 Kg/Und
Dimensiones	180x95x115 mm

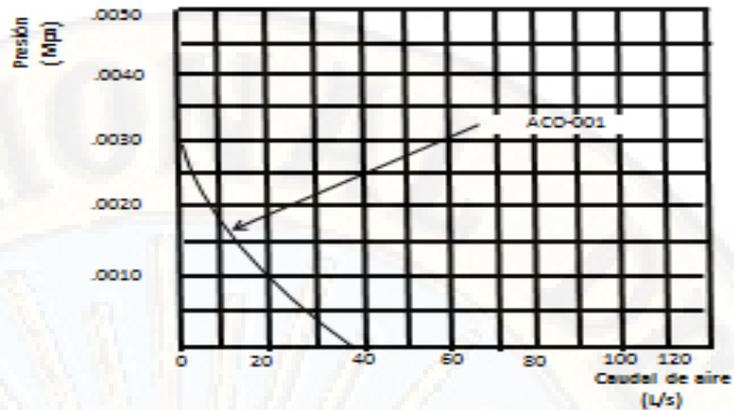
**Figura 18.** Compresora utilizada y sus características.

El nivel de agua desde el fondo de la tubería es de 22 cm. pero asumimos 30 cm por las pérdidas de carga en accesorios y el lecho, además del empuje del agua debido a su mayor densidad.

Se tiene 10197 cm de H<sub>2</sub>O = 1Mpa

$$30 \text{ c de H}_2\text{O} = 0.0029 \text{ Mpa}$$

De la Figura N° 19 de la curva de la bomba de aire.



**Figura 19.** Curva para diseño de aireación.

Se tiene que a 0.003 Mpa el caudal de aire es 38 L/min. Según Figura N°19. Se tiene cuatro difusores que distribuyen 9.5 L/min uniformemente desde la entrada hasta la salida del humedal. La energía consumida por el soplador es 18 W.

E. Se determinó el periodo de retención hidráulica teóricamente mediante a la siguiente fórmula:  $Q = V/T$ .

$$TRH = \frac{\text{Volumen de líquido que almacena el lecho}}{\text{Caudal de ingreso al lecho}}$$

Para determinar el tiempo de retención de ambos lechos se midió el volumen total de líquido que almacena cada lecho filtrante. Se hizo la medición aprovechando el día que se hizo la purga final de ambos lechos.

Los volúmenes obtenidos luego de purgar ambos lechos filtrantes son

- ✚ Lecho filtrante con aireación artificial y medio filtrante sintético :140 litros
- ✚ Lecho filtrante sin aireación artificial con medio filtrante de grava : 68 litros

Con los datos mencionados anteriormente además de los caudales de ingreso que ya fueron calculados determinamos el tiempo de retención hidráulica teórico (TRH) de ambos lechos de la siguiente forma:

$$TRH = \frac{\text{Volumen de líquido que almacena el lecho}}{\text{Caudal de ingreso al lecho}}$$

- ✚ Para el lecho filtrante con aireación artificial y medio filtrante sintético:

$$TRH_{CA} = \frac{140000 \text{ mL}}{23.00 \text{ mL}} = 6086.96 \text{ min}$$

- ✚ Lecho filtrante sin aireación artificial con medio filtrante de grava:

$$TRH_{SA} = \frac{68000 \text{ mL}}{23.00 \text{ mL}} = 2956.52 \text{ min}$$

En la tabla N° 5 convertimos los valores obtenidos del periodo de retención de cada lecho:

**Tabla 5**

Tiempo de retención expresado en diferentes unidades de tiempo

Unidad de tiempo	Tiempo de retención hidráulica	
	Humedal con aireación, medio filtrante sintético	Humedal tradicional
Minutos	6086.96	2956.52
Horas	101.45	49.28
Días	4.23	2.05

Como se puede observar en la tabla N° 5, el tiempo de retención teórico son mayores a dos días por el cual es en base a ello que se realiza el análisis de eficiencias de remoción de la materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

### **3.5.3.1. Procedimiento de Recolección de datos**

Para la recolección de datos se tuvo que tener en cuenta. El programa de monitoreo, las estaciones de monitoreo y los equipos y procedimiento para la toma de muestras.

#### **A. Definición del programa de monitoreo**

Las pruebas físico-químicas de pH y temperatura se realizaron 3 veces a la semana ya que estos parámetros son reguladores enzimáticos en el tratamiento físico – químicos y biológicos del humedal artificial.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), se realizaron una vez por semana y se mandaron a analizar en laboratorio de la ciudad de Huancayo denominado “RCJ LABS UNIVERSAL – SERVICIO DE ANÁLISIS DE MINERALES SUELO AGRÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE”.

#### **B. Determinación de puntos de monitoreo**

Los puntos de monitoreo se precisan como sigue:

PMA - A: Punto de monitoreo de agua en el afluente de los humedales artificiales.



**Figura 20.** Muestro de calidad de agua en el afluente a las unidades de tratamiento.

PMA – ECA: Punto de monitoreo de agua en el efluente del humedal artificial con aireación artificial y medio filtrante sintético.



**Figura 21.** Muestreo de la calidad de agua en el efluente del humedal artificial optimizado.

PMA – ESA: Punto de monitoreo de agua en el efluente del humedal artificial tradicional.



**Figura 22.** Monitoreo de calidad de agua en el humedal artificial tradicional

### C. Método de análisis de laboratorio

Los métodos de análisis de laboratorio se analizaron usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Se basó principalmente en los (Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA – AWWA - WPCF).

Potencial de hidrogeno (pH) y Temperatura

✚ Instrumento: Multiparámetro digital marca Hanna

✚ Procedimiento de medición.

1. Se calibra el multiparámetro con solución Buffer o amortiguadores  
En estados ácidos, neutra y alcalina.
2. Se inserta los sensores en la muestra
3. Se lectura y posteriormente se enjuaga con agua destilada y limpiar con un paño.



**Figura 23.** Análisis de pH y Temperatura con multiparametro Hanna modelo Edge.

#### Demanda Química de Oxígeno (DQO)

✚ Se utilizó como método de ensayo: ME- 05-2017 MÉTODO COLORÍMETRO

✚ Procedimiento de medición:

1. En tubo de rango agregar 2 ml de muestra
2. Colocar al reactor y a enfriamiento
3. Colocar el tubo lector en el fotómetro
4. Tapar adecuadamente
5. Lectura



**Figura 24.** Colorímetro marca Hanna para análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

✚ Se utilizó como método de ensayo: ME-98 EXAMINATION OF THA WATER AND WATEWATER

✚ Procedimiento de medición

1. Agregar 1 dosis de solución alimentadora a un frasco de muestra 250 ml o 500 ml.
2. Agregar Hidróxido de sodio (NAOH), granalla al capuchón
3. Cerrar adecuadamente los frascos
4. Llevar a incubadora a 20 °C por 5 días
5. Lecturar.



**Figura 25.** Digestor para análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

### 3.6. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Se realizó el monitoreo de calidad de agua en el afluente y efluente de las dos unidades del humedal artificial de parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO, que posteriormente se analizó en el laboratorio “RCJ LABS UNIVERSAL – SERVICIO DE ANÁLISIS DE MINERALES SUELO AGRÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE”, de la ciudad de Huancayo. En cuanto a los parámetros de campo se analizó las muestras en las instalaciones del Centro

Experimental Agraria Callqui – Huancavelica. Se analizó y registró en hojas de cálculo como el Microsoft Excel

Se recopiló los datos analizados creando una matriz de datos para cada uno de las dimensiones de la variable dependiente para la etapa de contrastación de hipótesis se procesó los datos con las eficiencias de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno en porcentajes para cada unidad de tratamiento (Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto a su variante tradicional) por el cual se utilizó la prueba hipótesis tipo “ANOVA” – Tukey, por qué se comparó la eficiencia de remoción de los dos sistemas de humedal artificial con un nivel de significancia = 95 %. Para demostrar la hipótesis asignada se procesó utilizando las técnicas estadísticas en programas como son: Microsoft Excel y SAS, para aceptar o rechazar la hipótesis nula. Y para comparar las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de medias de “Tukey”.

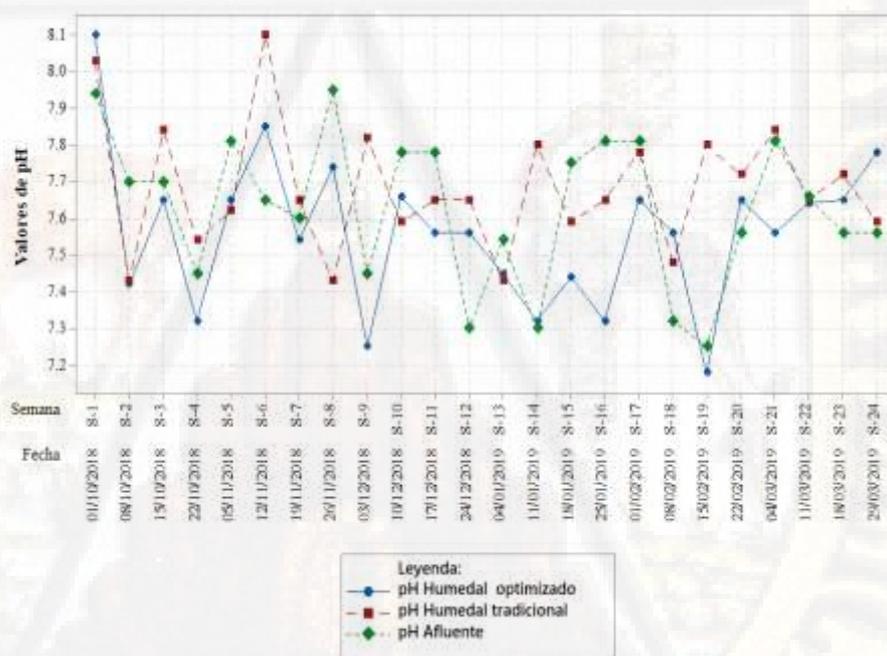
# CAPÍTULO IV

## PRESENTACION DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis de la información

#### 4.1.1. Variación del potencial de hidrogeno (pH) del agua residual en el sistema de tratamiento

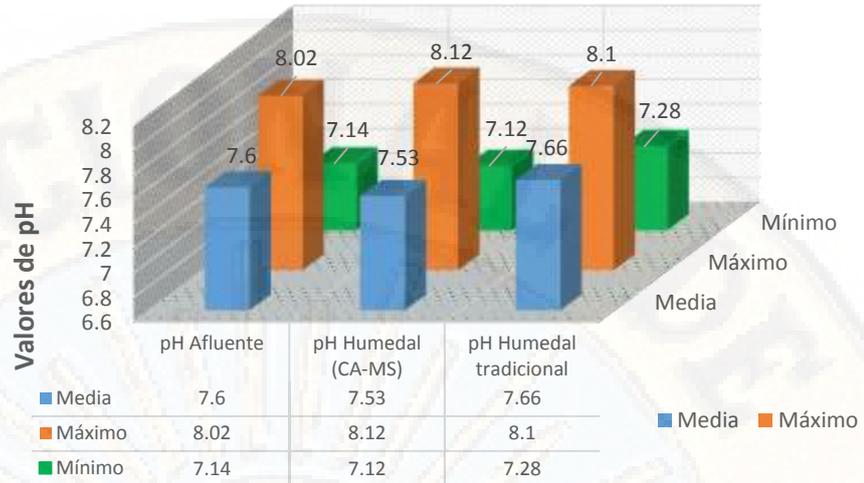
El pH es el parámetro que mide en el agua, la concentración de iones  $H^+$ . Un pH alto indica una baja concentración de iones  $H^+$  (medio alcalino) y un pH bajo indica una alta concentración de iones  $H^+$  (medio ácido). Se determinó el Potencial de hidrogeno de las muestras de agua al ingreso a las unidades de tratamiento así como los efluentes de cada unidad experimental.



**Figura 26.** pH del afluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del proyecto.

**Nota:** Humedal optimizado = humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético.

Según el registro de pH, durante el periodo de evaluación se obtuvieron valores máximos, mínimos y promedio de pH en cada punto de monitoreo.



**Figura 27.** Valores de pH en el afluente, efluente del humedal optimizado y tradicional.

**Nota:** Humedal (CA-MS) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; Afluente = Es el agua residual que ingresa a las unidades de tratamiento.

En el periodo de evaluación se obtuvieron valores de pH del afluente del punto de monitoreo PMA-A igual a la media 7.60 unidades de pH, que es menor en concentración al Humedal tradicional del punto de monitoreo PMA- ESA igual a la media 7.66 unidades de pH. Pero el humedal con aireación artificial, medio filtrantes sintético correspondiente al punto de monitoreo PMA-ECA, igual a 7.53 unidades de pH, fue menor que el humedal tradicional y el afluente.

La causa del aumento de la concentración de pH en el humedal tradicional se debe a que se constituye de un medio filtrante de grava que por reacción con el agua residual elevó sus valores de pH.

Otra causa fue a que fue reflejo de la actividad microbiana que degradando la materia orgánica, genero compuestos orgánicos simples con bajas concentraciones de iones  $H^+$ , lo que incremento los valores de pH por otro lado a pesar que los valores de pH de los humedales fueron similares, el humedal artificial con PVC y aireación artificial, obtuvo valores más bajos, debido a que el intercambio iónico, entre las

moléculas del material filtrante PVC y el agua residual, genero compuestos con iones de  $H^+$  que disminuyeron el valor de pH en consecuencia, el humedal artificial tradicional alcanzo mayor pH que el humedal artificial con aireación artificial, medio filtrante sintético.

**Tabla 6**

Estadística descriptiva de las unidades de pH en los puntos de monitoreo

Parámetros	Und	fi	Estadística - pH					
			Media	Mediana	Moda	DE	CV	$\sigma^2$
<b>Humedal tradicional</b>	pH	72	7.66	7.65	7.65	0.16	2.09	0.02
<b>Humedal Con aireación y PVC</b>	pH	72	7.53	7.54	7.32	0.19	2.65	0.03
<b>Afluente</b>	pH	72	7.60	7.56	7.81	0.20	2.75	0.04

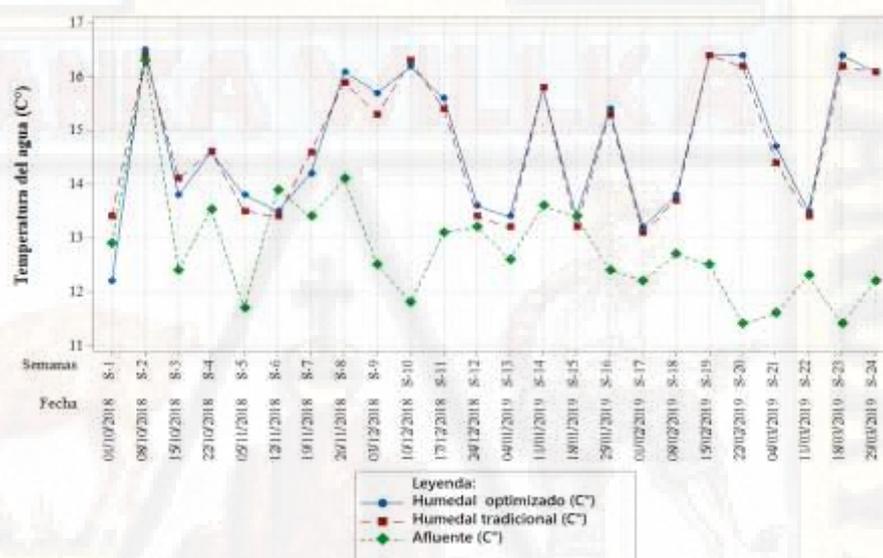
**Nota:** Und = Unidad de medida; fi= Numero de datos procesados; DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$ = Varianza.

