

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

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



TESIS

“USO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL VERTICAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCABELICA”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tecnología ambiental y/o sanitaria

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero ambiental y sanitario

PRESENTADO POR:

Bach. Bizarra Aramburu Cristopher
Bach. Portillo Huanhuayo, Alfredo Luis

HUANCABELICA – PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los diez días (10) del mes de setiembre del año 2021, siendo las diecisiete horas (17:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana (Presidente), Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo (Secretario), Mg. Cesar Castañeda Campos (Vocal), designados con Resolución de Decano N° 134-2019-FCI-UNH, de fecha 31 de julio del 2019, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: **"USO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL VERTICAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCVELICA"**, presentado por los Bachilleres **Alfredo Luis PORTILLO HUANHUAYO** y **Cristopher BIZARRA ARAMBURU**, con presencia del Dr. Elmer René Chávez Araujo, Asesor de la presente tesis a fin de optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**. Finalizada la sustentación virtual a horas 17:48 pm; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Alfredo Luis PORTILLO HUANHUAYO

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

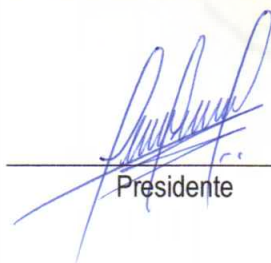
DESAPROBADO ☐

Cristopher BIZARRA ARAMBURU

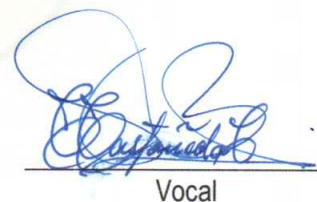
APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

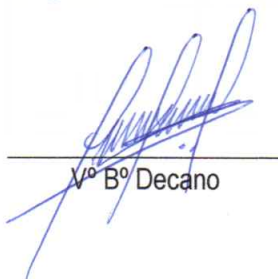
DESAPROBADO ☐

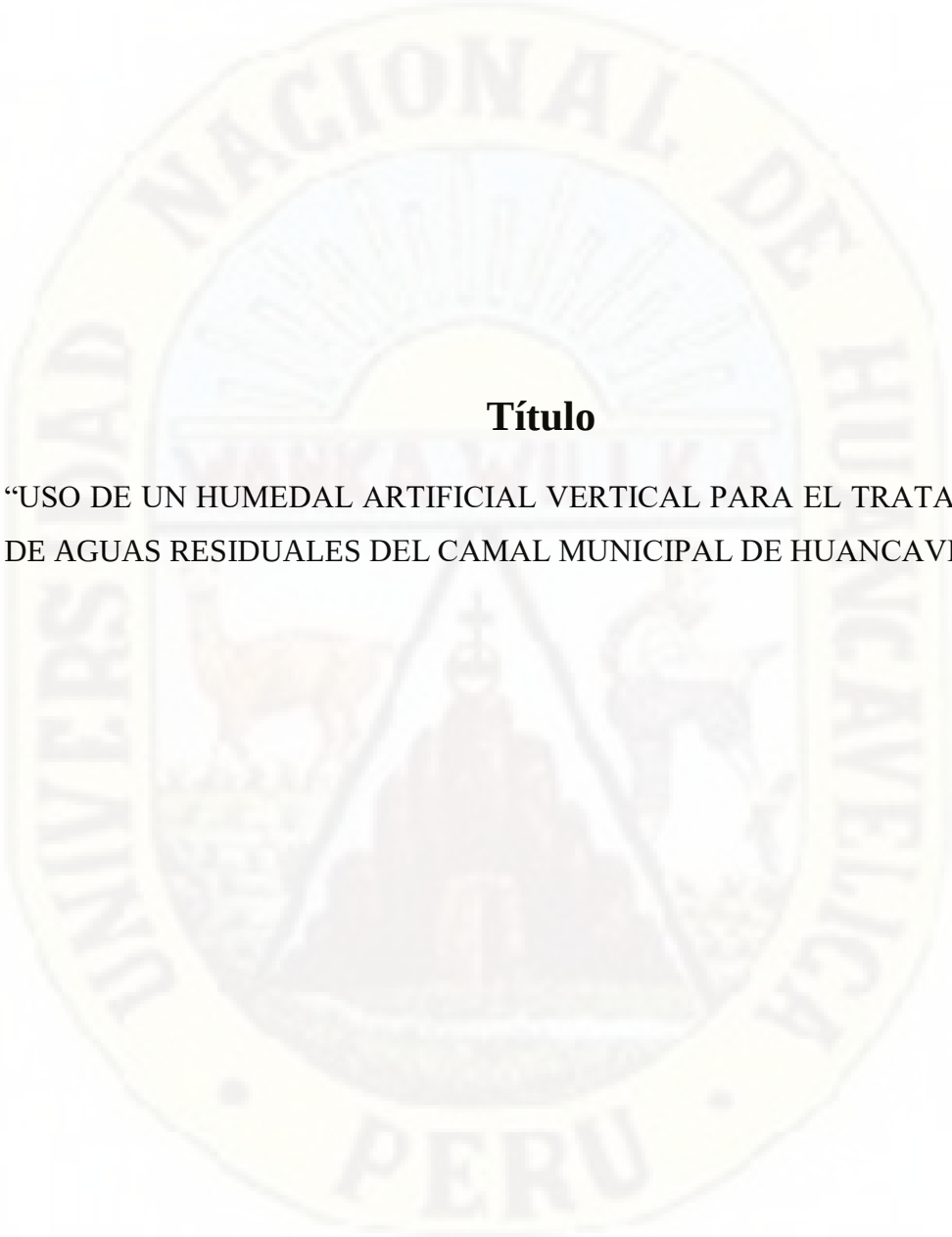
En señal de conformidad, firmamos a continuación:


Presidente


Secretario


Vocal


Vº Bº Decano



Título

**“USO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL VERTICAL PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCVELICA”**

Autor

Bach. Bizarra Aramburu Cristopher
Bach. Portillo Huanhuayo, Alfredo Luis

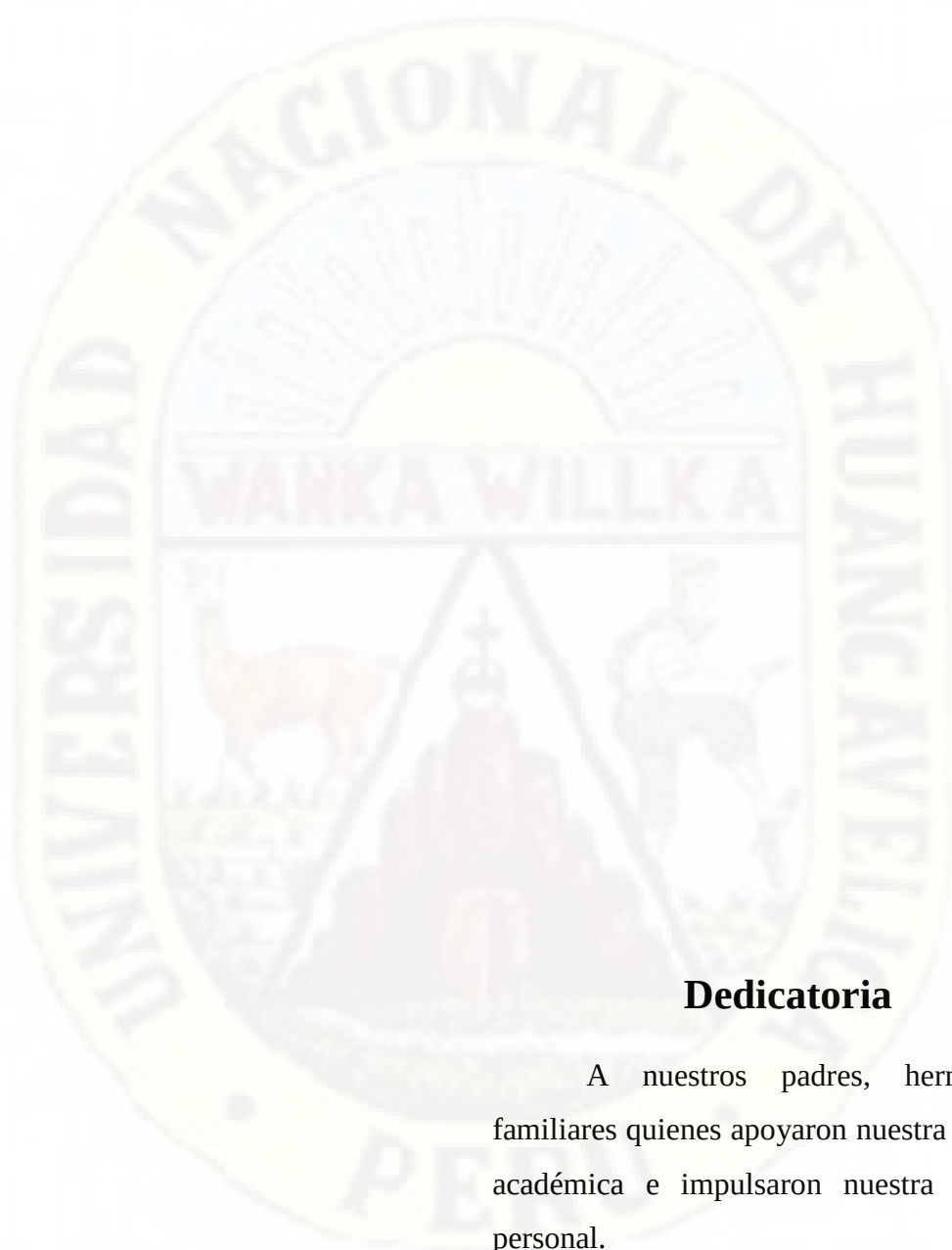


Asesores

Dr. Elmer Chávez Araujo

Mg. Wilfredo Sáez Huamán





Dedicatoria

A nuestros padres, hermanos, y familiares quienes apoyaron nuestra formación académica e impulsaron nuestra formación personal.