Las desviaciones estándar de los parámetros de los valores de pH en cada punto de monitoreo, indica que presentaron similar dispersión respecto a sus valores promedio. Se observa que los valores fueron confiables debido a su baja desviación estándar por lo tanto su coeficiente de variación son bajos. También se observa que el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético tiene mayor valor a comparación del humedal tradicional  $0.19 > 0.16$ , sin embargo son muy similares esto demuestra la estabilidad de la capacidad del buffer para regular el pH.

#### 4.1.2. Variación de la temperatura del agua residual en el sistema de tratamiento

La temperatura influye sobre los tratamientos sobre los parámetros relacionados a la remoción de la materia orgánica, en función al clima y a las estaciones del año.

Se determinó la temperatura de las muestras de agua al ingreso a las unidades de tratamiento así como los efluentes de cada unidad experimental.



**Figura 28.** Temperatura del afluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del proyecto.

**Nota:** Humedal optimizado = humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético.

Según el registro de la temperatura, durante el periodo de operación se registró valores máximo, mínimo y promedio en cada punto de monitoreo.



**Figura 29.** Valores de temperatura en el afluente y efluente de las unidades de tratamiento.

**Nota:** Humedal (CA-MS) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; Afluente = Es el agua residual que ingresa a las unidades de tratamiento.

En el periodo de evaluación, se obtuvieron valores de temperatura que tienden a aumentar y disminuir conforme pasa el tiempo. Para el afluente del punto de monitoreo PMA-A de los humedales artificiales alcanzo valores promedio de 12.8 C°. En el efluente del punto de monitoreo PMA- ECA del humedal artificial con aireación, medio filtrante sintético alcanzo valores de la media igual 14.8 C° y el efluente del punto de monitoreo PMA-ESA del humedal artificial tradicional se obtuvo valores de la media igual a 14.8 C°.

Se tuvo valores que tiende a bajar y subir respecto a la media por que el monitoreo se realizó en meses que varía las condiciones meteorológicas (sol y lluvia). Así mismo, en el periodo de evaluación, por un lado la temperatura del afluente fue menor con la media igual 12.8 C° por que se encuentra almacenada en tanque de almacenamiento de 1.1 metros cúbicos de agua residual que tienden a aumentar su temperatura más lentamente por la cantidad de volumen de agua residual. Por otro lado las temperaturas en la media del efluente de las unidades de

tratamiento fueron muy similares  $14.8=14.8$  esta igualdad se justifica por que las dos unidades de tratamiento tiene un mismo medio de soporte que es una tubería de policloruro de vinilo (PVC) que actúan como un aislante térmico por el material que se constituye.

**Tabla 7**

Estadística descriptiva de la temperatura en los puntos de monitoreo

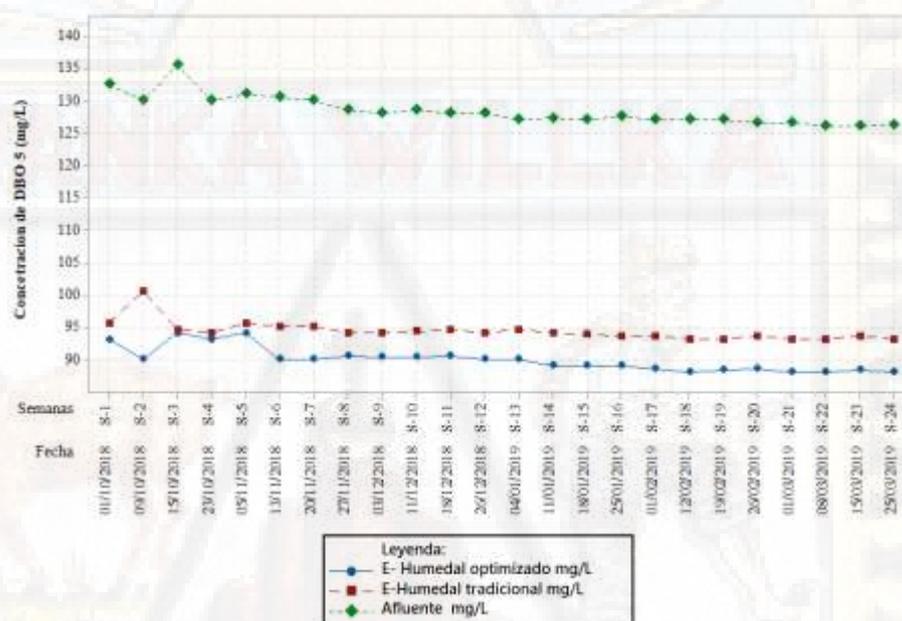
Parámetros	Und	Estadística - Temperatura						
		$f_i$	Media	Mediana	Moda	DE	CV	$\sigma^2$
Humedal tradicional	C°	72	14.77	14.55	13.40	1.08	7.33	1.17
Humedal Con aireación y PVC	C°	72	14.80	14.60	13.50	1.09	7.37	1.19
Afluyente	C°	72	12.77	12.40	12.40	1.04	8.18	1.09

**Nota:** Und = Unidad de medida;  $f_i$  = Numero de datos procesados; DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$  = Varianza.

Las desviaciones estándar de la temperatura para el afluyente  $1.04\text{ C}^\circ$ , para el humedal con aireación artificial con medio filtrante sintético es  $1.09\text{ C}^\circ$  y para el humedal tradicional es  $1.08\text{ C}^\circ$ . Esto indica que la temperatura de los puntos de monitoreo presentaron similar dispersión respecto a sus valores promedio por lo tanto los valores de temperatura fueron confiables puesto que presentaron bajas desviaciones estándar. Sin embargo la desviación estándar en el efluente del humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético fue ligeramente superior que el humedal de tipo tradicional  $1.09 > 1.08$ . En consecuencia ambos humedales presentaron estabilidad en la capacidad térmica no obstante el humedal tradicional presento mayor estabilidad que el humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético.

#### 4.1.3. Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua residual en el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales

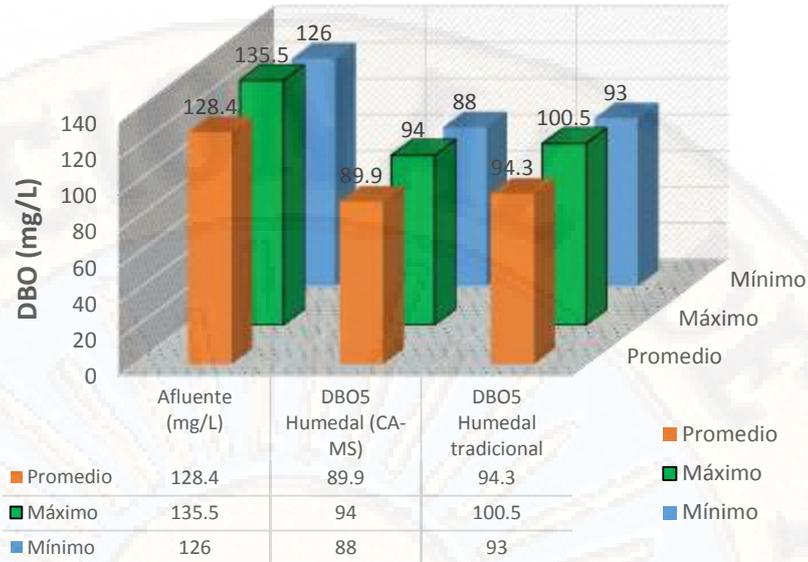
La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es el parámetro que expresa la cantidad necesaria de oxígeno, para la degradación de la materia orgánica, por acción de los microorganismos, así mismo en la práctica se utiliza para medir el grado de contaminación orgánica que existe en el agua residual. Entonces, la DBO<sub>5</sub> es mayor cuanto mayor es la concentración de sustancias orgánicas reductoras. Por consiguiente, se considera un indicador de interés en el tratamiento de aguas residuales.



**Figura 30.** Línea de tiempo de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) VS Tiempo en semanas.

**Nota:** Humedal optimizado = humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético.

Se obtuvieron valores de DBO<sub>5</sub> en términos máximos, mínimos y promedios. En el periodo de evaluación se obtuvieron valores con una tendencia cuasi constante y en disminución en concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a través del tiempo.



**Figura 31.** Valores máximo, mínimo y promedio de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) durante el periodo de evaluación.

**Nota:** Humedal (CA-MS) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; Afluente = Es el agua residual que ingresa a las unidades de tratamiento.

En el periodo de evaluación el afluentes PMA-A, de los humedales artificiales, alcanzaron valores de la media de 128.4 mg/L, en el punto de monitoreo PMA- ECA, alcanzaron valores promedio de 89.9 mg/L y en el punto de monitoreo PMA-ESA, alcanzaron valores de 94.3 mg/L.

Se observa que los valores en DBO<sub>5</sub> en el efluente de las unidades de tratamiento tienen una reducción en concentración debido a que el sistema de humedales logra una consistencia del proceso biológico.

El humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético obtuvo los valores más bajos, ya que la superficie específica del material filtrante, logró el máximo desarrollo de la biopelícula y también mayor tiempo de retención hidráulica igual a 4.23 días con un largo periodo de contacto entre la biopelícula y el agua residual el cual influyeron en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**Tabla 8**

Estadística descriptiva para la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los puntos de monitoreo

Parámetros	Und	<i>f<sub>i</sub></i>	Estadística – DBO <sub>5</sub>					$\sigma^2$
			Media	Mediana	Moda	DE	CV	
<b>Humedal tradicional</b>	mg/L	24	94.25	94.00	93.00	1.53	1.62	2.35
<b>Humedal Con aireación y PVC</b>	mg/L	24	89.92	90.00	90.00	1.86	2.07	3.47
<b>Afluyente</b>	mg/L	24	128.40	127.75	127.00	2.29	1.79	5.28

**Nota:** Und = Unidad de medida; *f<sub>i</sub>*= Numero de datos procesados; DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$ = Varianza.

Las desviaciones estándar fueron 2.29 mg/L para el punto de monitoreo PMA-A, 1.53 mg/L para el punto de monitoreo PMA-ESA y 1.86 mg/L para el punto de monitoreo PMA-ECA. El cual indica que la concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluyente presento mayor dispersión respecto a su promedio que los efluentes de las unidades de tratamiento el cual los efluentes presentan valores similares respecto a la media. Sin embargo en el punto de monitoreo PMA-ESA, es ligeramente menor que PMA-ECA. En consecuencia ambos humedales presentaron estabilidad en la remoción de la DBO<sub>5</sub>; no obstante, el humedal artificial tradicional fue más estable que el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético.

#### 4.1.4. Variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del agua residual en el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es el parámetro que mide las sustancias químicas reductoras, presentes en el agua residual. Las sustancias químicas reductoras captan parte del oxígeno existente para que sean oxidadas por medios químicos. Es decir, la DQO es una

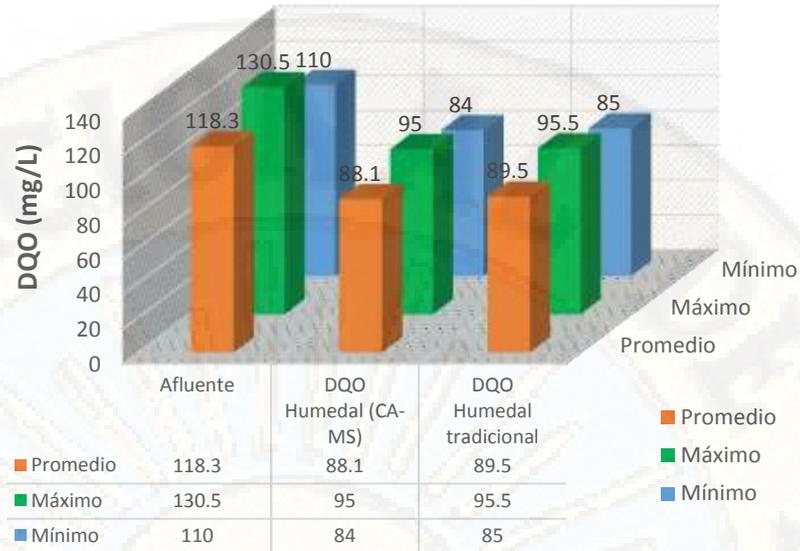
estimación de las materias oxidables, en el agua residual, cualquier sea su origen organico o mineral. Entonces, la DQO es mayor cuanto mayor es la concentración de las sustancias químicas reductoras en el agua residual. Por consiguiente, se considera un indicador de interés en el tratamiento de aguas residuales.



**Figura 32.** Línea de tiempo de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (mg/L) vs Tiempo en semana.

**Nota:** Humedal optimizado = humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético.

Durante el periodo de operación se obtuvieron datos de los valores máximo, mínimo y promedio en cada punto de monitoreo.



**Figura 33.** Valores máximo, mínimo y promedio de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) durante el periodo de evaluación.

**Nota:** Humedal (CA-MS) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; Afluente = Es el agua residual que ingresa a las unidades de tratamiento.

Se obtuvieron valores con tendencia cuasi constante y en disminución de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno a través del tiempo. El punto de monitoreo PMA-A, del afluente de los humedales alcanzaron valores de la media igual a 118.3 mg/L, para el punto de monitoreo PMA-ESA, del efluente de los humedales tradicional alcanzaron valores de la media igual a 89.5 mg/L y para el punto de monitoreo PMA-ECA, del efluente de los humedales con aireación artificial, medio filtrante sintético alcanzaron valores de la media igual a 88.1 mg/L.

Se observa que los humedales tienen una consistencia del proceso biológico. Se debió a la biopelícula que alcanzó su máximo desarrollo; por ello, a través de los microorganismos que adhirieron a la biopelícula y oxidaron la materia de origen orgánico y mineral que contribuyó a la remoción de la DQO.

El humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético obtuvo los valores más bajos a comparación que su variante tradicional ya que la superficie específica del material filtrante, tuvo el máximo desarrollo de la biopelícula y el tiempo de retención hidráulica igual a 4.23 días de prolongado periodo de contacto entre la biopelícula y el agua residual, influyeron a favor de la remoción de la demanda química de oxígeno.

**Tabla 9**

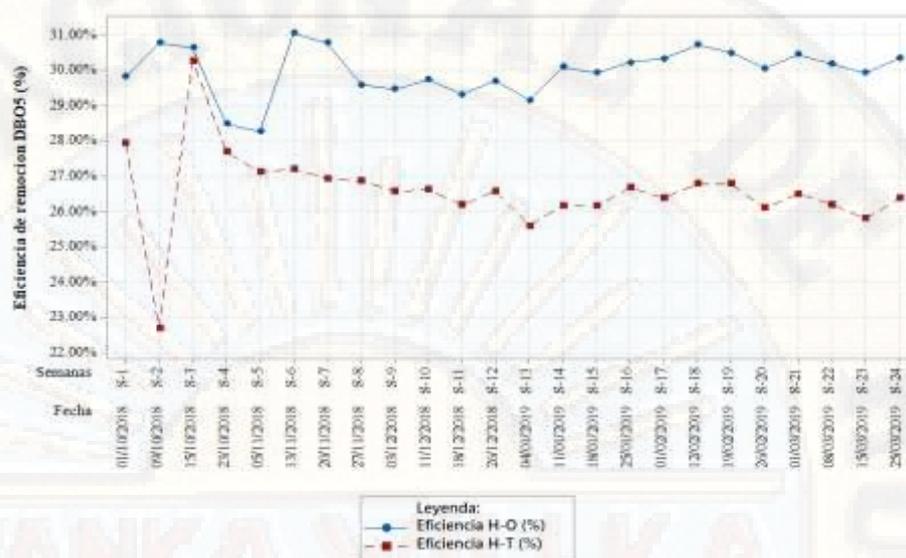
Estadística descriptiva para los valores de la Demanda Química de Oxígeno en los puntos de monitoreo

Parámetros	Und	fi	Estadística – DQO					
			Media	Mediana	Moda	DE	CV	$\sigma^2$
<b>Humedal tradicional</b>	mg/L	24	89.53	87.50	87.50	3.75	4.18	14.07
<b>Humedal Con aireación y PVC</b>	mg/L	24	88.09	88.20	86.00	2.55	2.89	6.52
<b>Afluyente</b>	mg/L	24	118.27	118.00	118.00	4.49	3.80	20.22

**Nota:** Und = Unidad de medida; fi= Numero de datos procesados; DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$ = Varianza.

Las desviaciones estándar, para la magnitud de la Demanda Química de Oxígeno, fueron en el punto de monitoreo PMA-A igual a 4.49 mg/L, para el punto de monitoreo PMA-ESA igual a 3.75 mg/L y el punto de monitoreo PMA-ECA es igual a 2.55 mg/L. Esto indica que el efluente del humedal tradicional presenta mayor dispersión respecto a su media a comparación que el afluyente y el efluente del humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético por lo tanto el humedal artificial con aireación artificial y medio filtrante sintético presentó mayor estabilidad en los datos.

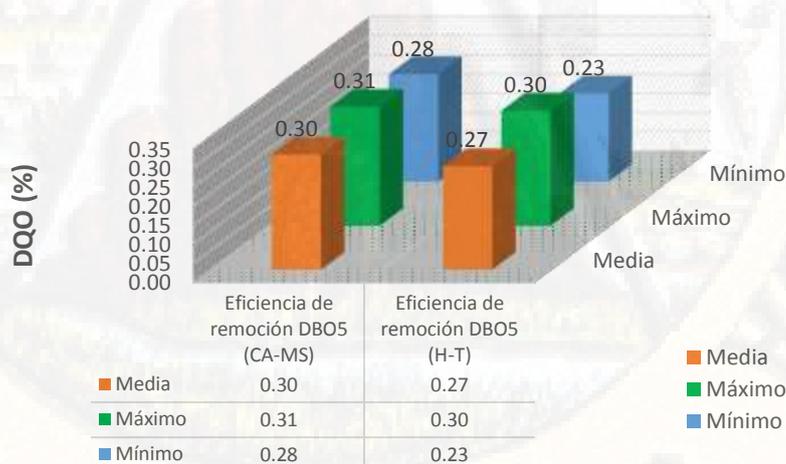
#### 4.1.5. Eficiencia de la remoción en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno



**Figura 34.** Línea de tiempo de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) vs Tiempo (semana).

**Nota:** Humedal optimizado (H-O) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; Humedal tradicional (H-T) = Humedal artificial sin aireación, medio filtrante de grava.

Durante el periodo de operación se obtuvieron datos de los valores máximo, mínimo y promedio en cada punto de monitoreo.



**Figura 35.** Valores de promedio, máximo y mínimo de las eficiencias de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en humedales artificiales optimizado y tradicional.

**Nota:** (CA-MS) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; (H-T)= Humedal tradicional.

Para la eficiencia de remoción de la materia orgánica en términos de la demanda bioquímica de oxígeno se obtuvieron valores con una tendencia cuasi constante y en aumento a través del tiempo. Para el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético se tuvo valores mínimo de 0.28 %, máximo de 0.31% y la media de 0.30 %. La eficiencia de remoción Para el humedal tradicional se tuvo valores mínimo de 0.23 %, máximo de 0.30% y la media de 0.27 %.

Se observa que los valores en  $DBO_5$  de las unidades de tratamiento tienes un aumento en eficiencia de remoción conforme pasa el tiempo debido a que el sistema de humedales logro una consistencia del proceso biológico.

El humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético obtuvo los valores de eficiencia de remoción más altos, ya que la superficie especifica del material filtrante, logró el máximo desarrollo de la biopelícula y también mayor tiempo de retención hidráulica igual a 4.23 días con un largo periodo de contacto entre la biopelícula y el agua residual el cual influyeron en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Otra causa fue que el humedal artificial con aireación, medio filtrante sintético está en contacto continuo con difusores de aire que estimulan la degradación aerobia de la materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**Tabla 10**

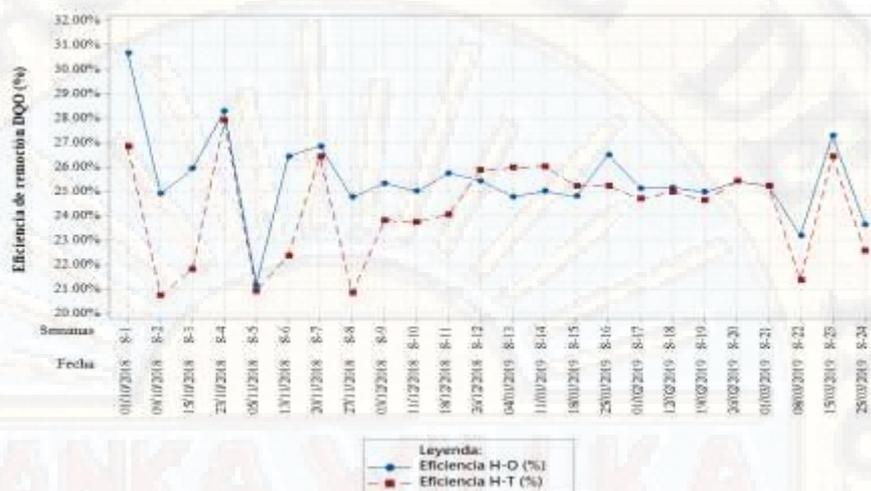
Estadística descriptiva de la eficiencia de remoción para los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Parámetros	Unidad	$f_i$	Estadística – DBO <sub>5</sub>					
			Media	Mediana	Moda	DE	CV	$\sigma^2$
<b>Humedal tradicional</b>	mg/L	24	29.96	30.06	29.92	0.69	2.30	0.48
<b>Humedal Con aireación y PVC</b>	mg/L	24	26.58	26.56	26.56	1.23	4.63	1.53

**Nota:** Und = Unidad de medida;  $f_i$ = Numero de datos procesados; DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$ = Varianza.

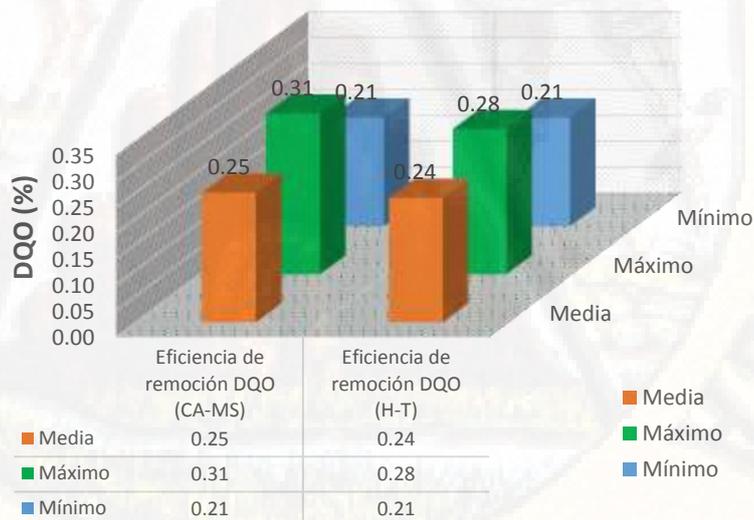
Las desviaciones estándar, para la magnitud de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, en el Humedal con aireación medio filtrante sintético fueron igual a 1.23 mg/L, para el humedal tradicional fue igual a 0.69 mg/L. Esto indica que la eficiencia de remoción en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno, el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético, presentó mayor dispersión respecto a su media a comparación que el humedal tradicional. Por lo tanto el humedal tradicional presento mayor estabilidad en los datos.

#### 4.1.6. Eficiencia de la remoción en términos de Demanda Química de Oxígeno



**Figura 36.** Línea de tiempo de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (mg/L) vs Tiempo (semana).

**Nota:** Humedal optimizado (H-O) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; Humedal tradicional (H-T) = Humedal artificial sin aireación, medio filtrante de grava.



**Figura 37.** Valores de promedio, máximo y mínimo de las eficiencias de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en humedales artificiales optimizado y tradicional.

**Nota:** (CA-MS) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético; (H-T)= Humedal tradicional.

Para la eficiencia de remoción de la materia orgánica en términos de la Demanda Química de Oxígeno se obtuvieron valores que tienden a bajar y subir a través del tiempo. Para el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético se tuvo valores mínimo de 0.21 %, máximo de 0.31% y la media de 0.25 %. La eficiencia de remoción Para el humedal tradicional se tuvo valores mínimo de 0.21 %, máximo de 0.28% y la media de 0.24 %.

Se observa que los valores en DQO de las unidades de tratamiento tienden a aumentar y disminuir conforme pasa el tiempo debido a que el sistema de humedales no logro una adecuada consistencia del proceso biológico. Una de las causas que se podrían explicar seria que al enviar las muestras se haya realizado en diferentes tiempos de ahí las variaciones en eficiencias de la demanda química de oxígeno.

Sin embargo los humedales artificiales realizaron el tratamiento en remoción de la materia orgánica respecto al indicador de DQO. El humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético obtuvo los valores de eficiencia de remoción más altos 25%>24% en términos numéricos mas no estadísticos ya que se verificara estadísticamente en la prueba de hipótesis.

Los motivos de la eficiencia de remoción fue que la superficie específica del material filtrante, tuvo el máximo desarrollo de la biopelícula y el tiempo de retención hidráulica igual a 4.23 días de prolongado periodo de contacto entre la biopelícula y el agua residual, influyeron a favor de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno y que el humedal artificial con aireación, medio filtrante sintético está en contacto continuo con difusores de aire que estimulan la oxidación

química de la materia orgánica en términos de Demanda Química de Oxígeno.

**Tabla 11**

Estadística descriptiva de la eficiencia de remoción para los valores de la Demanda Química de Oxígeno

Parámetros	Und	fi	Estadística – DQO					
			Media	Mediana	Moda	DE	CV	$\sigma^2$
<b>Humedal tradicional</b>	mg/L	24	24.28	24.83	25.21	2.07	8.53	4.31
<b>Humedal Con aireación y PVC</b>	mg/L	24	25.47	25.18	25.00	1.77	6.95	3.13

**Nota:** Und = Unidad de medida; fi= Numero de datos procesados; DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$ = Varianza.

Las desviaciones estándar, para la magnitud de la Demanda Química de Oxígeno, en el Humedal con aireación, medio filtrante sintético fueron igual a 1.77 mg/L, para el humedal tradicional fue igual a 2.07 mg/L. Esto indica que la eficiencia de remoción en términos de Demanda Química de Oxígeno, el humedal tradicional, presentó mayor dispersión respecto a su media a comparación que el humedal con aireación, medio filtrante sintético. Por lo tanto el humedal con aireación, medio filtrante sintético presento mayor estabilidad en los datos.

## 4.2. Prueba de hipótesis

La contrastación de hipótesis se resume a 8 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

1. Realizar el test de normalidad
2. Realizar el test de homogeneidad de varianzas
3. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
4. Escoger un nivel de significancia o riesgo  $\alpha$ .
5. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
6. Establecer la región crítica.
7. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño "n".
8. Rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar)= en el otro caso.

#### 4.2.1. Contrastación de la hipótesis específicas

##### 4.2.1.1. *Contrastación de la hipótesis específica (Demanda Bioquímica de Oxígeno)*

###### A. Test de normalidad

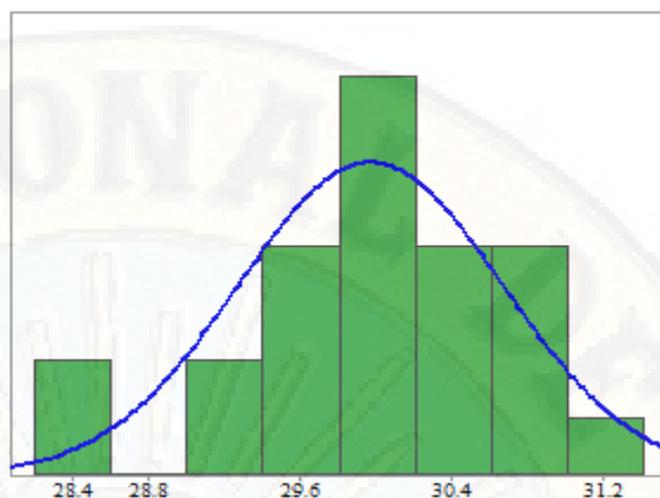
###### ✚ Test de normalidad del humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético

**Tabla 12**

Test de normalidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético

Test para normalidad			
Test	Estadístico		p valor
Kolmogorov-Smirnov	D	0.09955	Pr > D > 0.15

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov en cual resultó que los datos de eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal con aireación artificial, medio filtrante de PVC muestran un comportamiento normal.



**Figura 38.** Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal con aireación, medio filtrante sintético VS cuantiles normales.

En la figura N° 38 se observa que los datos en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno presentan normalidad respecto a la media.

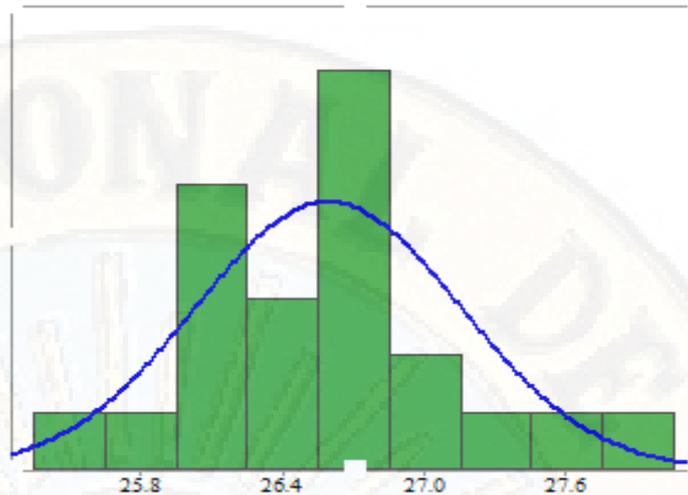
**✚ Test de normalidad del humedal tradicional**

**Tabla 13.**

Test de normalidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal tradicional

Test para normalidad				
Test	Estadístico		p valor	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.101158	Pr > D	>0.15

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov en cual resultó que los datos de eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal tradicional muestran un comportamiento normal.



**Figura 39.** Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el humedal tradicional VS cuantiles normales.

En la Figura N° 39 se observa que los datos en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno presentan normalidad respecto a la media.

### B. Prueba de homogeneidad de varianzas

Se realizó la prueba de Homogeneidad de varianzas con el test de Levene, para el cual se procesó las eficiencias de los dos tratamientos.

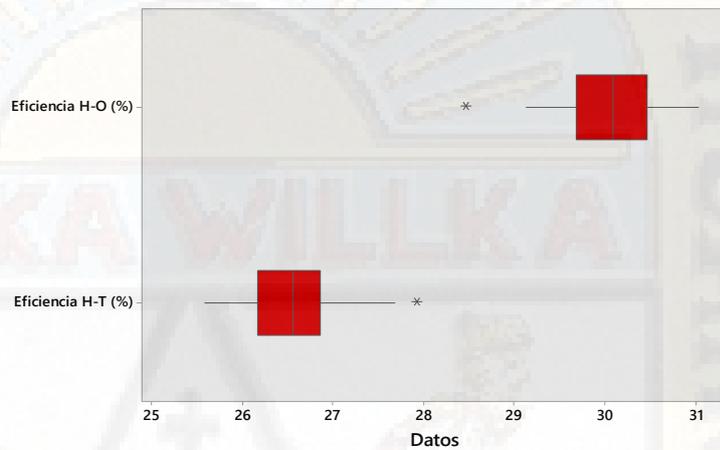
**Tabla 14**

Test de Levene para la homogeneidad de varianzas para la dimensión Demanda Bioquímica de Oxígeno del Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto al humedal tradicional

Test de Levene para homogeneidad de la varianza (DBO <sub>5</sub> )					
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamientos	1	12.0375	12.0375	1.46	0.2332
Error	46	379.4	8.2479		

**Nota:** DF= Datos analizados; F= Valor de Fisher; Pr = Valor de probabilidad.

Se realizó el test de homogeneidad de varianzas con el estadístico de Levene en cual resultado que los datos de eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los tratamientos mediante el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto a su variante tradicional, presentan homogeneidad de varianzas



**Figura 40.** Grafica de cajas para el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético (H-O) y el humedal tradicional (H-T), dimensión de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**Nota:** Humedal optimizado (H-O) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético Humedal tradicional (H-T) = Humedal sin aireación artificial, medio filtrante de grava.