Agradecimiento

En primer lugar, a Dios, quien nos permite tener un día más de vida en donde aún podamos mejorar como personas y así cumplir las enseñanzas aprendidas.

A nuestros familiares, quienes nos apoyaron desde el primer momento de nuestros procesos de educación, donde nos brindaron las oportunidades necesarias a fin de lograr nuestros objetivos planteados.

A la Universidad Nacional de Huancavelica, de nuestra mayor consideración a la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ambiental y Sanitaria en donde encontramos el espacio indicado para nuestro desarrollo cognitivo y superación académica, de la misma manera a los docentes quienes nos proporcionaron mayores conocimientos a fin de poder cumplir con las metas y los desarrollos esperados, así mismo a nuestros compañeros de clase quienes fueron un punto importante en mi vida dado que compartimos experiencias, siempre lo tendré presente.

A nuestros asesores de la investigación quien nos guio para el desarrollo y la culminación de este proyecto de investigación.

Índice

Título	ii
Autor	iii
Asesor	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción	xvi
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. Descripción del problema	17
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación	19
1.4.1. Justificación teórica.....	19
1.4.2. Justificación metodológica	20
1.4.3. Justificación práctica	20
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes.....	21

2.1.1.	A nivel internacional	21
2.1.2.	A nivel nacional.....	28
2.1.3.	A nivel local	30
2.2.	Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	31
2.2.1.	Humedales artificiales	31
2.3.	Bases conceptuales.....	61
2.4.	Definición de términos.....	61
2.5.	Hipótesis	64
2.5.1.	Hipótesis general	64
2.6.	Variables	64
2.7.	Operacionalización de variables	65
CAPÍTULO III.....		67
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		67
3.1.	Ámbito temporal y espacial	67
3.1.1.	Ámbito temporal.....	67
3.1.2.	Ámbito espacial	67
3.2.	Tipo de investigación.....	67
3.3.	Nivel de investigación.....	68
3.4.	Método de Investigación.....	68
3.4.1.	Método general.....	68
3.4.2.	Método específico	68
3.5.	Diseño de investigación	69
3.6.	Población, muestra y muestreo	69
3.6.1.	Población.....	69
3.6.2.	Muestra.....	70
3.6.3.	Muestreo.....	70
3.7.	Instrumentos y técnicas para recolección de datos	75

3.7.1. Instrumentos	75
3.7.2. Técnicas.....	75
3.8. Técnicas y procesamiento de análisis de datos	75
CAPÍTULO IV	76
RESULTADOS	76
4.1. Análisis de información	76
4.1.1. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.....	76
4.1.2. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros físicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica	79
4.1.3. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros químicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.....	82
4.1.4. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros microbiológicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.....	95
4.2. Prueba de hipótesis	98
4.2.1. Prueba de hipótesis para la temperatura	98
4.2.2. Prueba de hipótesis para el pH	101
4.2.3. Prueba de hipótesis para la demanda química de oxígeno	103
4.2.4. Prueba de hipótesis para los sólidos totales en suspensión	106
4.2.5. Prueba de hipótesis para la demanda bioquímica de oxígeno	109
4.2.6. Prueba de hipótesis para los coliformes termotolerantes.....	112
4.3. Discusión de resultados.....	115
4.3.1. Discusión de resultados del objetivo general	115
4.3.2. Discusión de resultados del objetivo específico 1	116
4.3.3. Discusión de resultados del objetivo específico 2	117

4.3.4. Discusión de resultados del objetivo específico 3.....	118
CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES.....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
Apéndice	125
Anexo 2.....	128
Propuesta de instrumento para el parámetro DBO ₅	128
Propuesta de instrumento para el parámetro DBO 5.....	129
Propuesta de instrumento para el parámetro coliformes fecales	130

Índice De Tablas

Tabla 1. Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.....	40
Tabla 2. Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.	41
Tabla 3 Porcentaje de Remoción para el tratamiento de aguas residuales mediante humedales de flujo horizontal vs humedales de flujo vertical.....	41
Tabla 4. Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales ...	43
Tabla 5. Características de las especies vegetales más utilizadas en humedales artificiales.	46
Tabla 6. Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrófitas ..	49
Tabla 7. Procesos de remoción de contaminantes en HHAA	51
Tabla 8 Características del sustrato para diseño de humedales verticales	54
Tabla 9 Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales verticales	56
Tabla 10 Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo vertical.	56
Tabla 11. Operacionalización de variables	65
Tabla 12 Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras.....	73
Tabla 13. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después de la aplicación del humedal artificial	77
Tabla 14. Resultados de la temperatura de entrada y salida del humedal artificial	79
Tabla 15. Resultados del pH de la entrada y salida del humedal artificial	83
Tabla 16. Resultados de la DBO de la entrada y salida del humedal artificial	85
Tabla 17. Resultados de los sólidos totales en suspensión de entrada y salida del humedal artificial.....	88
Tabla 18. Resultados de la DBO5 de la entrada y salida del humedal artificial	92
Tabla 19. Resultados de los coliformes termotolerantes de la entrada y salida del humedal artificial.....	95
Tabla 20. Resultados de la prueba de la temperatura del humedal artificial.....	100
Tabla 21. Resultados de la prueba del pH del humedal artificial.....	103
Tabla 22. Resultados de la prueba de la DQO del humedal artificial	105
Tabla 23. Resultados de la prueba de los SST del humedal artificial	108
Tabla 24. Resultados de la prueba de los DBO5 del humedal artificial.....	111
Tabla 25. Resultados de la prueba de los coliformes termotolerantes del humedal artificial	114

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales y sus partes	72
Figura 2. Comparación de resultados de la temperatura en la entrada y salida del humedal artificial.....	82
Figura 3. Resultados del pH en la entrada y salida del humedal artificial	84
Figura 4. Comparación de resultados del pH en la entrada y salida del humedal artificial ...	85
Figura 5. Resultados de la DQO en la entrada y salida del humedal artificial.....	87
Figura 6. Comparación de resultados de la DBO en la entrada y salida del humedal artificial	88
Figura 7. Resultados de los sólidos totales en suspensión en la entrada y salida del humedal artificial.....	90
Figura 8. Comparación de resultados de los SST en la entrada y salida del humedal artificial	91
Figura 9. Resultados de la DBO5 en la entrada y salida del humedal artificial.....	93
Figura 10. Comparación de resultados de la DBO5 en la entrada y salida del humedal artificial	94
Figura 11. Resultados de los coliformes termotolerantes en la entrada y salida del humedal artificial	97
Figura 12. Comparación de resultados de los coliformes termotolerantes en la entrada y salida del humedal artificial	98
Figura 13. Resultados de la prueba de normalidad para la temperatura de entrada del humedal	99
Figura 14. Resultados de la prueba de normalidad para la temperatura de salida del humedal	100
Figura 15. Resultados de la prueba de normalidad para el pH de entrada del humedal	102
Figura 16. Resultados de la prueba de normalidad para el pH de salida del humedal.....	102
Figura 17. Resultados de la prueba de normalidad para DQO de entrada del humedal.....	104
Figura 18. Resultados de la prueba de normalidad para DQO de salida del humedal	105
Figura 19. Resultados de la prueba de normalidad para SST de entrada del humedal	107
Figura 20. Resultados de la prueba de normalidad para SST de salida del humedal.....	108
Figura 21. Resultados de la prueba de normalidad para DBO5 de entrada del humedal.....	110
Figura 22. Resultados de la prueba de normalidad para DBO5 de salida del humedal	111
Figura 23. Resultados de la prueba de normalidad para los coliformes termotolerantes de entrada del humedal	113

Figura 24. Resultados de la prueba de normalidad para los coliformes termotolerantes de salida del humedal..... 114



Resumen

La investigación titulada “Uso de un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, donde el objetivo general fue “Evaluar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”. La metodología empleada del tipo de investigación aplicada, de nivel explicativo, método general científico, de diseño pre experimental, se tuvo la población del efluente del Camal Municipal de Huancavelica de 19500 L/día, la muestra analizada fue en la entrada y salida del humedal y el muestreo realizado de 4 veces por semana. Los principales resultados fueron: Demanda Química de Oxígeno (DQO) obtuvo un porcentaje de remoción de 85.2%, también los Solidos Totales en suspensión (SST) obtuvieron un porcentaje de remoción del 84.7%, en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) tuvo un porcentaje de remoción de 93.1%, los coliformes termotolerantes obtuvieron un porcentaje de 35.6%. Las conclusiones fueron que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el efluente redujeron moderadamente demostrando que el humedal artificial vertical es óptimo en el tratamiento de aguas residuales.

Palabras claves: humedal artificial vertical, parámetros fisicoquímicos, parámetros microbiológicos, aguas residuales.

Abstract

The research entitled "Use of an artificial vertical wetland for the treatment of wastewater from the Municipal Camal de Huancavelica", where the general objective was "To evaluate the efficiency of the vertical artificial wetland for the treatment of wastewater from the Municipal Camal de Huancavelica". The methodology used was of the applied research type, the level was explanatory, the general method was scientific, the design was pre-experimental, the effluent population of the Camal Municipal de Huancavelica was 19,500 L / day, the sample analyzed was at the entrance and exit of the wetland and the sampling carried out was 4 times a week. The main results were: Chemical Oxygen Demand (COD) obtained a removal percentage of 85.2%, also the Total Solids in suspension (SST) obtained a removal percentage of 84.7%, in the Biochemical Oxygen Demand (BOD5) had a removal percentage of 93.1%, thermotolerant coliforms obtained a percentage of 35.6%. The conclusions were that the physicochemical and microbiological parameters evaluated in the effluent were moderately reduced, demonstrating that the artificial vertical wetland is optimal in wastewater treatment.