En la figura N°40 se observa que los datos de eficiencia de remoción de los tratamientos mediante el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto a su variante tradicional, presentan homogeneidad de varianzas para la dimensión Demanda Bioquímica de Oxígeno.

### **C. Formulación de hipótesis estadísticas para la hipótesis específica.**

Ho

La eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético no es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.

Ha

La eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica

### **D. Nivel de significación**

El presente trabajo de investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir

$\alpha=0.05$ , y con un grado de confianza de 95 %, es decir con  $1- \alpha=0.95$

### **E. Estadístico de prueba**

El estadístico de prueba utilizado fue el “Análisis de varianza que es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas” (Sampieri, 2010).

Para determinar cuál de los tratamientos es más eficiente se utilizó la prueba de medias de Tukey.

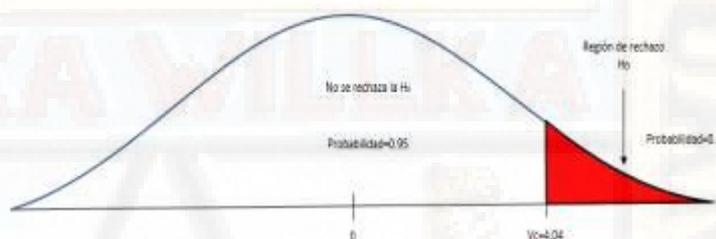
## F. Valor crítico y regla de decisión

Para la prueba de una cola con  $\alpha=0.05$  en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de F  $\alpha, V_1, V_2$ .

$F_{\text{tabla}}=1/46=4.04$  (ver Apéndice N° 6)

$F_{\text{cal}} \leq$  que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis nula

$F_{\text{cal}} >$  que el valor del F de la tabla se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 41.** Valores críticos para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**Nota:**  $V_c$ = valor crítico;  $H_o$ = Hipótesis nula.

## G. Calculo de los estadígrafos de prueba

### ➤ Análisis de varianza (ANOVA) para la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se realizó el análisis de varianza para la dimensión Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).

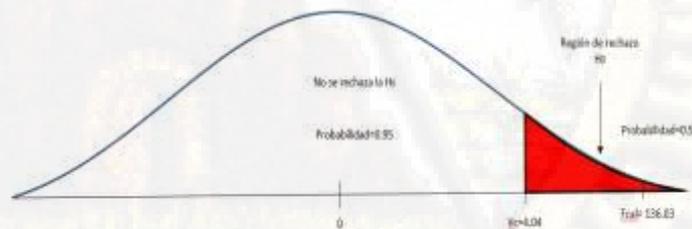
El tratamiento de aguas residuales mediante dos humedales artificiales; con aireación artificial medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional. Presentaron efecto significativo ( $P < 0.05$ ) respecto a la eficiencia de remoción de la materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).

**Tabla 15**

Resumen del análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional

Fuentes de Variación	GL	Cuadrados medios	
		DBO	F
Tratamiento (C/S) Aireación	1	137.43***	136.03
Error	46	1.01	
Total	47		
C V (%)		3.55	

**Nota:** F = Valor de Fisher; GL = Datos procesados; Tratamientos (C/S) = Tratamientos con humedal aireado, medio filtrante sintético respecto a su variante humedal tradicional; F pruebas de Fisher, \*\*\* = muy significativo; ns = no significativo.



**Figura 42.** Valores “F” calculado para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**Nota:** Vc= valor crítico; Ho= Hipótesis nula.

En el Tabla N° 15, Mi valor F calculado es igual a 136.03 >que el valor de F de la tabla (ver Apéndice N° 6) que es igual 4.04.

#### **✚ Pruebas de medias de Tukey para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de alpha 0.05, para el cual presentamos la comparación de medias de la variable Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), respecto a dos unidades de tratamiento: Humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético respecto al humedal tradicional. En la tabla N° 16 presenta los valores medios de la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto al humedal de tipo tradicional, el cual se puede observar que existe diferencias estadísticas en ambos donde: 29.96<sup>a</sup>>26.58<sup>b</sup>. Respecto al coeficiente de variación el humedal aireado con medio filtrante sintético igual a 2.07 % tiene mayor coeficiente de variación respecto al humedal tradicional igual a 1.62 % por el cual el humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético presenta mayor coeficiente de variación.

**Tabla 16**

Prueba de medias de Tukey en las unidades de tratamiento durante el periodo de evaluación

Parámetros	Und	Demanda Bioquímica de Oxígeno			
		Parámetros			
		DBO <sub>5</sub>	DE	CV	$\sigma^2$
Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético	mg/l	29.96 <sup>a</sup>	1.86	2.07	3.47
Humedal tradicional	mg/l	26.58 <sup>b</sup>	1.53	1.62	2.35

Nota: Und = Unidad de medida; DE= Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$ = Varianza; (a y b) son promedios (medias) dentro de columnas con letras diferentes difieren entre si según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ); “a” son promedios (medias) dentro de columnas con letras iguales no difieren entre si según la prueba de Tukey ( $p > 0.05$ ).

Según la tabla N° 16 se observa la reducción en porcentajes de remoción de la materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), el humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético tiene mayor remoción de la materia orgánica estadísticamente en términos de DBO<sub>5</sub>.

Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) se observa que hay una diferencia mínima en las medias de ambos tratamientos siendo levemente superior el humedal optimizado. Según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ambos tratamientos difieren en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).

## H. Decisión estadística

Rechazo la hipótesis nula ( $H_0$ ) y acepto la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Además de la prueba de medias se determinó que  $29.96^a > 26.58^b$ , por lo tanto, se afirma que: **la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.** Demostrando que existe mayor significación en remoción de materia orgánica, para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

### 4.2.1.2. *Contrastación de la hipótesis específica (Demanda Química de Oxígeno)*

#### A. Prueba de normalidad

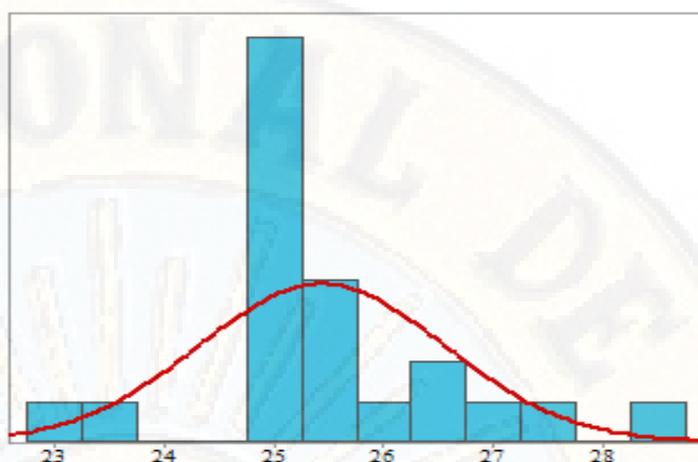
✚ **Test de normalidad del humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético**

**Tabla 17**

Test de normalidad de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético

Tests para normalidad			
Test	Estadístico		p valor
Kolmogorov-Smirnov	D	0.186432	Pr > D 0.06

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov según Tabla N° 17, en cual resultó que los datos de eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal con aireación artificial, medio filtrante de PVC muestran un comportamiento normal.



**Figura 43.** Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal con aireación, medio filtrante sintético vs cuantiles normales.

En la Figura N° 43 se observa que los datos en términos de Demanda Química de Oxígeno presentan normalidad respecto a la media.

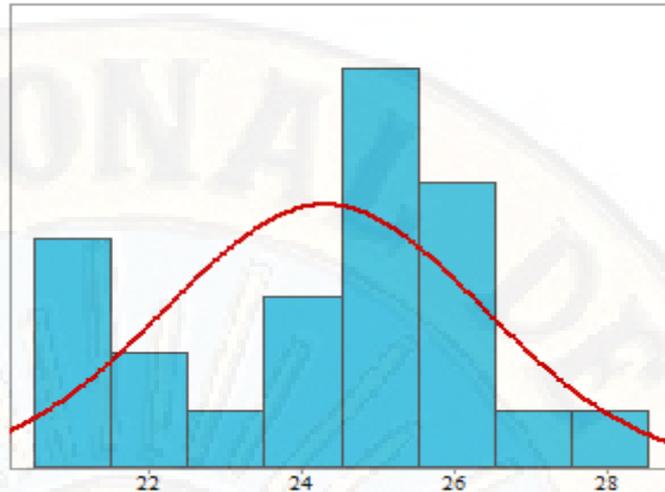
#### ✚ Test de normalidad del humedal tradicional

**Tabla 18**

Test de normalidad de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal artificial tradicional

Test para normalidad			
Test	Estadístico	p valor	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.145518	Pr > D > 0.1500

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov según Tabla N° 18, en cual resultó que los datos de eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en el humedal tradicional muestran un comportamiento normal.



**Figura 44.** Test de normalidad de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno VS cuantiles normales.

En la Figura N° 44 se observa que los datos en términos de Demanda Química de Oxígeno presentan normalidad respecto a la media.

### B. Prueba de homogeneidad de varianzas

Se realizó la prueba de Homogeneidad de varianzas con el test de Levene, para el cual se procesó las eficiencias de los dos tratamientos.

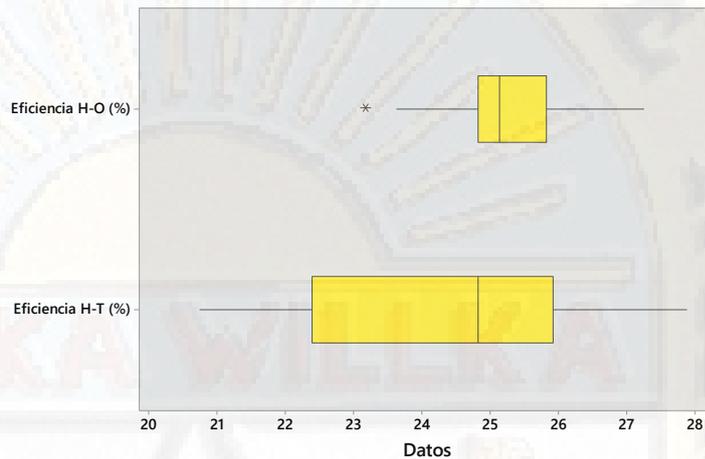
**Tabla 19**

Test de Levene para la homogeneidad de varianzas para la dimensión Demanda Química de Oxígeno del Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto al humedal tradicional

<b>Test de Levene para homogeneidad de la varianza (DQO)</b>					
<b>ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo</b>					
<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamientos</b>	1	15.2607	15.2607	0.50	0.4819
<b>Error</b>	46	1396.3	30.3554		

**Nota:** DF= Datos analizados; F= Valor de Fisher; Pr = Valor de probabilidad.

Se realizó el test de homogeneidad de varianzas con el estadístico de Levene en cual resultado que los datos de eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno en los tratamientos mediante el humedal; con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto a su variante tradicional, presentan homogeneidad de varianzas.



**Figura 45.** Figura de cajas para el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético (H-O) y el humedal tradicional (H-T), dimensión de la Demanda Química de Oxígeno.

**Nota:** Humedal optimizado (H-O) = Humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético Humedal tradicional (H-T) = Humedal sin aireación artificial, medio filtrante de grava.

En la Figura N°45 se observa que los datos de eficiencia de remoción de los tratamientos mediante el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético respecto a su variante tradicional, presentan homogeneidad de varianzas para la dimensión Demanda Química de Oxígeno.

### C. Formulación de hipótesis estadísticas para la hipótesis específica.

Ho

La eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético

no es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.

Ha

La eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica

#### **D. Nivel de significación**

El presente trabajo de investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir

$\alpha=0.05$ , y con un grado de confianza de 95 %, es decir con  $1- \alpha=0.95$

#### **E. Estadístico de prueba**

El estadístico de prueba utilizado fue el “Análisis de varianza que es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas” (Sampieri, 2010). Para determinar cuál de los tratamientos es más eficiente se utilizó la prueba de medias de Tukey.

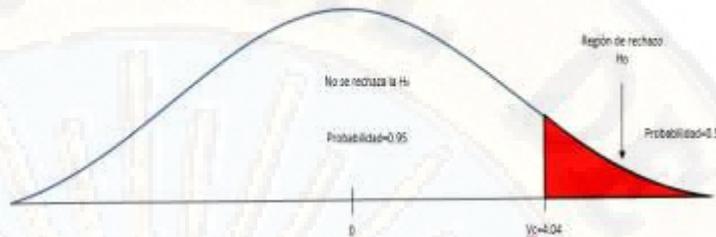
#### **F. Valor crítico y regla de decisión**

Para la prueba de una cola con  $\alpha=0.05$  en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de  $F_{\alpha, V_1, V_2}$ .

$F_{\text{tabla}}=1/46=4.04$  (ver Apéndice N° 6)

$F_{\text{cal}} \leq$  que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis nula

$F_{\text{cal}} >$  que el valor del F de la tabla se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 46.** Valores críticos para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Química de Oxígeno.

**Nota:**  $V_c$ = valor crítico;  $H_0$ = Hipótesis nula.

### G. Calculo de los estadígrafos de prueba

#### ✚ Análisis de varianza (ANOVA) para la Demanda Química de Oxígeno

Se realizó el análisis de varianza para la variable Demanda Química de Oxígeno (DQO).

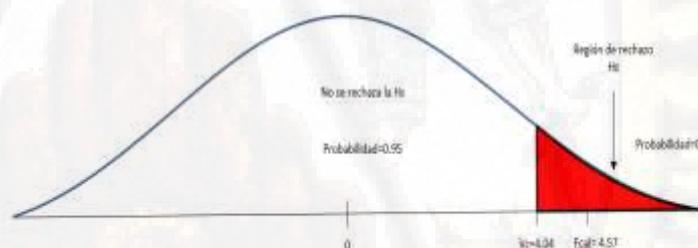
El tratamiento de aguas residuales mediante dos humedales artificiales; con aireación artificial medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional. Presentaron efecto significativo ( $P > 0.05$ ) respecto a la eficiencia de remoción de la materia orgánica en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

**Tabla 20**

Resumen del análisis de varianza de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional

Fuentes de Variación	GL	Cuadrados medios	
		DQO	F
Tratamiento (C/S) Aireación	1	17.00**	4.57
Error	46	3.72	
Total	47		
C V (%)		7.75	

**Nota:** F = Valor de Fisher; GL = Datos procesados; Tratamientos (C/S) = Tratamientos con humedal aireado, medio filtrante sintético respecto a su variante humedal tradicional; F pruebas de Fisher, \*\* = significativo; ns = no significativo.



**Figura 47.** Valores “F” para aceptar o rechazar la hipótesis nula en términos de Demanda Química de oxígeno.

**Nota:**  $V_c$ = valor critico;  $H_0$ = Hipótesis nula.

Según la Tabla N° 20 Mi valor F calculado es igual a 4.57 >que el valor de F de la tabla (ver Apéndice N° 6), que es igual a 4,04.