Keywords: vertical artificial wetland, physicochemical parameters, microbiological parameters, wastewater.

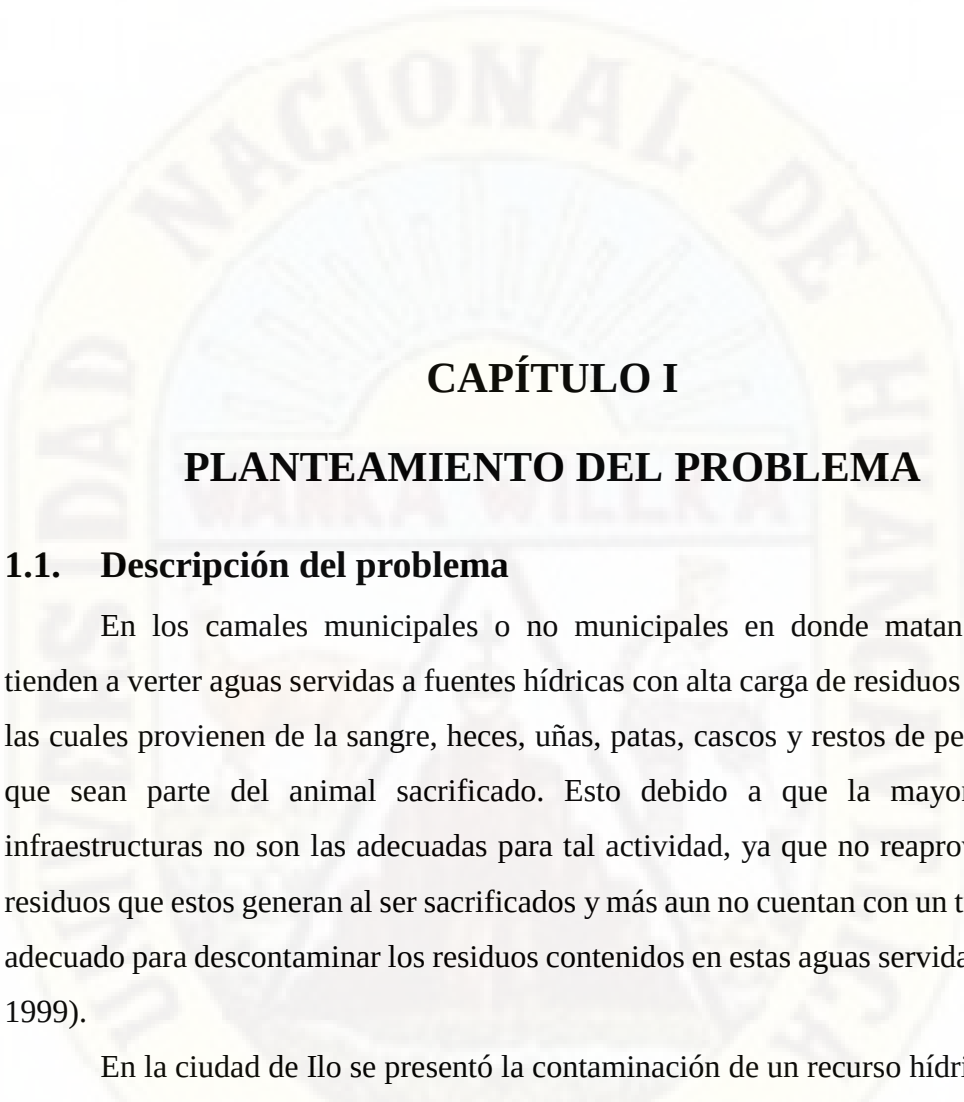
Introducción

La investigación “Uso de un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, tuvo como problema general ¿Cuál es la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica?, el objetivo general fue “Evaluar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”

El problema surge en el Camal Municipal de la ciudad de Huancavelica el cual está situado en el centro poblado de Chuñuranra a una altitud de 3715 msnm, cuenta con un sistema de tratamiento de agua residuales el cual está conformada por un conjunto de procesos las cuales vienen a ser: cámara de rejillas, desarenador, trampa de aceites y grasas, tanque séptico, sedimentadores, lecho de secado y un humedal artificial. Dicho sistema presenta deficiencias en cuanto al diseño de las diferentes operaciones y procesos unitarios que se lleva a cabo en dicha planta de tratamiento como; dimensionamiento inadecuado en donde no se cumplen las normas de diseño de la cámara de rejillas, desarenador, tanque séptico, sedimentador, lecho de secado y el humedal artificial.

Este trabajo se desarrolló porque existe la necesidad de evitar el deterioro del recurso hídrico donde se descarga este efluente el cual viene a ser el río Ichu en la comunidad de Chuñuranra, por medio del cual se pone en conocimiento a los comuneros de dicho centro poblado respecto al nivel de significancia que tiene el humedal artificial vertical y el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de la Ciudad de Huancavelica.

Finalmente se obtuvo que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) obtuvo un porcentaje de remoción de 85.2 %, también los Sólidos Totales en suspensión (SST) obtuvieron un porcentaje de remoción del 84.7 %, en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) tuvo un porcentaje de remoción de 93.1 %, los Coliformes Termotolerantes obtuvieron un porcentaje de 35.6 %. Las conclusiones fueron que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el efluente redujeron moderadamente demostrando que el humedal artificial vertical es óptimo en el tratamiento de aguas residuales.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En los camales municipales o no municipales en donde matan animales, tienden a verter aguas servidas a fuentes hídricas con alta carga de residuos orgánicos, las cuales provienen de la sangre, heces, uñas, patas, cascos y restos de pelos u otros que sean parte del animal sacrificado. Esto debido a que la mayoría de las infraestructuras no son las adecuadas para tal actividad, ya que no reaprovechan los residuos que estos generan al ser sacrificados y más aun no cuentan con un tratamiento adecuado para descontaminar los residuos contenidos en estas aguas servidas. (Apeña, 1999).

En la ciudad de Ilo se presentó la contaminación de un recurso hídrico a causa de la actividad que desarrolla el camal municipal, en donde las entidades competentes quienes tienen la función de proteger el medio ambiental hicieron denuncias referentes al colapso y vertimiento de aguas servidas en un recurso hídrico a causa del camal municipal. En donde el staff de profesionales de diferentes instituciones quienes contaban con los permisos correspondientes intentó ingresar al lugar de los hechos con la finalidad de detectar el lugar de donde provenían dichas aguas residuales para tomar las medidas correspondientes (Correo, 2014).

El camal Municipal de la ciudad de Huancavelica, el cual está situado en el centro poblado de chuñuranra viene a ser un foco infeccioso el cual perjudica a un

sin fin de recursos, entre ellas la más perjudicada viene a ser el recurso hídrico “río Ichu”, esto debido a que no existen recipientes para el almacenamiento de excrementos de los animales, las cuales generan un riesgo para la salud pública de la población quienes son afectados de manera directa o indirecta. En donde para tratar de solucionar dicho problema de salud ambiental la institución de Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), presentó un documento para notificar dicho foco de contaminación a la entidad quien en dicho caso fue la Municipalidad Provincial de Huancavelica, con la finalidad de levantar las observaciones y mediante un reiterativo llegar a sancionar dicha acción ante la fiscalía de prevención del delito y ambiente. Hasta el año 2014, a pesar de las acciones tomadas el camal municipal manejada por la Municipalidad Provincial de Huancavelica no ha mejorado (Correo , 2014).

El camal municipal de la ciudad de Huancavelica, el cual está situada en el centro poblado de Chuñuranra a una altitud de 3715 msnm, cuenta con un sistema de tratamiento de agua residuales, el cual está conformada por un conjunto de procesos las cuales vienen a ser; cámara de rejillas, desarenador, trampa de aceites y grasas, tanque séptico, Sedimentadores, lecho de secado y un humedal artificial, dicho sistema presenta deficiencias en cuanto al diseño de las diferentes operaciones y procesos unitarios que se lleva a cabo en dicha planta de tratamiento como; dimensionamiento inadecuado en donde no se cumplen las normas de diseño de la cámara de rejillas, desarenador, tanque séptico, sedimentador, lecho de secado y el humedal artificial.

Debido al sin fin de problemas que generan los camales municipales en los diferentes lugares de nuestro país, se ha llegado a plantear una alternativa de solución al problema que genera el camal municipal en la ciudad de Huancavelica, ya que dicho camal cuenta con deficiencias en cuanto a la eficiencia de remoción de parámetros contenidos en dicho efluente para recursos hídricos o cuerpos de agua de categoría 3 que viene a ser el río Ichu. Por lo que se desea implementar un Humedal Artificial de flujo vertical teniendo en consideración manuales de diseño, para remover dichos parámetros con una eficiencia de remoción óptima.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros físicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.
- Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros químicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.
- Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros microbiológicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

Este trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de aportar conocimientos respecto a la influencia del humedal artificial en el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, cuyos resultados podrán demostrar el nivel de significancia que existe entre la variable independiente que es el humedal artificial vertical y la variable dependiente que es el tratamiento de agua residual del Camal

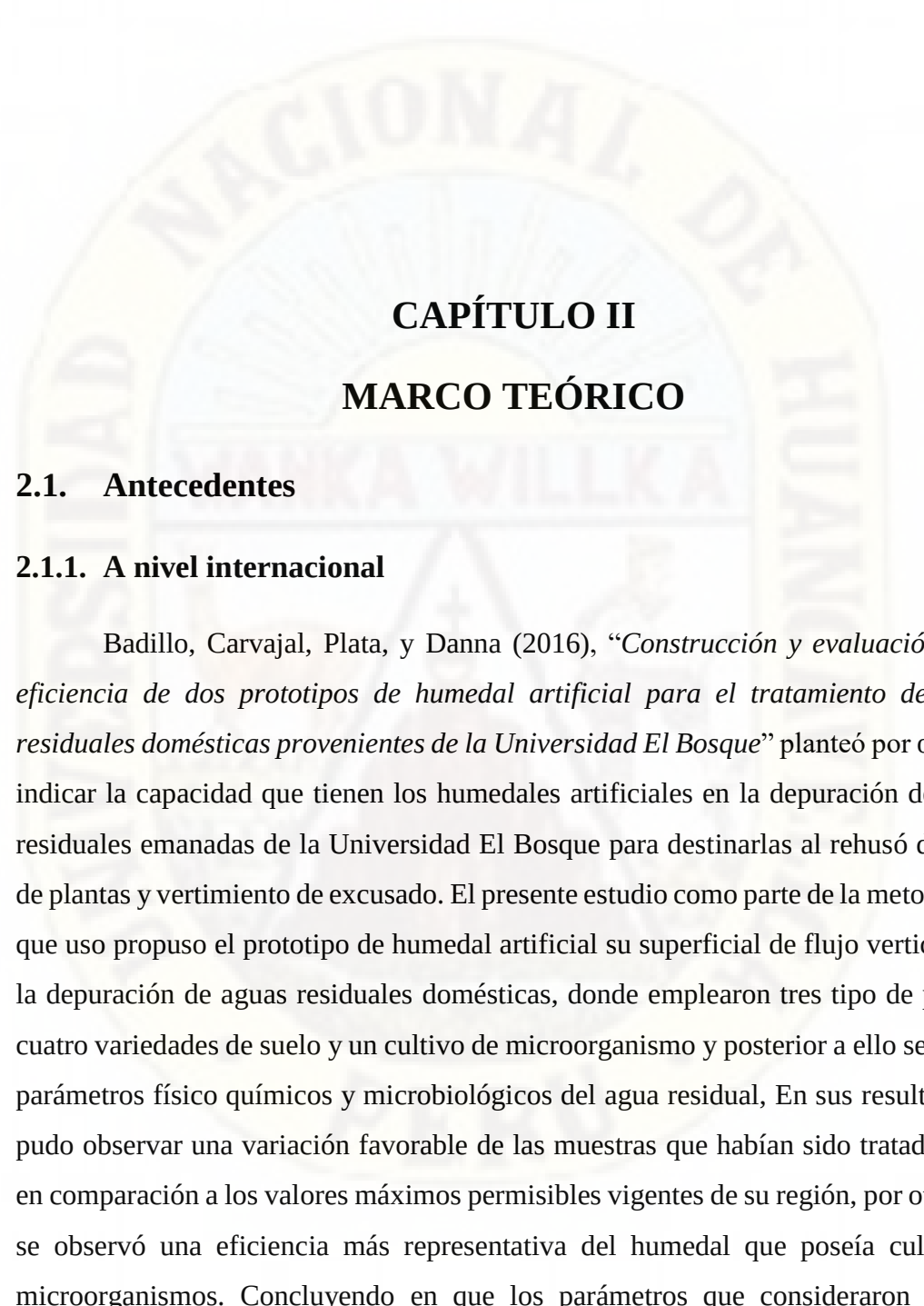
Municipal de la ciudad de Huancavelica. En la actualidad no se toman medidas respecto al vertimiento de agua residual en el Camal de la Ciudad de Huancavelica, por lo que se plantea estos proyectos de investigación titulada “Uso de un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”

1.4.2. Justificación metodológica

La determinación de la influencia del humedal artificial vertical en el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, realizará mediante el enfoque cuantitativo, de nivel explicativo, método científico y el diseño pre experimental, en donde la población de estudio fue el efluente del beneficio de animales del Camal Municipal el cual estuvo formado por 19500 L/día y una muestra de 29 l/s. y la recolección de datos se llevará a cabo mediante el muestreo y análisis dentro del laboratorio según protocolo o procedimientos establecidos según cada parámetro a ser analizados en este estudio.

1.4.3. Justificación práctica

Esta investigación se realizó ya que existe la necesidad de evitar el deterioro del recurso hídrico a donde se descarga este efluente el cual viene a ser el río Ichu en la comunidad de Chuñuranra, por medio del cual se pondrá en conocimiento a los comuneros de dicho centro poblado respecto al nivel de significancia que tiene el humedal artificial vertical y el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de la Ciudad de Huancavelica.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Badillo, Carvajal, Plata, y Danna (2016), *“Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque”* planteó por objetivo indicar la capacidad que tienen los humedales artificiales en la depuración de aguas residuales emanadas de la Universidad El Bosque para destinarlas al rehusó de riego de plantas y vertimiento de excusado. El presente estudio como parte de la metodología que uso propuso el prototipo de humedal artificial su superficial de flujo vertical para la depuración de aguas residuales domésticas, donde emplearon tres tipo de plantas, cuatro variedades de suelo y un cultivo de microorganismo y posterior a ello se evaluó parámetros físico químicos y microbiológicos del agua residual, En sus resultados se pudo observar una variación favorable de las muestras que habían sido tratadas ellas en comparación a los valores máximos permisibles vigentes de su región, por otro lado se observó una eficiencia más representativa del humedal que poseía cultivo de microorganismos. Concluyendo en que los parámetros que consideraron para la evaluación después de pasar por el tratamiento respectivo se encontraban dentro de los valores máximos permisibles según la normativa en ese entonces, además que del humedal que contenía cultivo de microorganismos poseía las propiedades adecuadas

para aumentar la depuración del agua residual y afianzaba la reutilización según la normativa.

Según Hernández (2016) *“Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México”*, ha planteado por objetivo realizar una revisión bibliográfica para conocer la generación de flores en los humedales construidos y ser usados en la depuración de aguas residuales, como metodología ha planteado realizar la revisión de información bajo dos aspectos 1) a través del uso de hidrófilas y 2) mediante la utilización de plantas ornamentales terrestres de interés comercial, la presente investigación concluyó en que la forma de hacer el uso de plantas terrestres ornamentales de interés comercial en humedales usados para la construcción en el tratamiento de aguas residuales viene a ser una alternativa loable en México, pues de esta forma se garantiza el mantenimiento del sistema mediante la participación activa de la comunidad pues ellos reciben beneficios al comercializar la producción de flores.

(Moncada, 2016) *“Análisis del desempeño y operación de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de agua residual doméstica en países tropicales”*, formuló como objetivo Analizar la operación y eficiencia de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical para la depuración de agua residual doméstica en los países tropicales. Como el enfoque metodológico de la presente investigación se tuvo 4 fases repartidas estratégicamente para la recopilación de información bibliográfica necesaria que alimente la esencia de dicha investigación, a partir del desarrollo de la investigación citada se concluye en que los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical vienen a ser tecnologías factibles en la depuración de las aguas servidas, especialmente cuando estas vienen a ser de tipo doméstico.

Bedoya, Ardilla, y Reyes (2014) *“Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia”*, tuvo como objetivo implementar un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratar las aguas residuales producidas por la Institución Universitaria de Antioquia (IUCMA). En la parte metodológica el investigador realizó una comparación donde evaluó la capacidad

de depuración de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como son: DBO, DQO, SST, Nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo, coliformes y metales como lo es el níquel y el zinc en dos diferentes humedales pues cada uno posee una macrófita diferente. La citada investigación recopiló los siguientes resultados; con ambas macrófitas se obtuvo efluentes con valores mínimos en todos los parámetros que se analizaron ello en relación a la caracterización inicial que se realizó al efluente original de la mencionada institución. Concluye en que la especie macrófita *T. latifolia* mostró una mayor eficiencia respecto a la especie *C. papyrus* ello en relación a la calidad de agua del efluente que se logró después de haber pasado por el respectivo tratamiento.

Mena (2014) *“Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el colegio comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia”*, planteó por objetivo indicar la capacidad de depuración de las aguas residuales domésticas, para lo cual implemento humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el colegio comfamiliar siglo XXI, sede Campestre Corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia. A tal efecto el investigador como parte metodológica en el diseño añadió una trampa de grasas, un tanque séptico, un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), seguidamente del humedal artificial (HAFSSH), la evaluación del sistema implementado se realizó en función a parámetros que ayudan a determinar la calidad del agua como DBO, DQO, Sólidos totales suspendidos, Nitrógeno total, fósforo total, grasas y aceites, coliformes totales y Ecoli; y para determinar la eficiencia de remoción se realizaron monitoreos al ingreso y salida del sistema, luego se realizaron comparaciones de eficiencia lograda del humedal artificial en relación al tanque séptico y el FAFA y en contraste a las capacidades determinadas mediante modelos matemáticos aplicados en el diseño. Los resultados obtenidos en cuanto a la remoción de DBO fueron en un 93.89%, mientras que en el DQO se logró remover en un 84.98%, por otro lado, la remoción de SST vino a ser en un 40 %. Finalmente se concluye en que la capacidad de remoción de ciertos contaminantes mediante la implementación de este tipo de sistemas de tratamiento asegura un óptimo y eficaz aprovechamiento del agua, por otro lado, debe destacarse

que el fin y uso del recurso hídrico tratado es para los cultivos y riegos existentes en el colegio.