### ✚ Pruebas de medias de Tukey para la Demanda Química de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , para el cual presentamos la comparación de medias de la variable Demanda Química de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), respecto a dos unidades de tratamiento: Humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético respecto al humedal tradicional. En la tabla N° 21, presenta los valores medios de la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno con aireación artificial y medio filtrante sintético así como su variante tradicional, el cual se puede observar que si existe diferencias estadísticas en ambos donde:  $25.47^a > 24.28^b$ . Respecto a la Coeficiente de variación del el humedal aireado con medio filtrante sintético igual a 2.89 % tiene menor coeficiente de variación respecto al humedal tradicional igual a 4.18 % por el cual el humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético presenta menor coeficiente de variación que su variante tradicional.

**Tabla 21**

Prueba de medias de Tukey en las unidades de tratamiento durante el periodo de evaluación

Parámetros	Und	Demanda Química de Oxígeno			
		Parámetros			
		DQO	DE	CV	$\sigma^2$
<b>Humedal con aireación, medio filtrante sintético</b>	mg/l	25.47 <sup>a</sup>	2.55	2.89	6.52
<b>Humedal tradicional</b>	escala	24.28 <sup>b</sup>	3.75	4.18	14.07

**Nota:** Und = Unidad de medida; DE= Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación;  $\sigma^2$ = Varianza; (a y b) son promedios (medias) dentro de columnas con letras diferentes difieren entre si según la prueba de Tukey ( $p<0.05$ ); “a” son promedios (medias) dentro de columnas con letras iguales no difieren entre si según la prueba de Tukey ( $p>0.05$ ).

Según la Tabla N° 21 se observa la reducción en porcentajes de remoción de la materia orgánica en términos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el humedal con aireación artificial y medio filtrante sintético tiene mayor remoción de la materia orgánica estadísticamente en términos de DQO.

Para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se observa que hay una diferencia mínima en las medias de ambos tratamientos siendo estadísticamente superior el humedal optimizado según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey.

## **I. Decisión estadística**

Rechazo la hipótesis nula ( $H_0$ ) y acepto la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Además de la prueba de medias se determinó que  $25.47^a > 24.28^b$ , por lo tanto se afirma que: **la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.** Demostrando que existe mayor significación en remoción de materia orgánica, para validar el grado de significancia estadística un alfa de 0.05 %.

### 4.3. Discusión de resultados

#### 4.3.1. Eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Garay y Enriquez (2011), manifestaron para la para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la concentración del efluente de los humedales artificiales con aireación presentó un valor promedio de 19.46 mg/L de DBO<sub>5</sub>. La concentración del efluente de los humedales artificiales sin aireación presentó un valor promedio de 154.43 mg/L de DBO<sub>5</sub>. En la investigación realizada en la Estación Agraria Callqui – Huancavelica, el efluente con aireación artificial con medio filtrante sintético presentó un valor promedio de 89.92 mg/L de DBO<sub>5</sub>. El efluente de los humedales artificiales sin aireación y medio filtrante de grava se alcanzó un valor promedio de 94.25 mg/L de DBO<sub>5</sub>. Según el antecedente el humedal aireado tiene mayor remoción que el tradicional. La investigación del antecedente utiliza agua residual de un camal y con tratamiento primario de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), el cual presenta valores de la media igual a 813.03 mg/L al ingreso de las unidades de tratamiento y con el clima cálido aumenta considerablemente el porcentaje de remoción en el tratamiento a comparación de la investigación que se realiza en Huancavelica con clima frío. En la investigación realizada en la Estación Agraria Callqui-Huancavelica se pudo demostrar estadísticamente según el análisis de varianza y prueba de Tukey que la eficiencia de remoción en términos de DBO<sub>5</sub> el humedal aireado con medio filtrante sintético es mayor en remoción que su variante tradicional, se explica a causa que:

- ✚ El humedal optimizado posee aireación artificial y mayor superficie para el desarrollo de la biopelícula que degradará mejor la materia orgánica del agua residual.
- ✚ La remoción se produjo por el mecanismo de adsorción, a través de la degradación de la materia orgánica mediante la acción de los microorganismos aerobios en mayor proporción y anaerobios en menor proporción adheridos a la superficie del material filtrante de Policloruro de vinilo (PVC), las raíces de los rizomas de la totora *Cirpus californicus*.

Goicochea (2014), manifestó los resultados en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), por el cual la concentración en términos de eficiencia de la DBO<sub>5</sub>, en el humedal artificial con grava, efluente del punto de monitoreo H-1, presentó un valor promedio de 71.0 mg/L con 43.5 % de eficiencia de remoción en términos de DBO<sub>5</sub>. En el humedal artificial con PVC, el efluente del punto de monitoreo H-2, presentó un valor promedio de 47.3 mg/L con 62.3 % de eficiencia de remoción en términos de DBO<sub>5</sub>. En la investigación en el Centro Experimental Agraria Callqui – Huancavelica el efluente con aireación artificial con medio filtrante sintético presentó un valor promedio de 89.92 mg/L con 29.97 % de eficiencia de remoción en términos de DBO<sub>5</sub>. El efluente de los humedales artificiales sin aireación y medio filtrante de grava alcanzó un valor promedio de 94.25 mg/L con 26.58 % de eficiencia de remoción en términos de DBO<sub>5</sub>. Ambas investigaciones tienen una similitud en el mismo tipo de agua residual de tipo doméstico con concentraciones de la media igual 126.9 mg/L semejantes 128.4 mg/L, se observa que el tratamiento realizado en Centro de investigación de tratamiento de aguas residuales (CITRAR-LIMA) tiene mejores remociones esto es debido a que la ciudad de Lima es de clima cálido, tipo de macrofita (*Typha dominguensis* para Lima y *Cirpus californicus* para Huancavelica).

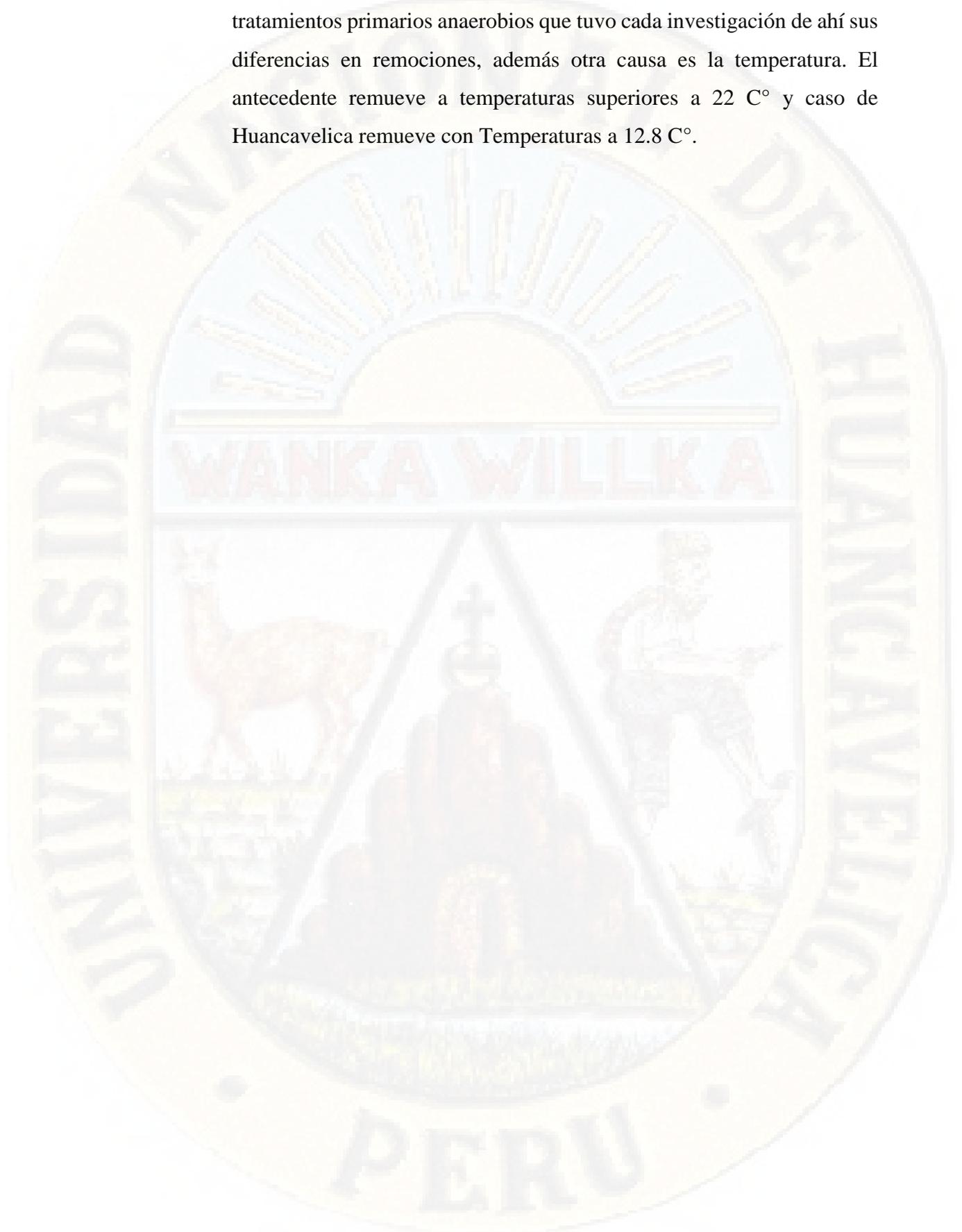
#### **4.3.2. Eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno**

Garay y Enriquez (2011), manifestaron los resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO), donde la concentración del efluente de los humedales artificiales con aireación se presentó un valor promedio de 167.1 mg/L de DQO. La concentración del efluente de los humedales artificiales sin aireación alcanzó un valor promedio de 444.6 mg/L de DQO. La investigación realizada en el centro Experimental Agraria Callqui – Huancavelica la concentración del efluente con aireación artificial con medio filtrante sintético presentó un valor

promedio de 88.09 mg/L de DQO. La concentración del efluente de los humedales artificiales sin aireación y medio filtrante de grava presentó un valor promedio de 89.53 mg/L de DQO. Se observa que la investigación realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería el humedal con aireación y medio filtrante de grava tiene mayor eficiencia de remoción que su variante sin aireación, pero en la investigación realizada en Huancavelica se observa que el humedal con aeración artificial y medio filtrante sintético es superior estadísticamente en eficiencia de remoción que su variante tradicional esto según el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey. Sin embargo es mínima la diferenciase y se pudo deber al procedimiento de análisis de las muestras de las diferencias en los tiempos o errores en el muestreo de campo. La investigación realizada del antecedente utiliza agua residual de un camal el cual las composiciones químicas son muy distintas al tipo doméstico. La remoción se produjo por el mecanismo de adsorción a través de la oxidación de la materia de origen orgánico y mineral. Mediante la acción de las raíces a través de sus rizomas de la macrofita y por sedimentación.

Goicochea (2014), manifestó que los resultados en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO), para la eficiencia de la DQO, en el humedal artificial con grava, la concentración del efluente del punto de monitoreo H-1, alcanzó un valor de la media igual a 209.7 mg/L con 23.67 % de remoción de DQO. En el humedal artificial con PVC, la concentración efluente del punto de monitoreo H-2, se alcanzaron valores promedio de 177.68 mg/L y 35.34 % de remoción de DQO. En nuestra investigación el efluente con aireación artificial con medio filtrante sintético tuvo un valor promedio de 88.09 mg/L con 25.47% eficiencia de remoción en términos de DQO. El efluente de los humedales artificiales sin aireación y medio filtrante de grava presentó un valor promedio de 89.53 mg/L con 24.28 % eficiencia de remoción en términos de DQO. Según el análisis de varianza (ANOVA) - Tukey, existe diferencias estadísticas. La investigación realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería el afluente tiene un promedio de 276.7 mg/L que

en nuestro caso es de 118 mg/L esta diferencia se debe a distintos tratamientos primarios anaerobios que tuvo cada investigación de ahí sus diferencias en remociones, además otra causa es la temperatura. El antecedente remueve a temperaturas superiores a 22 C° y caso de Huancavelica remueve con Temperaturas a 12.8 C°.



## CONCLUSIONES

- ✚ Se pudo demostrar estadísticamente según el análisis de varianza y prueba de Tukey, que la eficiencia de remoción en términos de  $DBO_5$ , el humedal con aireación artificial, medio filtrante sintético de (PVC) es significativamente superior con valores de la media  $29.96^a > 26.58^b$  que corresponde al humedal sin aireación artificial, medio filtrante de grava en remoción de la materia orgánica para la dimensión de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- ✚ Se demostró estadísticamente según el análisis de varianza y prueba de Tukey, que el humedal con aeración artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con valores de la media  $25.47^a > 24.28^b$  que corresponde a su variante tradicional en eficiencia de remoción de la materia orgánica para la dimensión Demanda Química de Oxígeno.

## RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda realizar el análisis de manera instantánea en el laboratorio más cercano esto para evitar variaciones altas en las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.
- ✚ Realizar el análisis en laboratorio más veces a la semana para observar cual es el comportamiento en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.
- ✚ Se recomienda realizar nuevas investigaciones con diferentes tipos de aguas residuales para determinar cuál es la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.
- ✚ Se recomienda analizar más parámetros de análisis de laboratorio para observar la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anibal Alvis Mesa, D. C. (2012). Diseño de un sistema de aireacion para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal. *Universidad de Cartagena*, 101.
- Bedoya Perez, J. C., Ardila Arias, A. N., & Relles Calle, J. (2014). Evaluacion de un Humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia Colombia. *Instituto Universitaria Colegio Mayor de Antioquia Colombia*, 9.
- Bernal Lopez, O. J. (2014). Diseño de unidad piloto de humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domesticas en el campus UMNG-Cajica con fines de reuso. *Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano*, 79.
- Bunge, M. (1971). *Tipos de Investigacion Basica y Aplicada* .
- Burga, J. A. (2004). *Evaluación y Rediseño del Sistema de Lagunas de Estabilización de la Universidad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Caicedo, J. (1995). *Effects of Ammonia, pH and Organic matter on growth of Spirodela polyrrhiza* . M Sc. Thesis E.E.184.
- Castillo, B. S. (2017). *Aplicaion de Macrofitas en Flotacion como ayuda en el tratamiento de Aguas Residuales en la Laguna UDEP*. Piura: Universidad de Piura.
- Castro, R. P. (1995). "Accion Depuradora de algunas plantas acuaticas sobre las Aguas Residuales", Centro de Investigacion Hidraulica y Facultad de Ingenieria Quimica. En R. P. Castro. La Habana Cuba.
- Cecilio Cabrera, Y. (2016). Remocion de materia organica influenciada por la macrofita Californicus, en humedales artificiales subsuperficiales. *Universidad Nacional de Ingenieria*.
- Chara, J. (1988). *El Potencial de las Excretas Porcinas Para Usos Multiples y los Sistemas de Descontaminacion Productiva*.
- Chiappe, I. M. (2014). *Optimización de Lagunas de Estabilización mediante el uso de Macrofitas, en la Universidad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Eddy, M. (1995). Tratamiento, Vertido y Reutilizacion. En M. Eddy, *Ingenieria de Aguas Residuales* (págs. 95-102). Madrid España: McGraw-Hill.
- Fernandez, D. (2011). Filtros de Macrofitas en Flotacion. *LIFE*, 32.
- Garay Miranda, O. A., & Enriquez Huaman, A. G. (2011). Evaluación comparativa del tratamiento de aguas residuales de un matadero mediante el uso de un

humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal y su variante con aireación de lecho filtrante a escala de laboratorio. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 281.

García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con humedales construidos "Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedal de flujo subsuperficial."*. España: Universidad Politécnica de Catalunya.

Gigbie. (Lunes de Octubre de 2018). *Teoría de transferencia de masa (penetración)*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/134635676/Teorias-De-Transferencia-De-Masa-penetracion>

Goicochea Arévalo, D. S. (2014). Influencia de los materiales filtrantes, PVC corrugado y grava en la remoción de la materia orgánica, en humedales artificiales. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 138.