Valles y Alarcón (2014) “*Retención de arsénico en humedales construidos con Eleocharis macrostachya y Schoenoplectus americanus*”, tuvo por objetivo conocer el comportamiento de *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus* en la construcción de humedales artificiales de flujo subsuperficial como también el análisis de balance de masas en cuanto a la retención de arsénico en el sistema de tratamiento propuesto. La metodología de la investigación se realizó en función a dos experimentos a escala piloto de humedales, uno de los humedales poseía el *E. macrostachya* (HA), en el segundo humedal se plantó el *S. americanus* (HB) y finalmente el tercer humedal sin plantar (HC). El muestreo de agua fue tomada a la entrada y salida de los humedales implementados esto a lo largo de 343 días de prueba, finalizando con el experimento planteado las plantas y el suelo de cada humedal se fragmentaron en tres segmentos iguales (entrada, medio y salida) con el fin de analizar y determinar el contenido de arsénico removido y/o retenido. Como resultado se registró que a partir de los humedales instalados presenta una eficiencia en la retención de arsénico de 76 % HA, 69 % HB, esto viene a ser mucho más elevado al no plantado (32 % HC, sin plantas), por otro lado el balance de masa del arsénico se identificó que la mayor cantidad se acumuló en el medio o sustrato (73 % en HA y 66 % en HB), se estima que un 1 % aproximadamente se absorbió por las raíces de las plantas, sin embargo el 24 y 31 % del arsénico total salió se vertió por el fluente, finalizando con el experimento se indica que el humedal plantado con *E. macrostachya* retiene un 7% más de arsénico respecto al plantado con *S. americanus*. Finalmente, la investigación concluye en que los dos humedales instalados tuvieron una capacidad doble de retención de arsénico respecto al humedal sin planta, y de esta forma se afirma que las plantas tienen una gran importancia en la operación de humedales construidos.

(Morales, Lopez, Vera, & Vidal, 2013) “*Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas*”, los investigadores plantearon como objetivo realizar una recopilación bibliográfica que evidencia la accesibilidad de usar humedales para la remoción de

materia orgánica y nutrientes que vienen contenida en las aguas servidas, a partir de ello y de la información recopilada llegaron a la conclusión de que inicialmente las plantas ornamentales han demostrado la capacidad en cuanto a remoción de materia orgánica medida en DBO5 ello en un 70 y 93 %, sin embargo en cuanto a nutrientes se trate la remoción de nitrógeno difiere entre un 45 y 73 % mientras que en el caso del fosforo se encuentra dentro de 40 y 80 %; de esta forma el autor concluyen en que los humedales construidos con plantas ornamentales pueden ejecutar la depuración respectiva de las aguas servidas en condición similar a las ya conocidas por plantas comunes; por otro lado una ventaja de las plantas ornamentales es que brindan un valor estético al entorno; acompañado de una posibilidad de beneficio económico para toda la población que es usuaria del sistema de tratamiento.

(Fuenzalida, 2012), *“Operación de un sistema piloto de humedales construidos para la depuración de aguas servidas: Consideraciones de la actividad biológica en la eliminación de materia orgánica y nutrientes”*, tuvo por objetivo indicar la evolución d la actividad microbiológica mediante el soporte granular de un Humedal Sub Superficial (HSS), y poder observar si ello influyo en la remoción de materia orgánica y nitrógeno después del respectivo tratamiento. Para el desarrollo metodológico de la presente investigación se instaló una planta piloto de HSS, la cual poseía 4 celdas en paralelo de 4.5 m² de área y como medio de sostén a la grava, en dos celdas se ha implementado con *Phragmites australis* y en las otras se puso *Schoenoplectus californicus* siendo evaluadas por el periodo comprendido por 420 días. Como resultado se identificó que en las cuatro celdas existe un incremento en la capacidad para la remoción de materia orgánica (DQO) de 30 a 70 % y en los sólidos totales suspendidos un porcentaje de 70 a 95 %. Además del balance de masa realizado se determinó que del nitrógeno se removió un 35 % y del fosforo un 10% los cuales fueron removidos por las celdas a inicios de los 420 días de operación. La presente investigación concluye en que las celdas de Humedales Sub superficiales implementadas con *Phragmites australis* y las celdas que poseen *Schoenoplectus californicus* presentan evidencias similares en cuanto a la remoción ello después de 420 días de operación, respecto a la remoción de materia orgánica, sólidos y nutrientes.

Montoya, Ceballos, Casas, y Morato (2010) “*Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas*”, formuló como objetivo de su trabajo investigar la eliminación de materia orgánica en agua residual sintética, respecto a los parámetros DQO, DBO5 y parámetros insitu pH, oxígeno, temperatura cada 15 días durante 3 meses, todo ello evaluado en seis humedales prototipos instalados de flujo subsuperficial horizontal en los cuales se incluyó tres tipos distintos de micrófitos: *Canna limbata*, *Heliconia psittacorum* y *Phragmites* sp; como resultados se consiguió la remoción de DQO en un 97.31% y 95.94 % para la macrófita *Canna limbata*. Para *Heliconia psittacorum* se logró un 94.49 % y 93.50 % y para *Phragmites* sp se obtuvo un 97.39 % y 97.13%. Por otro lado, en DBO5 se consiguió la remoción con *Canna limbata* en un 100% y 99.36%, en la macrófita *Heliconia psittacorum* en un 99.09 % y 97.49 % y por ultimo un 100 % y 99.45% para *Phragmites* sp. Finalmente el trabajo concluyó en que se han evidenciado variaciones muy importantes en la remoción de DBO5, no se ha identificado diferencias estadísticamente significativas entre las diversas plantas, a la vez este estudio ha corroborado que el uso de los humedales viene a ser una opción para disminuir la contaminación por materia orgánica.

Romero, Colin, Sánchez, y Ortiz, (2009), “*Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales Evaluación de la remoción de la carga orgánica*”, planteó por objetivo evaluar el porcentaje de eliminación de la carga orgánica de aguas residuales en un sistema implementado de humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies de vegetales. En el desarrollo de la metodología indica que se ha elaborado el diseño de tres módulos implementados de manera secuencial; en el primer módulo se integró organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, mientras que en el segundo módulo se implementó a los organismos de la especie *Typha dominguensis* (Pers.) Steudel, y en el tercer módulo se colocaron las dos especies; estos módulos fueron ubicados a la salida de un tratamiento primario, el cual trataba aguas residuales municipales derivadas de un edificio de investigación, para determinar la calidad del agua se analizó: DQO, iones de nitrógeno y fósforo total, de igual manera se desarrolló el conteo de bacterias

relacionadas al tratamiento. Como resultado se evidenció que en el tercer módulo la eliminación de materia orgánica es mucho mayor en comparación a los otros dos módulos, esto posiblemente a causa de la descomposición de la misma por las biopelículas microbianas constituidas sobre el tezontle y a causa de la existencia de las dos especies de plantas implementadas en este módulo. Finalmente, los investigadores concluyen en que se ha demostrado que el sistema implementado en la presente investigación viene a ser una alternativa con el fin de remover la carga orgánica y nutrientes, y que es de bajo costo en cuanto al mantenimiento y operación.

(Londoño & Marín, 2009), *“Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética”*, los investigadores plantearon por objetivo estudiar la capacidad de eliminación de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial ubicado en la planta de tratamiento de aguas residuales de la UTP, estos humedales se han alimentado de agua residual sintética elaborada con sustancias especiales las cuales representan las características propias de la concentración y composición del agua residuales doméstica. En la metodología de la citada investigación los responsables evaluaron tres (03) humedales, donde se plantó la especie *Phragmites australis*, además cada uno fue independiente, con diferentes formas de operación, por otro lado para la evaluación de la remoción de materia orgánica se usaron como indicadores los siguientes parámetros: DQO (método fotométrico), DBO5 (método winkler), fosforo (método ácido ascórbico), nitrógeno (método Kjeldahl) y sólidos suspendidos totales (SST) por gravimetría. En los resultados recabados a partir del tratamiento planteado se ha registrado que la eliminación de materia orgánica en respecto al DBO5 fue en un 95 %, 90 % y 96 % para los humedales 1,2 y 3; en cuanto a la remoción de DQO para los humedales 1, 2 y 3 fue de 93 %, 83 % y 94 % en ese mismo orden, de la misma forma se pudo identificar que la tasa de aplicación hidráulica es un indicador muy importante en cuanto a la eliminación de DQO, en humedales artificiales de flujo horizontal superficial. Finalmente concluye en que los tres sistemas implementados presentan una mayor capacidad en cuanto a la remoción de materia orgánica en relación a DBO, SST,

comprado con la normativa vigente y de la misma forma en cuanto a DQO, Nitrógeno total y fosforo total en comparación a estudios diversos.

(Marin, Solis, Lopez, Bautista, & Romellón, 2007) “*Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México*”, el cual planteó por objetivo principal indicar la capacidad de eliminación de contaminantes básicos en humedales artificiales de flujo subsuperficial con macrófita *Pontederia cordata* (Tule) y *Phragmites australis* (Carrizo); la cual pertenece a la zona tropical de Tabasco. La metodología del estudio consistió en medir la capacidad de eliminación de ciertos contaminantes (DBO5, DQO, SST, NT, PT, Turbiedad y Color), ello estuvo determinada en función a tres tratamientos: 1) *Pontederia cordata* (HAFS-Tule), 2) *Phragmites australis* (HAFS-Carrizo) y 3) grava como prueba testigo (HAFS-Grava). Como resultado de la investigación se recopiló que para HAFS-Tule se obtuvo mayores eficiencias en cuanto a remoción en un 81.10 % y 95.44 %, para el HAFS-Carrizo se logró remover en un 53 a 89 %, y en HAFS –Grava presentó la remoción en 34-72 %, los datos recopilados fueron analizados estadísticamente por Kruskal Wallis y ANOVA; finalmente el estudio concluye en que la actual vegetación nativa demostró ser optima desde el punto de vista costo – operación, para la depuración de agua residual en una región tropical de México.