Gonzales, J. F. (2013). *Humedales Artificiales*. EDITA.

Google earth. (Lunes de Abril de 2019). *Google earth*. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Hammeken, R. (2005). Análisis y Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Para el Municipio de San Andrés Cholupa. En R. y. Hammeken, *Análisis y Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Para el Municipio de San Andrés Cholupa* (págs. 34-37). Puebla-México: Universidad de las Américas.

Hernández, D., Ramos, N., Castillo, J., & Orduña Ortega, J. (2015). Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo sub superficial utilizando *Stipa ichu* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Universidad Santiago de Cali - Colombia*, 13.

Huataquispe Vasquez, M., & Segura Orozco, D. C. (2011). Evaluación comparativa del tratamiento de aguas residuales de un matadero mediante el uso de un lecho horizontal con aireación artificial y presencia de plantas con respecto a un lecho horizontal con aireación artificial sin presencia de plantas. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 333.

Huere Peña, J., & Quintanilla Condor, C. (s.f). *Tecnología de la Investigación*. Huancavelica.

Llagas Chafloque, W. A. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 2.

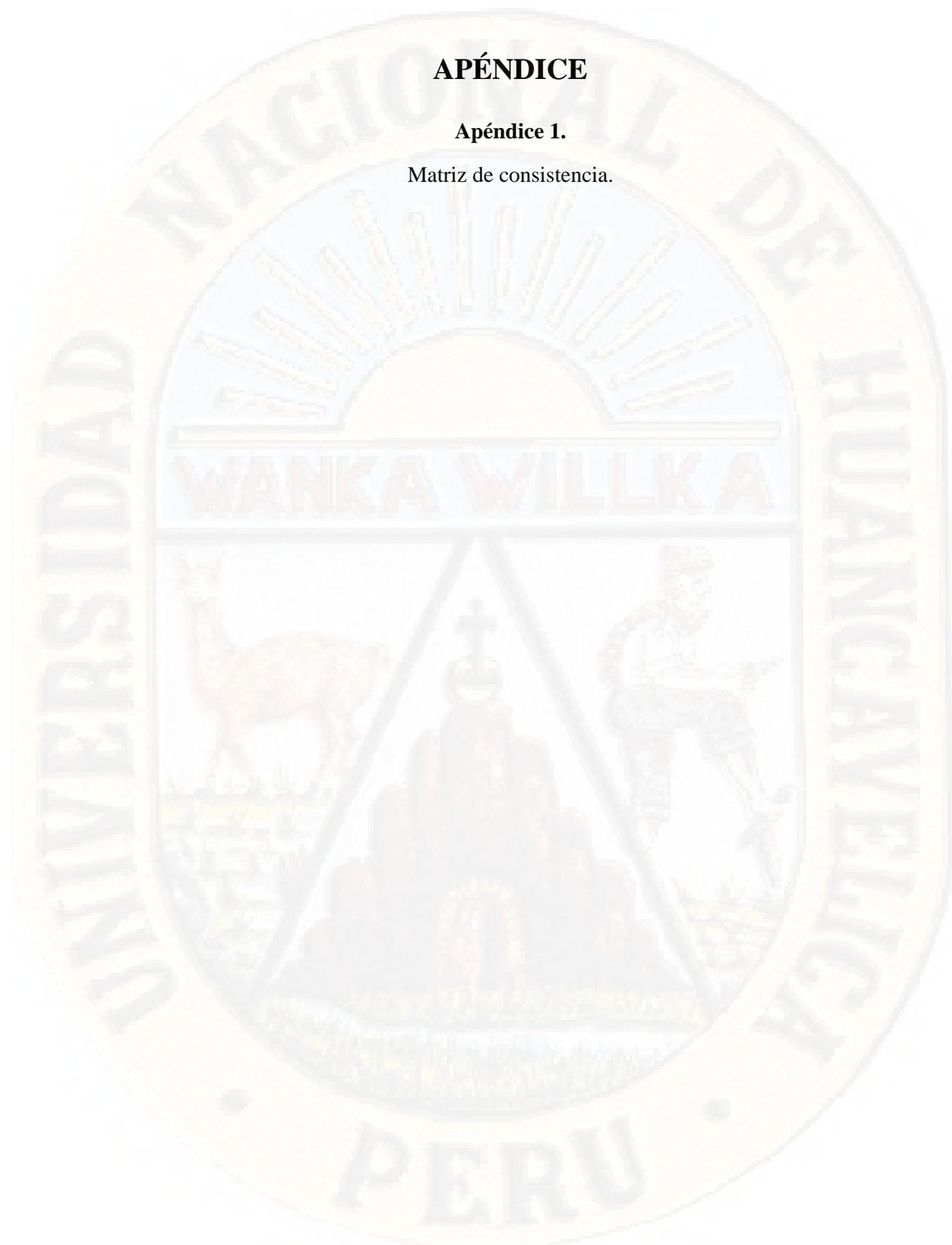
Lord, R. (1982). *Uso de Plantas Acuáticas para el Tratamiento de Aguas Residuales*. México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud.

- Miranda, J. (2017). *Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas*. Santiago de Chile-Chile: Universidad de Chile.
- Napoleon, R. D. (2012). Propuesta de un sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas Residuales de la zona poniente de la ciudad de México. *Repositorio UNAM*.
- Patiño Chavez, J. F., & Zhinin Chimbo, F. (2015). Estudio comparativo de la capacidad depuradora de *Phragmites Australis* y *Cyperus Papyrus* en humedales artificiales subsuperficial de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el canton Santa Isabel. *Universidad de Cuenca*, 150.
- Pedraza, G. (1997). *Implementación y Evaluación de un Sistema de Descontaminación de Aguas Servidas con Plantas Acuáticas*. Lima-Peru: UNALM.
- Ramalho, R. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. En R. RAMALHO, *Tratamiento de Aguas Residuales* (pág. 78). Sevilla-España: Revete S.A.2a ed.
- Rodier. (1990). *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar; química, físicoquímica, bacteriológica, biología*. Omega.
- Rodrigues, R. (2002). Sistema de tratamiento de Aguas Residuales. "Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales". En R. Rodrigues, *Sistema de tratamiento de Aguas Residuales* (pág. 19). Lima - Peru: CEPIS /OPS-OMS.
- Rojas, R. (2002). Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales. En R. Rojas, *Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales* (pág. 19). Lima-Peru: CEPIS/OPS-OMS.
- Sampieri, R. H. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta edición ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- Sperling. (2017). Wastewater characteristics. *Disposal*.
- Tchobanoglous, C. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Colombia: McGraw Hill.
- Veascoechea, E. d. (2014). macrofitas en flotación. *fito depuración*.
- Welter, A. B., Romero, J. M., Grumelli, Y. A., Sanchez, J. A., & Ascar, G. I. (1978). La Biopelícula en los procesos RBC. *Universidad Católica de Cordova*, 17.

# APÉNDICE

## Apéndice 1.

Matriz de consistencia.



**Tabla 22**

Matriz de consistencia

FORMULACION DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	FORMULACION DE HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGIA
<p>¿Cuál será la eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica?.</p> <p><b>Problema Especifico</b></p> <p>a) ¿Cuál será la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales;</p>	<p>Determinar la eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui – Huancavelica.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>a) Determinar la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto</p>	<p>La eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional, realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.</p> <p><b>Hipótesis Especificas</b></p> <p>a) La eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de aguas residuales mediante el</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Aireación artificial</li> <li>✚ Medio filtrante</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caudal de aire</li> <li>2. Tubería corrugada 1/2“ pulg (PVC)</li> <li>3. Grava de 1/2 pulg</li> </ol>	<p>Tipo de investigación: Aplicativo</p> <p>Nivel de investigación: Explicativa</p> <p>Diseño de investigación: Diseño completamente al azar simple (DCA) Con la prueba de hipótesis ANAVA- prueba de medias de Tukey</p>

<p>con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica?.</p> <p>b) ¿Cuál será la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica?.</p>	<p>a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.</p> <p>b) Determinar la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético con respecto a su variante tradicional realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.</p>	<p>tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional, realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.</p> <p>b) La eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales; con aireación artificial, medio filtrante sintético es significativamente superior con respecto a su variante tradicional, realizados en la Estación Experimental Agraria Callqui - Huancavelica.</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>1. DBO<sub>5</sub> 2. DQO</p> <p>➤ Eficiencia de remoción de la materia orgánica</p>
---	--	---	---

## Apéndice 2.

Base de datos de parámetros físico – químico y biológico.

**Tabla 23**

Base de datos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)				
Semanas	Fecha	Afluente (mg/L)	Efluente humedal optimizado (mg/L)	Efluente humedal tradicional (mg/L)
S-1	01/10/2018	132.5	93.0	95.5
S-2	09/10/2018	130.0	90.0	100.5
S-3	15/10/2018	135.5	94.0	94.5
S-4	23/10/2018	130.0	93.0	94.0
S-5	05/11/2018	131.0	94.0	95.5
S-6	13/11/2018	130.5	90.0	95.0
S-7	20/11/2018	130.0	90.0	95.0
S-8	27/11/2018	128.5	90.5	94.0
S-9	03/12/2018	128.0	90.3	94.0
S-10	11/12/2018	128.5	90.3	94.3
S-11	18/12/2018	128.0	90.5	94.5
S-12	26/12/2018	128.0	90.0	94.0
S-13	04/01/2019	127.0	90.0	94.5
S-14	11/01/2019	127.3	89.0	94.0
S-15	18/01/2019	127.0	89.0	93.8
S-16	25/01/2019	127.5	89.0	93.5
S-17	01/02/2019	127.0	88.5	93.5
S-18	12/02/2019	127.0	88.0	93.0
S-19	19/02/2019	127.0	88.3	93.0
S-20	26/02/2019	126.5	88.5	93.5
S-21	01/03/2019	126.5	88.0	93.0
S-22	08/03/2019	126.0	88.0	93.0
S-23	15/03/2019	126.0	88.3	93.5
S-24	25/03/2019	126.3	88.0	93.0

**Tabla 24**

Base de datos de la Demanda Química de Oxígeno

Demanda Química de Oxígeno (mg/L)				
Semanas	Fecha	Afluyente	Efluente humedal optimizado	Efluente humedal tradicional
S-1	01/10/2018	130.5	90.5	95.5
S-2	09/10/2018	120.5	90.5	95.5
S-3	15/10/2018	121.5	90.0	95.0
S-4	23/10/2018	125.5	90.0	90.5
S-5	05/11/2018	120.5	95.0	95.3
S-6	13/11/2018	123.0	90.5	95.5
S-7	20/11/2018	123.0	90.0	90.5
S-8	27/11/2018	120.0	90.3	95.0
S-9	03/12/2018	118.5	88.5	90.3
S-10	11/12/2018	118.0	88.5	90.0
S-11	18/12/2018	118.5	88.0	90.0
S-12	26/12/2018	118.0	88.0	87.5
S-13	04/01/2019	117.5	88.4	87.0
S-14	11/01/2019	118.0	88.5	87.3
S-15	18/01/2019	117.0	88.0	87.5
S-16	25/01/2019	117.0	86.0	87.5
S-17	01/02/2019	115.5	86.5	87.0
S-18	12/02/2019	115.3	86.3	86.5
S-19	19/02/2019	115.0	86.3	86.7
S-20	26/02/2019	115.3	86.0	86.0
S-21	01/03/2019	115.0	86.0	86.0
S-22	08/03/2019	110.0	84.5	86.5
S-23	15/03/2019	115.5	84.0	85.0
S-24	25/03/2019	110.0	84.0	85.2

**Tabla 25**

Base de datos del pH

pH					
Muestreo	Semana	Fecha	Afluente (unidad de pH)	Humedal optimizado (unidad de pH)	Humedal tradicional (unidad de pH)
1	S-1	01/10/2018	7.94	8.10	8.03
2	S-1	03/10/2018	7.88	8.12	7.97
3	S-1	05/10/2018	7.14	7.12	7.28
4	S-2	08/10/2018	7.70	7.42	7.43
5	S-2	10/10/2018	7.25	7.52	7.56
6	S-2	12/10/2018	7.50	7.60	7.64
7	S-3	15/10/2018	7.70	7.65	7.84
8	S-3	17/10/2018	8.02	7.90	7.62
9	S-3	19/10/2018	7.30	7.52	7.65
10	S-4	22/10/2018	7.45	7.32	7.54
11	S-4	24/10/2018	7.65	7.54	7.56
12	S-4	26/10/2018	7.85	7.84	7.95
13	S-5	05/11/2018	7.81	7.65	7.62
14	S-5	07/11/2018	7.45	7.42	7.65
15	S-5	09/11/2018	7.32	7.56	7.45
16	S-6	12/11/2018	7.65	7.85	8.10
17	S-6	14/11/2018	7.45	7.72	7.65
18	S-6	16/11/2018	7.31	7.52	7.84
19	S-7	19/11/2018	7.60	7.54	7.65
20	S-7	21/11/2018	7.25	7.12	7.80
21	S-7	23/11/2018	7.81	7.32	7.84
22	S-8	26/11/2018	7.95	7.74	7.43
23	S-8	28/11/2018	7.56	7.44	7.59
24	S-8	30/11/2018	7.81	7.72	7.55
25	S-9	03/12/2018	7.45	7.25	7.82
26	S-9	05/12/2018	7.30	7.40	7.65
27	S-9	07/12/2018	7.54	7.73	7.43
28	S-10	10/12/2018	7.78	7.66	7.59
29	S-10	12/12/2018	7.45	7.78	7.65
30	S-10	14/12/2018	7.80	7.45	7.56
31	S-11	17/12/2018	7.78	7.56	7.65
32	S-11	19/12/2018	7.60	7.58	7.43
33	S-11	21/12/2018	7.56	7.54	7.59
34	S-12	24/12/2018	7.30	7.56	7.65
35	S-12	26/12/2018	7.35	7.25	7.80

36	S-12	28/12/2018	7.78	7.32	7.82
37	S-13	04/01/2019	7.54	7.45	7.43
38	S-13	07/01/2019	7.56	7.44	7.78
39	S-13	09/01/2019	7.81	7.23	7.84
40	S-14	11/01/2019	7.30	7.32	7.80
41	S-14	14/01/2019	7.81	7.32	7.74
42	S-14	16/01/2019	7.78	7.55	7.43
43	S-15	18/01/2019	7.75	7.44	7.59
44	S-15	21/01/2019	7.95	7.36	7.75
45	S-15	23/01/2019	7.55	7.35	7.80
46	S-16	25/01/2019	7.81	7.32	7.65
47	S-16	28/01/2019	7.80	7.66	7.43
48	S-16	30/01/2019	7.56	7.68	7.59
49	S-17	01/02/2019	7.81	7.65	7.78
50	S-17	04/02/2019	7.78	7.54	7.65
51	S-17	06/02/2019	7.81	7.35	7.78
52	S-18	08/02/2019	7.32	7.56	7.48
53	S-18	11/02/2019	7.56	7.44	7.59
54	S-18	13/02/2019	7.76	7.28	7.55
55	S-19	15/02/2019	7.25	7.18	7.80
56	S-19	18/02/2019	7.80	7.48	7.45
57	S-19	20/02/2019	7.52	7.45	7.43
58	S-20	22/02/2019	7.56	7.65	7.72
59	S-20	25/02/2019	7.66	7.45	7.65
60	S-20	27/02/2019	7.50	7.46	7.80
61	S-21	04/03/2019	7.81	7.56	7.84
62	S-21	06/03/2019	7.28	7.68	7.66
63	S-21	08/03/2019	7.56	7.78	7.59
64	S-22	11/03/2019	7.66	7.64	7.65
65	S-22	13/03/2019	7.55	7.72	7.80
66	S-22	15/03/2019	7.52	7.45	7.43
67	S-23	18/03/2019	7.56	7.65	7.72
68	S-23	20/03/2019	7.66	7.45	7.65
69	S-23	22/03/2019	7.50	7.46	7.80
70	S-24	25/03/2019	7.81	7.56	7.84
71	S-24	27/03/2019	7.28	7.68	7.66
72	S-24	29/03/2019	7.56	7.78	7.59

**Tabla 26**

Base de datos de la variable temperatura

Temperatura					
Muestreo	Semana	Fecha	Afluyente (C°)	Humedal optimizado (C°)	Humedal tradicional (C°)
1	S-1	01/10/2018	12.9	12.2	13.4
2	S-1	03/10/2018	13.3	14.3	14.2
3	S-1	05/10/2018	16.0	15.0	16.0
4	S-2	08/10/2018	16.3	16.5	16.4
5	S-2	10/10/2018	13.4	14.3	15.2
6	S-2	12/10/2018	13.5	14.1	14.8
7	S-3	15/10/2018	12.4	13.8	14.1
8	S-3	17/10/2018	12.6	13.5	13.2
9	S-3	19/10/2018	14.0	15.4	15.1
10	S-4	22/10/2018	13.5	14.6	14.6
11	S-4	24/10/2018	12.2	14.5	13.5
12	S-4	26/10/2018	12.4	14.5	14.1
13	S-5	05/11/2018	11.7	13.8	13.5
14	S-5	07/11/2018	11.9	13.5	14.7
15	S-5	09/11/2018	13.4	13.7	14.5
16	S-6	12/11/2018	13.9	13.5	13.4
17	S-6	14/11/2018	11.8	14.5	13.5
18	S-6	16/11/2018	14.5	14.6	14.4
19	S-7	19/11/2018	13.4	14.2	14.6
20	S-7	21/11/2018	14.6	15.5	15.3
21	S-7	23/11/2018	13.5	14.5	14.1
22	S-8	26/11/2018	14.1	16.1	15.9
23	S-8	28/11/2018	16.8	16.2	16.7
24	S-8	30/11/2018	12.4	14.6	14.4
25	S-9	03/12/2018	12.5	15.7	15.3
26	S-9	05/12/2018	12.2	13.6	13.6
27	S-9	07/12/2018	12.4	14.5	14.2
28	S-10	10/12/2018	11.8	16.2	16.3
29	S-10	12/12/2018	12.5	14.2	13.8
30	S-10	14/12/2018	12.8	16.1	15.7
31	S-11	17/12/2018	13.1	15.6	15.4
32	S-11	19/12/2018	12.6	16.2	16.1
33	S-11	21/12/2018	12.2	16.2	15.8
34	S-12	24/12/2018	13.2	13.6	13.4
35	S-12	26/12/2018	12.4	14.2	14.2
36	S-12	28/12/2018	13.5	13.6	13.5

37	S-13	04/01/2019	12.6	13.4	13.2
38	S-13	07/01/2019	11.6	14.2	14.3
39	S-13	09/01/2019	12.4	13.8	13.6
40	S-14	11/01/2019	13.6	15.8	15.8
41	S-14	14/01/2019	13.5	13.4	13.3
42	S-14	16/01/2019	12.5	16.4	16.5
43	S-15	18/01/2019	13.4	13.4	13.2
44	S-15	21/01/2019	12.6	16.5	16.5
45	S-15	23/01/2019	12.4	15.8	15.6
46	S-16	25/01/2019	12.4	15.4	15.3
47	S-16	28/01/2019	11.4	14.6	14.2
48	S-16	30/01/2019	11.6	15.4	15.2
49	S-17	01/02/2019	12.2	13.2	13.1
50	S-17	04/02/2019	12.8	13.4	15.4
51	S-17	06/02/2019	11.6	14.6	14.4
52	S-18	08/02/2019	12.7	13.8	13.7
53	S-18	11/02/2019	13.5	14.8	14.5
54	S-18	13/02/2019	12.6	15.4	15.2
55	S-19	15/02/2019	12.5	16.4	16.4
56	S-19	18/02/2019	12.4	16.4	16.2
57	S-19	20/02/2019	12.3	15.6	15.6
58	S-20	22/02/2019	11.4	16.4	16.2
59	S-20	25/02/2019	12.4	16.2	16.3
60	S-20	27/02/2019	12.4	14.3	14.2
61	S-21	04/03/2019	11.6	14.7	14.4
62	S-21	06/03/2019	12.4	13.5	13.4
63	S-21	08/03/2019	12.2	16.1	16.1
64	S-22	11/03/2019	12.3	13.5	13.4
65	S-22	13/03/2019	12.4	15.5	15.4
66	S-22	15/03/2019	12.3	15.6	15.6
67	S-23	18/03/2019	11.4	16.4	16.2
68	S-23	20/03/2019	12.4	16.2	16.3
69	S-23	22/03/2019	12.4	14.3	14.2
70	S-24	25/03/2019	11.6	14.7	14.4
71	S-24	27/03/2019	12.4	13.5	13.4
72	S-24	29/03/2019	12.2	16.1	16.1

**Tabla 27**Eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en humedales artificiales: optimizado y tradicional

Semanas	Fecha	Afluente (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)					
			Humedal optimizado			Humedal tradicional		
			Caudal de ingreso (ml/min)	Efluente humedal optimizado (mg/L)	Eficiencia (%)	Caudal de ingreso (ml/min)	Efluente humedal tradicional (mg/L)	Eficiencia (%)
S-1	01/10/2018	132.5	23.0	93.0	29.81	23.0	95.5	27.92
S-2	09/10/2018	130.0	23.0	90.0	30.77	23.0	100.5	22.69
S-3	15/10/2018	135.5	23.0	94.0	30.63	23.0	94.5	30.26
S-4	23/10/2018	130.0	23.0	93.0	28.46	23.0	94.0	27.69
S-5	05/11/2018	131.0	23.0	94.0	28.24	23.0	95.5	27.10
S-6	13/11/2018	130.5	23.0	90.0	31.03	23.0	95.0	27.20
S-7	20/11/2018	130.0	23.0	90.0	30.77	23.0	95.0	26.92
S-8	27/11/2018	128.5	23.0	90.5	29.57	23.0	94.0	26.85
S-9	03/12/2018	128.0	23.0	90.3	29.45	23.0	94.0	26.56
S-10	11/12/2018	128.5	23.0	90.3	29.73	23.0	94.3	26.61
S-11	18/12/2018	128.0	23.0	90.5	29.30	23.0	94.5	26.17
S-12	26/12/2018	128.0	23.0	90.0	29.69	23.0	94.0	26.56
S-13	04/01/2019	127.0	23.0	90.0	29.13	23.0	94.5	25.59
S-14	11/01/2019	127.3	23.0	89.0	30.09	23.0	94.0	26.16
S-15	18/01/2019	127.0	23.0	89.0	29.92	23.0	93.8	26.14
S-16	25/01/2019	127.5	23.0	89.0	30.20	23.0	93.5	26.67
S-17	01/02/2019	127.0	23.0	88.5	30.31	23.0	93.5	26.38
S-18	12/02/2019	127.0	23.0	88.0	30.71	23.0	93.0	26.77
S-19	19/02/2019	127.0	23.0	88.3	30.47	23.0	93.0	26.77
S-20	26/02/2019	126.5	23.0	88.5	30.04	23.0	93.5	26.09
S-21	01/03/2019	126.5	23.0	88.0	30.43	23.0	93.0	26.48
S-22	08/03/2019	126.0	23.0	88.0	30.16	23.0	93.0	26.19
S-23	15/03/2019	126.0	23.0	88.3	29.92	23.0	93.5	25.79
S-24	25/03/2019	126.3	23.0	88.0	30.32	23.0	93.0	26.37

**Tabla 28**

Eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en humedales artificiales: optimizado y tradicional

Semanas	Fecha	Afluente (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)					
			Humedal optimizado			Humedal tradicional		
			Caudal de ingreso (ml/min)	Efluente humedal optimizado (mg/L)	Eficiencia (%)	Caudal de ingreso (ml/min)	Efluente humedal tradicional (mg/L)	Eficiencia (%)
S-1	01/10/2018	130.5	23.0	90.5	30.65	23.0	95.5	26.82
S-2	09/10/2018	120.5	23.0	90.5	24.90	23.0	95.5	20.75
S-3	15/10/2018	121.5	23.0	90.0	25.93	23.0	95.0	21.81
S-4	23/10/2018	125.5	23.0	90.0	28.29	23.0	90.5	27.89
S-5	05/11/2018	120.5	23.0	95.0	21.16	23.0	95.3	20.91
S-6	13/11/2018	123.0	23.0	90.5	26.42	23.0	95.5	22.36
S-7	20/11/2018	123.0	23.0	90.0	26.83	23.0	90.5	26.42
S-8	27/11/2018	120.0	23.0	90.3	24.75	23.0	95.0	20.83
S-9	03/12/2018	118.5	23.0	88.5	25.32	23.0	90.3	23.80
S-10	11/12/2018	118.0	23.0	88.5	25.00	23.0	90.0	23.73
S-11	18/12/2018	118.5	23.0	88.0	25.74	23.0	90.0	24.05
S-12	26/12/2018	118.0	23.0	88.0	25.42	23.0	87.5	25.85
S-13	04/01/2019	117.5	23.0	88.4	24.77	23.0	87.0	25.96
S-14	11/01/2019	118.0	23.0	88.5	25.00	23.0	87.3	26.02
S-15	18/01/2019	117.0	23.0	88.0	24.79	23.0	87.5	25.21
S-16	25/01/2019	117.0	23.0	86.0	26.50	23.0	87.5	25.21
S-17	01/02/2019	115.5	23.0	86.5	25.11	23.0	87.0	24.68
S-18	12/02/2019	115.3	23.0	86.3	25.15	23.0	86.5	24.98
S-19	19/02/2019	115.0	23.0	86.3	24.96	23.0	86.7	24.61
S-20	26/02/2019	115.3	23.0	86.0	25.41	23.0	86.0	25.41
S-21	01/03/2019	115.0	23.0	86.0	25.22	23.0	86.0	25.22
S-22	08/03/2019	110.0	23.0	84.5	23.18	23.0	86.5	21.36
S-23	15/03/2019	115.5	23.0	84.0	27.27	23.0	85.0	26.41
S-24	25/03/2019	110.0	23.0	84.0	23.64	23.0	85.2	22.55

### Apéndice 3.

Análisis de varianza de las dimensiones para contrastación de la hipótesis planteada.

**Tabla 29**

Procedimiento de análisis de varianza variable dependiente: DBO<sub>5</sub>

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Modelo</b>	1	137.4310083	137.4310083	136.03	<.0001
<b>Error</b>	46	46.4746917	1.0103194		
<b>Total corregido</b>	47	183.9057000			

**Tabla 30**

Procedimiento de análisis de varianza variable dependiente: DQO

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Modelo</b>	1	17.0051021	17.0051021	4.57	0.0379
<b>Error</b>	46	171.2877958	3.7236477		
<b>Total corregido</b>	47	188.2928979			

#### Apéndice 4.

Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales, Autoridad Nacional del Agua (ANA).

**Tabla 31**

Etiqueta para muestra de agua.

Solicitante:			
Nombre del laboratorio:			
Codigo punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:			
Parámetro requerido:			
Preservada:	SI	NO	Tipo de reactivo:



**Tabla 33**

Conservación y preservación de muestras de agua en función del parámetro evaluado

PARÁMETRO	TIPO DE RECIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
<b>1.- Químico-Físicos</b>			
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
	Botellas de vidrio Winkler	Fijar el oxígeno. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	4 días
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	Inmediatamente
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 horas
Turbiedad	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
Bicarbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	14 días
Carbonatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	14 días
Cianuro libre	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	7 días (24 horas si está presente sulfuro)
Cianuro WAD			
Cianuro total	Plástico o vidrio	Agregar NaOH a pH>12. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	14 días (24 horas si está presente sulfuro)
Cloruros	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Color	Plástico o vidrio	Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	5 días
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días	Plástico o vidrio	Llenar recipiente y sellar sin burbujas. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
	Plástico	Congelar por debajo de -18° C. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	1 mes (6 meses si >50 mg/L)
Demanda química de oxígeno	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6 meses
	Plástico	Congelar por debajo de -18°C.	6 meses
Dureza	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes
Fluoruros	Plástico, pero sin PTFE	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Olor	Vidrio	Se puede realizar un análisis cualitativo <i>in situ</i> .	6 horas
Silicatos	Plástico	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	7 días
Sólidos suspendidos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	2 días
Sulfatos	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C ± 3°C	1 mes
Sulfuros	Plástico	Fijar el sulfuro al agregar 2 ml de solución de acetato de zinc. Si el pH no está entre 8,5 y 9,0, agregar NaOH. Si se sospecha que el agua ha sido clorada, por cada 1000 ml de muestra agrega 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O al recipiente tras la recolección de la muestra (o tras el muestreo).	7 días
Sulfuro de hidrógeno			

**Fuente.** Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales, Autoridad Nacional del Agua (ANA).

**Tabla 34**

Límites máximos permisibles para efluentes de planta de tratamiento de agua residual (PTAR)

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisibles para vertidos a cuerpos de aguas</b>
<b>Aceites y grasas</b>	mg/L	20
<b>Coliformes termotolerantes</b>	NMP/100 mL	10,000
<b>Demanda bioquímica de Oxígeno</b>	mg/L	100
<b>Demanda química de oxígeno</b>	mg/l	200
<b>pH</b>	Unidad	6.5-8.5
<b>Solidos totales en suspensión</b>	mL/l	150
<b>Temperatura</b>	C°	<35

**Fuente.** Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de agua residual domesticas o municipales.

## Apéndice 5.

Panel fotográfico.

### Construcción, instalación y operación de los humedales artificiales sub superficial de flujo horizontal



**Figura 48.** Perforación del vinil de ½ pulg para uniformizar el flujo en el humedal artificial.



**Figura 49.** Corte del vinil en forma circular para sellar e impermeabilizar el humedal artificial.



**Figura 50.** Instalación de las tuberías y válvulas para purga de lodos en los humedales artificiales.



**Figura 51.** Nivelación transversal y longitudinal del humedal artificial tradicional y optimizado.



**Figura 52.** Sellado con silicona de alta resistencia las estructuras de vinil y tuberías de PVC.

### Periodo de evaluación y monitoreo



**Figura 53.** Muestreo de la calidad del agua del afluente y efluente de los humedales artificiales tradicional y optimizado.



**Figura 54.** Vista de los difusores de 15 cm para la aireación artificial en el humedal artificial tipo optimizado.



**Figura 55.** Reservorio de 1.1 metros cúbicos que tiene la función de almacenamiento y homogenización de las aguas residuales.



**Figura 56.** Punto de descarga del efluente de ambos humedales artificiales en el río Callqui- distrito de Ascensión – provincia de Huancavelica.



**Figura 57.** Compresor de aire de 38 L/s con cuatro salidas funciona durante todo el periodo de evaluación y toma de muestras.



**Figura 58.** Vista de la difusión de oxígeno mediante aireación artificial del compresor de aire.



**Figura 59.** Muestreo de la calidad de agua del efluente del humedal artificial optimizado para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno.