2.1.2. A nivel nacional

(Gómez, 2017), “*Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas servidas*”, formuló como objetivo evaluar diferentes parámetros de aguas residuales y de esta forma observar el comportamiento y potencialidad Fito depuradora de dos (02) planas pilotos, se evaluó dos humedales artificiales verticales plantados con *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides*. La metodología de la presente investigación se desarrolló de la siguiente manera: los humedales fueron evaluados en el tiempo comprendido desde enero a noviembre del año 2016, se realizaron muestreos una a la entrada al humedal y las otros dos a las salidas de cada humedal lo cual vendría a ser aguas tratadas, como resultado del estudio se indica que los humedales artificiales verticales lograron altos niveles de eliminación en los

valores 98.6 – 96.4 de DBO5, para DQO un porcentaje de 93 y 90%, en cuanto a SST un porcentaje de 89.2 y 87.2% y para coliformes termo tolerantes o fecales se identificó 4 y 5 unidades logarítmicas/100 ml ello en los humedales con Paraguitas y Vetiver respectivamente, finalmente el estudio ha concluido en que los humedales no generaron malos olores, encharcamiento, tampoco se identificó la presencia de vectores sobre su área, a la vez tras el proceso estadístico se identificó que no se evidencian variaciones importantes en la eliminación de materia orgánica y sólidos entre las dos plantas.

(Lapa, 2014) “ *Propuesta de diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales con fines de riego en la ciudad universitaria – UNSCH-2014*”, el investigador planteó como objetivo diseñar un humedal artificial como parte del tratamiento sistemático de aguas residuales con el fin de usarla para riego en la ciudad universitaria – UNSCH, dentro de la metodología desarrollada por el investigador se indica que se realizó la medición de caudal con el método de medición directa en el buzón colector N° 24, en el AA.HH de pampa hermosa, de la misma forma se desarrolló el muestreo de parámetros físicoquímico y biológico de aguas residuales, todos los ensayos se desarrollaron en un laboratorio especializado con el fin de identificar los parámetros esenciales y requeridos para el diseño del sistema, una vez recopilado los necesarios datos, se continuó con el diseño de la planta de tratamiento del humedal artificial de flujo horizontal donde el tesista ha tenido en consideración las ventajas y desventajas del método elegido como también la caracterización in situ. La citada tesis recopiló los siguientes resultados, del análisis en el laboratorio especializado de los contaminantes en el efluente después de su tratamiento mediante el sistema implementado se indicó que en DBO se obtuvo 14.86 mg/l, en SST de 66.80 mg/l y en Coliformes Fecales 411.00 NMP/100 ml, dichos resultados se evaluaron con la normatividad D.S.N° 002-2008-MINAM (límites máximos permisibles) validando que los resultados se encuentran dentro de lo indicado en la norma. Finalmente, la conclusión principal es que el investigador ha propuesto la implementación de humedal artificial como sistema de tratamiento para el respectivo tratamiento de aguas residuales con el fin de usarla para riego dentro la universidad (UNSCH), y de esta forma doblegar el compromiso que la universidad hacia la protección del medio

ambiente y la sociedad recopilando resultados que afianzan e impulsan el uso de este tipo de sistemas.

(Llagas & Guadalupe, 2006) “*Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*”, la citada investigación tuvo como objetivo realizar el diseño de un Humedal artificial del tipo Sistema de Agua Superficial Libre (SASL), como también elaborar la descripción de los cálculos matemáticos elaborados para los procesos biológicos en el Humedal artificial. Como parte de la metodología desarrollada por el investigador lo que inicialmente se realizó fue la caracterización de aguas residuales, posterior a ello evaluó los tipos de plantas a usar son seis variedades atribuidas dentro de las 3 celdas mientras que una celda estará sin vegetación y servirá como blanco ello con la finalidad de comparación, continuando se registra que el autor evaluó las condiciones hidráulicas del lugar; seguidamente se pasó a realizar el diseño del humedal artificial el cual estuvo en relación a la “carga orgánica (DBO5) por el área (método analítico de Reed y otros 1995)”. En los resultados de la citada investigación indica que de las dimensiones en las celdas calculadas presentan la relación larga: ancho (4:1), cuya relación se ve fuertemente influenciada por el “régimen hidráulico y resistencia al flujo dentro del sistema”, por otro lado el flujo en el humedal tiene que vencer la resistencia a la fricción que se presenta por la flora y capa de residuos, la energía que es necesaria para vencer esta resistencia es administrada por el caudal ya calculado existente entre la entrada y salida del respectivo humedal. Finalmente el autor concluye en que de los modelos matemáticos que fueron analizados para ser usados en “los sistemas de agua superficial libre (SASL)”, necesitan ser corroborados con los datos que son recolectados en campo, pues vienen a ser sensibles a las variaciones de temperatura de diversos lugares donde se vaya a aplicar, finiquitando las conclusiones el autor indica que el agua a ser tratada mediante el humedal estará destinada para ser usada en los servicios de áreas verdes (riego) que presenta la Universidad.

2.1.3. A nivel local

En este apartado no se pudieron evidenciar trabajos de investigación desarrolladas en la ciudad de Huancavelica, referente a las variables y/o dimensiones

consideradas en este estudio, por lo que al finalizar con este trabajo de investigación la discusión solo se desarrolló con los antecedentes internacionales, nacionales y bases teóricas.

2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.2.1. Humedales Artificiales

Según (Fernandez, De Miguel, De Miguel, & Fernández, 2004) , este sistema de tratamiento se comprende normalmente en un “monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas)” acondicionadas en tanques, lagunas, o canales poco profundos. Comúnmente el efluente antes de pasar un cierto tiempo de retención en un humedal recibe un pre-tratamiento, El efluente va a ser sometido a diferentes procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno requerido para para realizar estos procesos es administrado por las mismas plantas, gracias a la formación de fotosíntesis o también cogen del aire para poder inyectarlo hasta la zona radicular.

Viene a ser un requisito fundamental la transferencia de oxígeno hacia la zona radicular a través de estas plantas acuáticas pues gracias a ello se logra la aniquilación microbiana de algunos contaminantes de manera eficiente, motivando de esta forma la degeneración de la materia orgánica y el incremento de bacterias nitrificantes. (Pág. 79)

(Fernandez, De Miguel, De Miguel, & Fernández, 2004) También señala que la vegetación realiza un papel principal en este tipo de sistemas viniendo a ser sus más resaltantes funciones:

- Proporcionar oxígeno y airear el sistema radicular a los microorganismos que habitan en la rizosfera.
- Absorción de nutrientes (fósforo y nitrógeno)
- Erradicar los parámetros contaminantes de manera que los asimila de forma directa en sus tejidos.
- Filtración de los sólidos mediante el entramado el cual forma su sistema radicular.

Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) los humedales artificiales vienen a ser sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema vendrá a ser el progreso de un cultivo de macrófitas enraizadas encima de un lecho impermeabilizado de grava. El acto de estas macrófitas hace factible una serie de dificultosas interacciones físicas, químicas y biológicas mediante el cual el agua residual es decir el afluente va a ser tratada de forma progresiva y lentamente. (Pag. 7) (Garcia, Bayona, & Morató, 2004) Citado en (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indica que los humedales que han sido construidos vienen a ser usados en el tratamiento de una gran variedad de aguas residuales:

- Aguas urbanas y domésticas.
- Aguas industriales, lo cual abarca la fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
- Aguas de drenaje a causa de las extracciones mineras.
- Aguas provenientes de la escorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento de lodos de depuradoras convencionales, mediante disposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan.

(Stearman *et al.*, 2003) citado en (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), menciona que los humedales exterminan los parámetros contaminantes mediante diferentes procesos que abarca la “sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización”.

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indican que los humedales podrían suplantar el tratamiento secundario como también al tratamiento primario y/o secundario ello siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones (Pág. 7).

(Cooper *et al.*, 1996) citado en (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) estos sistemas depuran el agua residual a través de la eliminación del material orgánico (DBO5), oxidando el amonio, disminuyendo los nitratos y eliminando el fósforo. Los mecanismos son dificultosos e involucran “oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación Química” (Pág. 7).