**Figura 60.** Vista de los componentes de los humedales artificiales de tipo optimizado y tradicional.

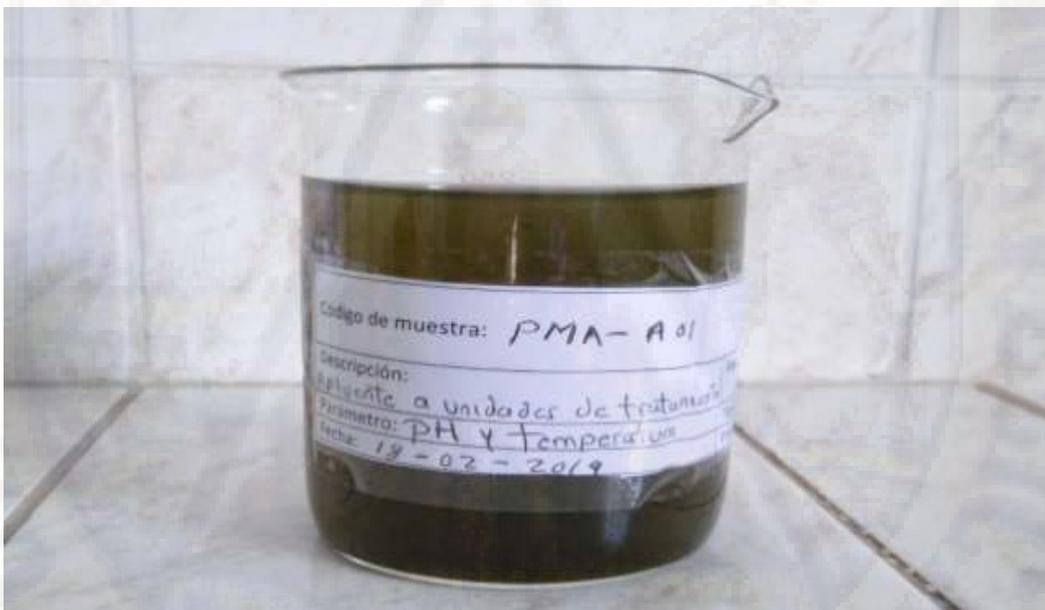
### **Análisis de pH y temperatura a partir del cronograma de muestreos**



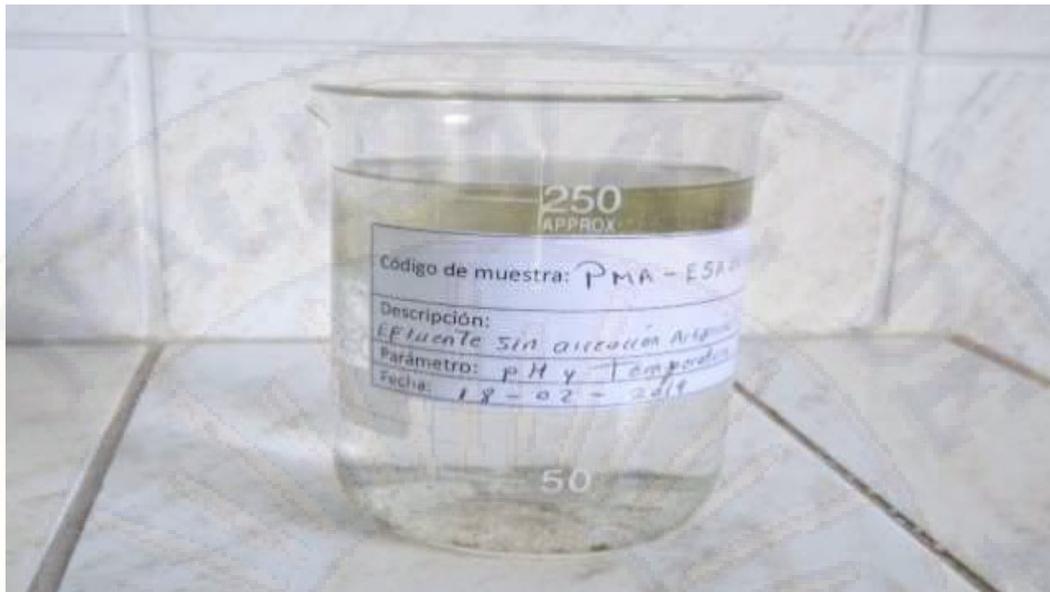
**Figura 61.** Multipárametro marca “HANNA” modelo moderno “EDGE” para análisis de pH y temperatura.



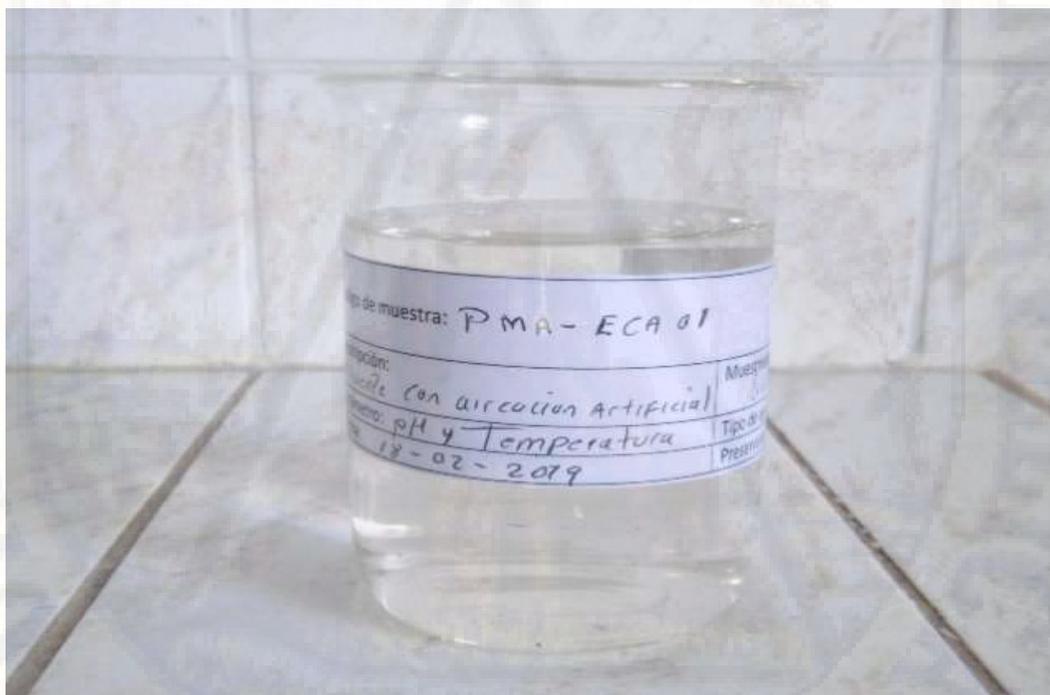
**Figura 62.** Análisis de pH y temperatura del afluente de agua residual que ingresa a las unidades de tratamiento.



**Figura 63.** Muestra del punto de monitoreo ambiental del afluente para análisis de pH y temperatura.



**Figura 64.** Muestra del punto de monitoreo ambiental del efluente sin aireación artificial para análisis de pH y temperatura.



**Figura 65.** Muestra del punto de monitoreo ambiental del efluente con aireación artificial para análisis de pH y temperatura.



**Figura 66.** Vista de las muestras del afluente y efluentes de los humedales artificiales tradicional y optimizado.

## Apéndice 6.

Tabla de valores críticos de “F” de Fisher.

### NORMALIDAD DE “F” DE FISHER PARA LA CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

**Tabla 35**

Valores críticos de la “F” de Fisher para  $\alpha=0.05$  para contrastación de hipótesis

Table 19. Critical Values For The *F* Distribution

This table contains critical values  $F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$  for the *F* distribution defined by  $P(F \geq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}) = \alpha$ .

$\alpha = 05$

$\nu_1$	$\nu_2$																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	40	60	120	$\infty$
1	161.45	190.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	245.95	248.01	250.10	251.14	252.20	253.25	254.25
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.43	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.70	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.86	5.80	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.62	4.56	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.51	3.44	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.85	2.77	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.41
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.53	2.46	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.40	2.33	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.31	2.23	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.20	2.12	2.04	1.99	1.95	1.90	1.85
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.18	2.10	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.15	2.07	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.13	2.05	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.11	2.03	1.94	1.89	1.84	1.79	1.74
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.63
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.87	1.78	1.69	1.63	1.58	1.51	1.44
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.75	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35	1.26
$\infty$	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.10	2.01	1.94	1.88	1.84	1.67	1.58	1.46	1.40	1.32	1.23	1.00

## Apéndice 7.

Base de datos del análisis de laboratorio de la variable dependiente.

### Análisis de laboratorio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

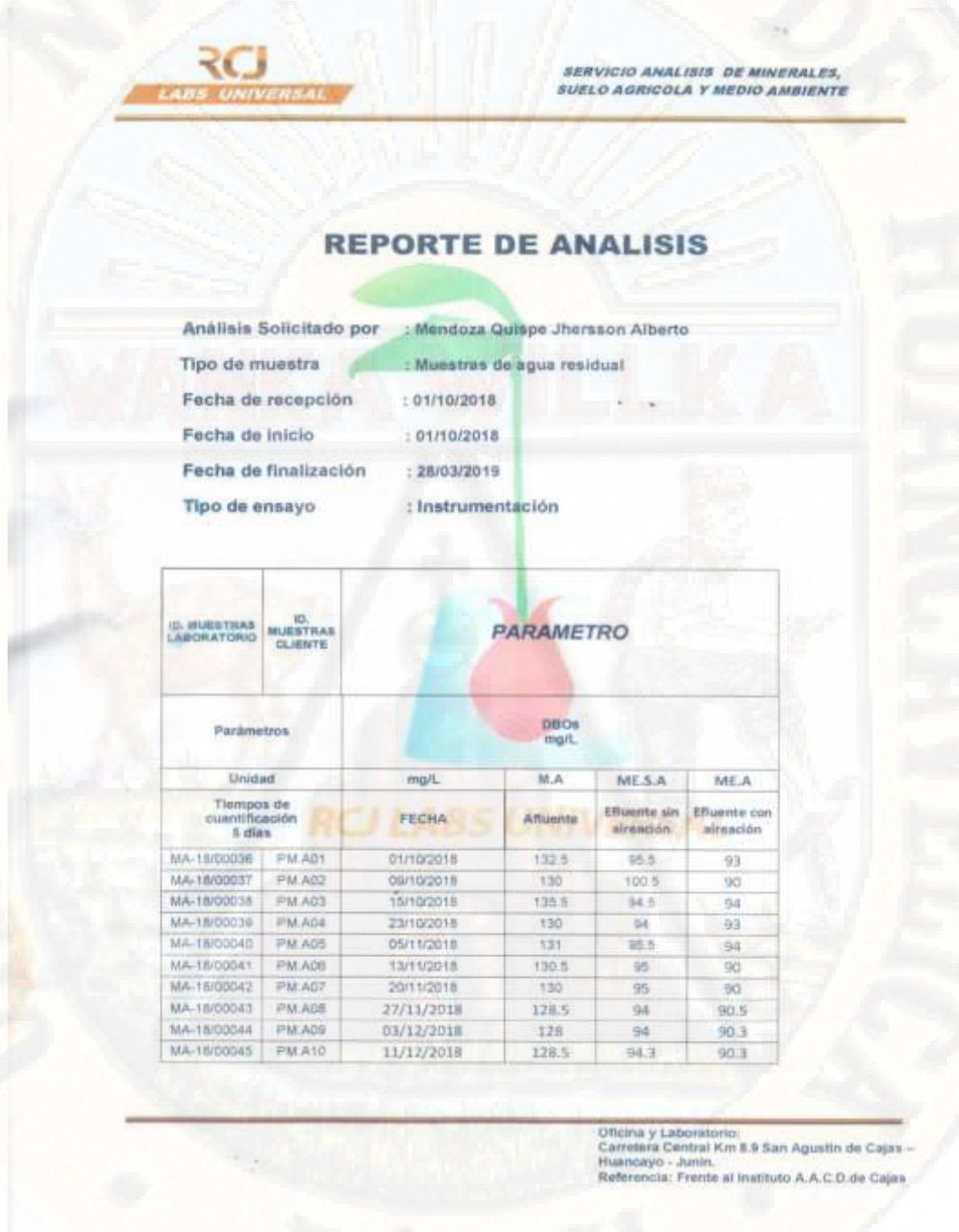


Figura 67. Análisis de laboratorio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

MA-18/00046	PM A11	18/12/2018	128	94.5	90.5
MA-18/00047	PM A12	26/12/2018	128	94	90
MA-18/00048	PM A13	04/01/2019	127	94.5	90
MA-18/00049	PM A14	11/01/2019	127.3	94	89
MA-18/00050	PM A15	18/01/2019	127	93.8	89
MA-18/00051	PM A16	25/01/2019	127.5	93.5	89
MA-18/00052	PM A17	01/02/2019	127	93.5	88.5
MA-18/00053	PM A18	12/02/2019	127	93	88
MA-18/00054	PM A19	19/02/2019	127	93	88.3
MA-18/00055	PM A20	26/02/2019	126.5	93.5	88.5
MA-18/00056	PM A21	01/03/2019	126.5	93	88
MA-18/00057	PM A22	08/03/2019	126	93	88
MA-18/00058	PM A23	15/03/2019	126	93.5	88.3
MA-18/00059	PM A24	25/03/2019	126.3	93	88

ID. MUESTRAS LABORATORIO	ID. MUESTRAS CLIENTE	PARAMETRO			
Parámetros		DQO mg/L			
Unidad	mg/L	MA	M.E.A	M.E.S. A	
Tiempos de cuantificación 1 día	FECHA	Afluente	Efluente sin aireación	Efluente con aireación	
MA-18/00036	PM A01	01/10/2018	130.5	95.5	90.5
MA-18/00037	PM A02	08/10/2018	120.5	95.5	90.5
MA-18/00038	PM A03	15/10/2018	121.5	95	90
MA-18/00039	PM A04	23/10/2018	125.1	90.5	90
MA-18/00040	PM A05	09/11/2018	120.3	95.3	95
MA-18/00041	PM A06	13/11/2018	123	95.5	90.5
MA-18/00042	PM A07	20/11/2018	123	90.5	90
MA-18/00043	PM A08	27/11/2018	120	95	90.3
MA-18/00044	PM A09	03/12/2018	118.5	90.3	88.5
MA-18/00045	PM A10	11/12/2018	118	90	88.5
MA-18/00046	PM A11	18/12/2018	118.5	90	88
MA-18/00047	PM A12	26/12/2018	118	87.5	88

Oficina y Laboratorio;  
Carretera Central Km 8.9 San Agustín de Cajas –  
Huancayo - Junín.  
Referencia: Frente al Instituto A.A.C.D. de Cajas

**Figura 68.** Análisis de laboratorio de la Demanda Química de Oxígeno.

MA-18/00048	PM A13	04/01/2019	117.5	87	88.4
MA-18/00049	PM A14	11/01/2019	118	87.3	88.5
MA-18/00050	PM A15	18/01/2019	117	87.5	88
MA-18/00051	PM A16	25/01/2019	117	87.5	88
MA-18/00052	PM A17	01/02/2019	115.5	87	86.5
MA-18/00053	PM A18	12/02/2019	115.3	86.5	86.3
MA-18/00054	PM A19	19/02/2019	115	86.7	86.3
MA-18/00055	PM A20	26/02/2019	115.3	86	86
MA-18/00056	PM A21	01/03/2019	115	86	86
MA-18/00057	PM A22	08/03/2019	110	86.5	84.5
MA-18/00058	PM A23	15/03/2019	115.5	85	84
MA-18/00059	PM A24	25/03/2019	110	85.2	84

**PARAMETROS DE ACUERDO A NORMAS:**

PARAMETROS	METODOS DE ENSAYO.
DBO <sub>5</sub>	ME-88 EXAMINATION OF THE WATER AND WASTEWATER
DQO	ME-05-2017 METODO COLORIMETRO

Huancayo 29 de marzo del 2019

**RCJ LABS UNIVERSAL**

*[Firma]*  
MSc. Ing. Chavarria Márquez Esmita  
CIP N°191752  
Responsable de Laboratorio M.A.  
RCJ LABS UNIVERSAL

Oficina y Laboratorio:  
Carretera Central Km 8.9 San Agustín de Cajas –  
Huancayo - Junín.  
Referencia: Frente al Instituto A.A.C.D. de Cajas

**Figura 69.** Métodos de ensayo para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.