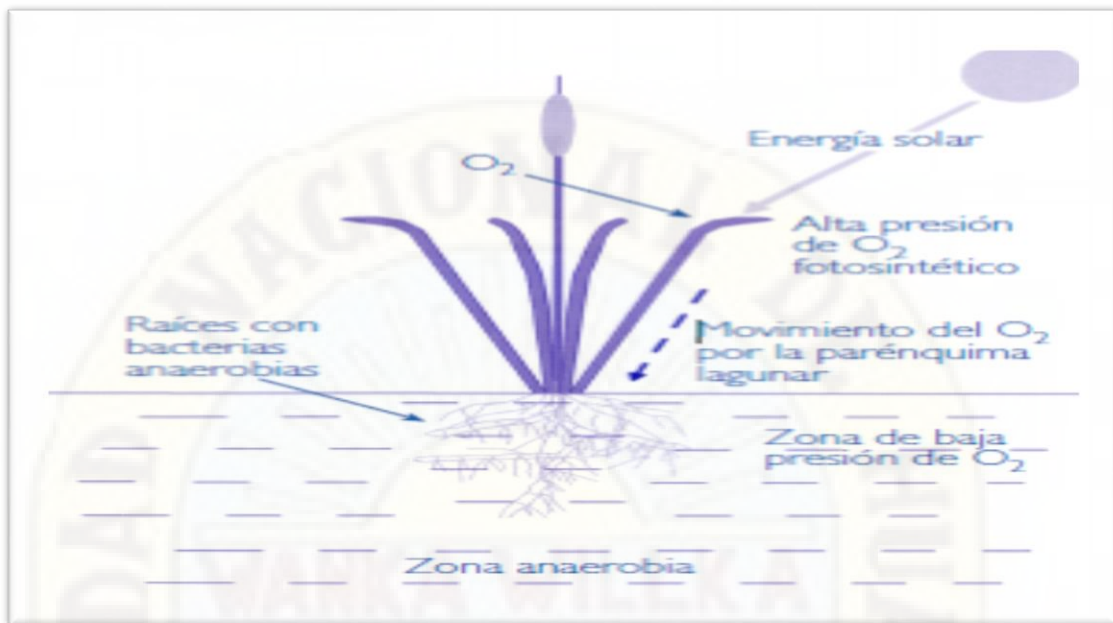
Por otro lado (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indican que los humedales artificiales de flujo vertical funcionan en base a 3 principios muy

fundamentales las cuales vienen a ser “La actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno mediante las macrófitas en el transcurso del día y la ayuda física de un lecho inerte el cual brinda un soporte para el enraizamiento de las macrófitas o vegetales, aparte de tener la función como material filtrante. Por lo general estos aspectos exterminan elementos suspendidos y disueltos en el tratamiento de aguas residuales y degeneran materia orgánica hasta el punto que estas llegan a mineralizarse y así con el tiempo crear nuevas películas de microorganismos las cuales tinguen la función de depurar el agua.

El funcionamiento de los humedales artificiales se basa en tres principios básicos: “la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante”. En general estos aspectos exterminan elementos suspendidos y disueltos en el agua residual y degeneran materia orgánica hasta poder mineralizarla y finalmente crear nuevos organismos (Pág. 7)

(Lara, 1999) citado en (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indican que los humedales presentan tres funciones básicas que les da el valor agregado potencial para el tratamiento de aguas residuales, estas son: “fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento” (Pág. 7)

Figura 1 Esquema del proceso de aireación de la rizósfera y macrófitas emergentes de los humedales



Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

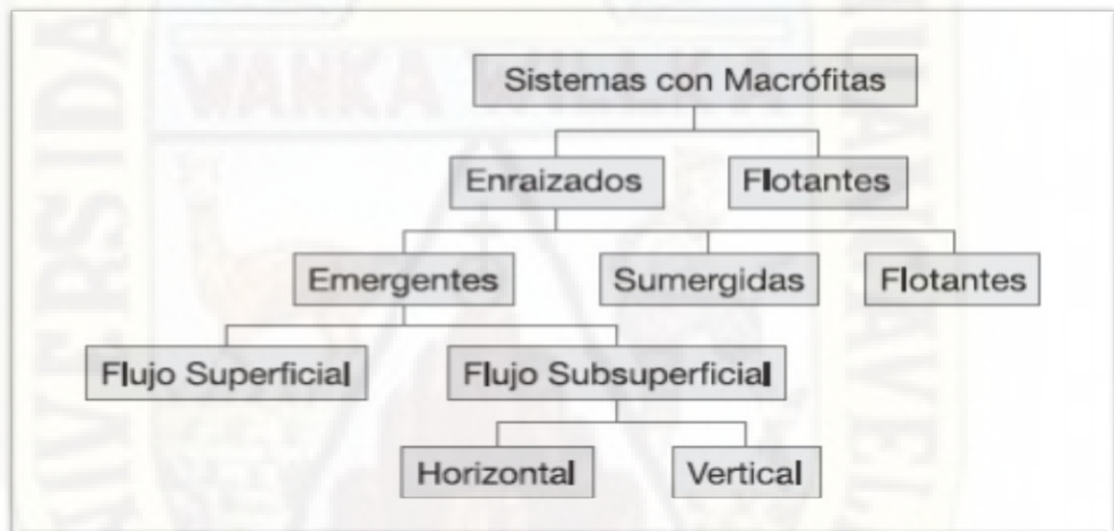
2.2.1.1. Clasificación de los Humedales Artificiales

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) clasifican a los humedales artificiales de acuerdo al tipo de macrófitas que se puedan usar en su funcionamiento pudiendo ser: “macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres”. Teniendo en cuenta el estilo de vida de las macrófitas, los humedales artificiales se clasifican en: Las unidades de tratamiento que funcionan con macrófitas principalmente angiospermas sobre los suelos anegados. Este vegetal cuenta con órganos reproductivos de manera flotante. El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) vienen a ser las especies más requeridas para este sistema (Pág. 8).

El sistema de depuración de agua residual basada en humedales con macrófitas sumergibles. Este comprendido por unos cuantos helechos, una gran cantidad de musgos y carofitas y una alta cantidad de angiospermas. Están situados en lugares fóticas donde llega la luz solar, a pesar de ello, las angiospermas vasculares solo llegan a sobrevivir hasta los 10m de profundidad aproximadamente. Estas especies tienen los órganos reproductores de forma aéreos, flotantes o sumergidos (Pág. 8).

Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes: Vienen a ser plantas permanentes en suelos sumergidos de forma constante, además presentan órganos reproductores lo indica (Cricyt, 2007) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010). Los humedales en relación a macrófitas enraizadas emergentes se pueden clasificar de dos formas, respecto a la circulación del agua que se utilice: “1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal” (Pág. 8)

Figura 2 Esquema de los distintos tipos de humedales artificiales



Nota: Imagen extraída del Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación

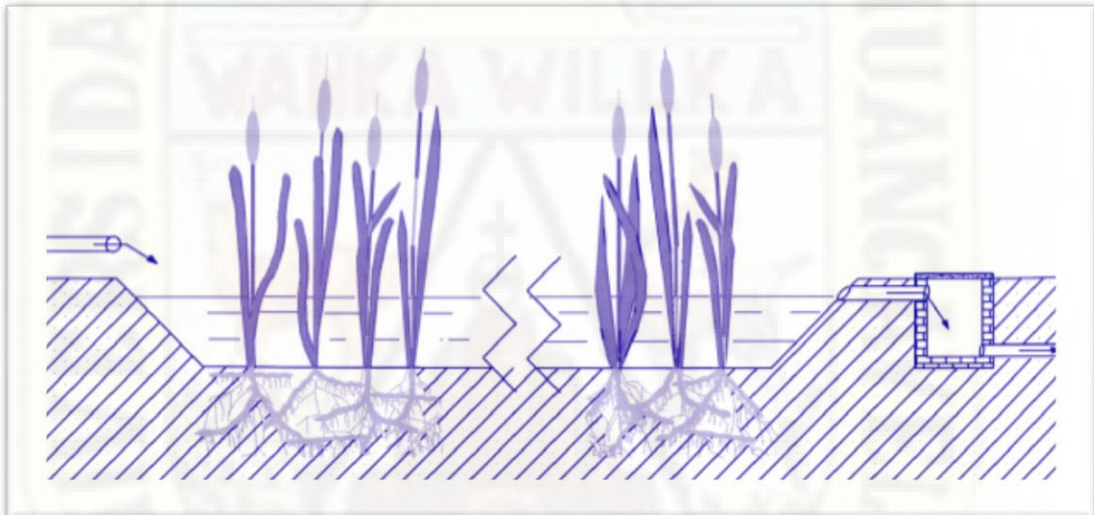
A continuación, se desarrollará las características de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial, lo cual se encuentra basado en macrófitas enraizadas emergentes, por ser los que interesan en nuestra investigación.

2.2.1.1.1. Humedales artificiales de flujo superficial

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) definen a este sistema de flujo superficial (conocidos en inglés como *surface flow constructed wetlands* o *free water Surface constructed wetlands*) como aquellos donde el agua circula de preferencia mediante los tallos de las plantas y está exhibida de forma directa a la atmósfera. El humedal artificial de flujo superficial viene a ser una modificación al sistema de

lagunas convencionales, sin embargo, el humedal, presenta una profundidad menor (no más de 0,6 m) y posee plantas. Si se trata de paisaje, este sistema es muy recomendado por su capacidad de acoger diferentes especies de peces, anfibios, aves, etcétera. Además, pueden integrarse, en lugares turísticos y lugares donde se usen para el estudio de diversas por las dificultosas interacciones biológicas que se producen (Pág. 9)

Figura 3 Esquema del diseño de un humedal de flujo superficial



Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

2.2.1.1.2. Humedales de flujo subsuperficial

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indican que estos sistemas de flujo subsuperficial (conocidos en inglés como subsurface flow constructed wetlands), tiene la particularidad de que la circulación del agua en los mismos se lleva a cabo mediante un medio granular (subterráneo), el cual presenta una profundidad de agua aproximada a los 0,6 m. Las plantas se instalan en este medio granular y el agua viene a estar en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. La clasificación de los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: “(a) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical”.

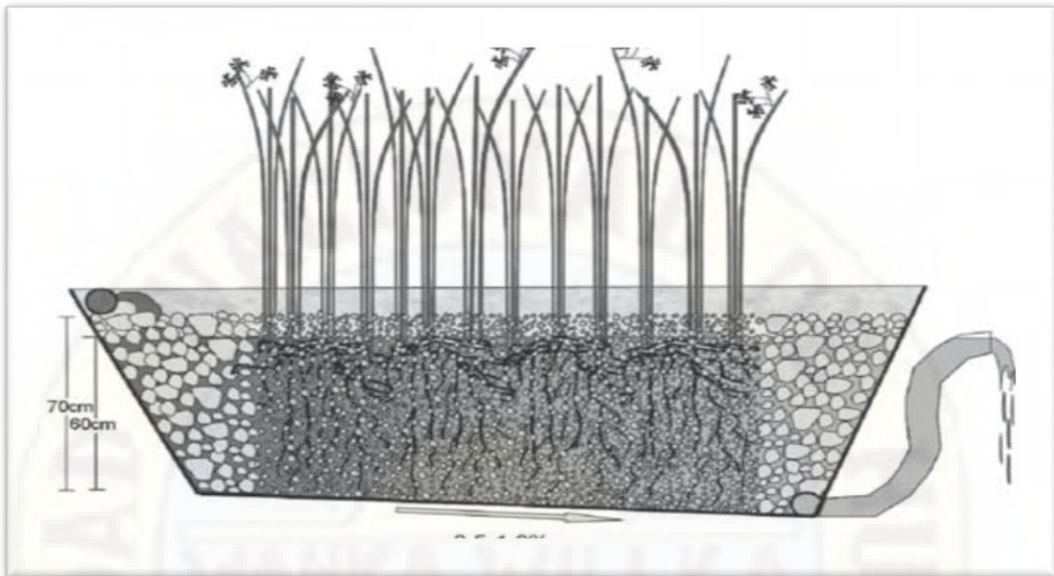
- Humedales subsuperficiales de flujo horizontal.

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indican que estos sistemas son más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel (1967) y Kickuth (1977). El diseño de estos sistemas generalmente consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, en donde se planta macrófitas acuáticas, mayormente en diferentes casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*). Es recubierta toda la cama por una membrana impermeable para proteger al suelo de infiltraciones.

En este sistema de tratamiento el caudal que ingresa debe de ser de manera permanente, para cumplir con el ciclo de vida de la película de microorganismos formados en el lecho filtrante del humedal. Asimismo, dicho sistema es aplicado en la parte superior de un extremo y recolectado mediante un tubo de recolección el cual lo hace mediante los orificios que este presenta el cual está situado en la parte opuesta inferior. El agua residual contaminada se depura a medida que fluye lateralmente mediante un medio poroso conocida como (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %.

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, en entre 3 mm a 32 mm. Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento

Figura 4 Humedal subsuperficial de flujo horizontal



Nota: Imagen extraída del Libro “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”

- Humedales subsuperficiales de flujo vertical

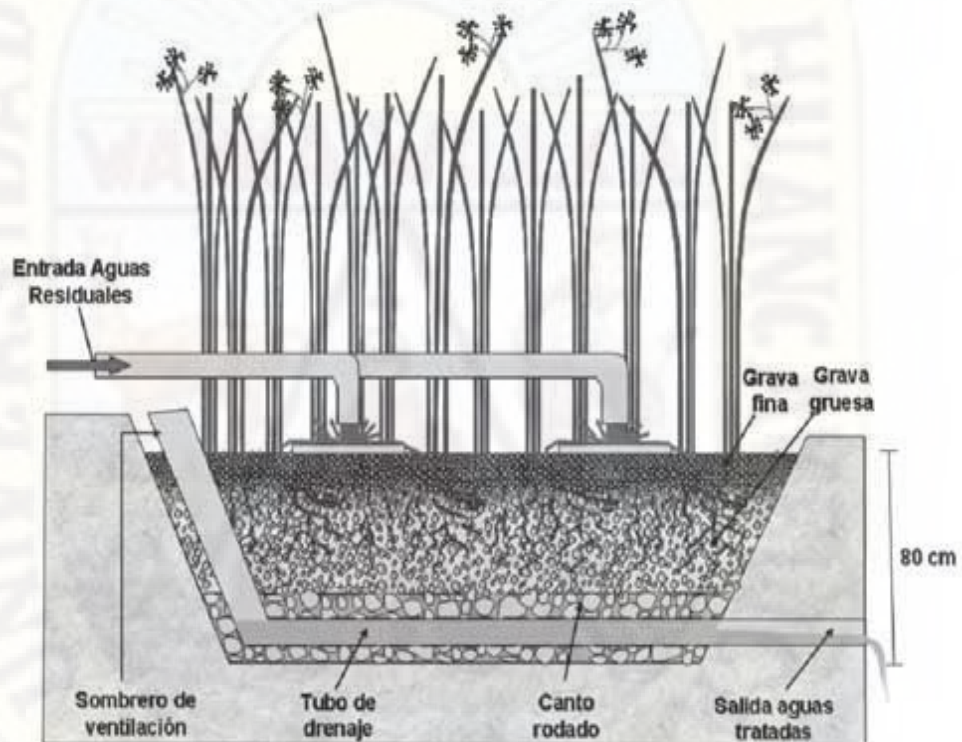
Las unidades de depuración de aguas residuales que son de flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta manera, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son continuas por etapas de insaturación, estimulando el ingreso de oxígeno. Existen muchas maneras de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios.

También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua (Ver figura N° 5).

Las aguas residuales tienden a filtrar de manera vertical mediante el lecho filtrante el cual en su gran mayoría viene a ser la (Arenas de diferentes diámetros, graba), para luego ser recolectadas mediante una tubería perforada denominada red de drenaje, la cual está situada en el fondo del sistema de tratamiento o humedal artificial. el proceso de este tratamiento se da de manera continua con la finalidad de mantener y estimular hasta un punto máximo las condiciones aerobias. La vegetación es plantada de igual manera en el medio granular asimismo este llega a mejorar las condiciones aerobias del medio poroso, asimismo se puede llegar a implementar unas tuberías con orificios

las cuales permitan conectar la parte interna del humedal con el exterior para así inyectar o suministrar más oxígeno y las bacterias puedan degradar el material orgánico en buenas condiciones aeróbicas. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo.

Figura 5 Humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección).



Nota: Imagen extraída del Libro “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”

2.2.1.1.3. Ventajas y desventajas de los humedales artificiales:

Las ventajas y desventajas que presentan los diferentes tipos de humedal artificial en el tratamiento de aguas residuales vienen a ser las siguientes que se mencionan al pie de este enunciado. El primero compara humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial (Tabla 1), y el segundo compara humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal (tabla 2). En términos de costos, los humedales

artificiales superficiales requieren menor inversión en relación a los de flujo subsuperficial ya que en los primeros no se incurren en los gastos mayores: la impermeabilización y la provisión y colocación del sustrato de grava.

Tabla 1.
Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.

	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, Ejm. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera)	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ejm. Tanques IMHOFF, pozos sépticos)
Operación	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga orgánica
Olor	Puede ser controlado	No existe
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y de flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante
Área	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menos tamaño
Costo	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio hasta un 30 %
Valor económico	Mayor valor como ecosistema para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna.	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible para la fauna
Usos generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales principalmente para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes
Operación	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua)	Puede usarse como tratamiento secundario

Nota: Imagen extraída de “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”

Cabe destacar que los sistemas de flujo horizontal tienen mayor riesgo de colapsar en términos de circulación del agua (taconamiento del sustrato), por tanto, requieren que el agua a tratarse tenga menor material en suspensión. En cuanto a la operación, en términos generales, ambos tipos requieren baja intensidad, pero Continua, aunque no debe confundirse requerimientos mínimos con ningún requerimiento.

Tabla 2.

Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado oxidado	Más reducido	Más oxidado
Eficiencia	Más superficie	Menos superficie
Carga superficial	4-6 G DBO5/ $m^2 \cdot d$	20-40 g DBO5/ $m^2 \cdot d$
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Más compleja

Nota: Imagen extraída del Libro “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”

2.2.1.1.4. Porcentaje de Remoción de Contaminantes en Humedales de flujo Subsuperficial (Horizontal y Vertical)

Según lo descrito por (Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011) a continuación se detalla la siguiente tabla en donde se observan los valores en cuanto al porcentaje de remoción del sistema de tratamiento según los parámetros o contaminantes contenidos en el agua residual.

Tabla 3 Porcentaje de Remoción para el tratamiento de aguas residuales mediante humedales de flujo horizontal vs humedales de flujo vertical

Contaminantes		HFH	HFV
		(Morel y Diener, 2006)	(Ridderstolpe, 2004)
DBO5		80-90%	90-99%
SST	(Sólidos totales)	80-95%	90-99%

NT (Nitrógeno total)	15-40%	30%
PT (Fosforo total)	Las tasas de eliminación del fósforo dependen de las propiedades del material del filtro, de la longitud y del tiempo durante el cual el humedal ha estado operando.	

Nota: (Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011)

En base a lo descrito líneas arriba el presente trabajo de investigación optó por implementar para el tratamiento de aguas residuales provenientes del Camal Municipal de la ciudad de Huancavelica, el humedal artificial subsuperficial de flujo vertical ya que es el que se adecua a las condiciones reales de la zona.

2.2.1.1.5. Partes de los humedales de flujo subsuperficial

Según lo indicado en (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), los humedales subsuperficiales están constituidos por cuatro elementos: “agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos”, a continuación se detalla cada uno de ellos:

- Agua residual

Según (Alarcón, Zurita, Lara, & Vidal, 2018), este elemento viene a ser el efluente que ingresa al humedal artificial y que puede ser de tipo doméstica, industrial, como también una mezcla y provenientes de drenajes generados por acontecimientos de precipitación pluvial (Pág. 21)

Además (Rolim, 2000) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que de acuerdo a sus usos iniciales, estas aguas residuales pueden ser el resultado de la combinación de líquidos y sólidos los cuales son emanados de residencias, edificios, oficinas, comerciales e instituciones, acompañado de residuos de industrias, de actividades agrícolas, como también aguas superficiales, subterráneas, o de precipitación. Los contaminantes que forman parte de la atención

para el respectivo tratamiento de las aguas residuales se muestran en el Tabla N°3 (Pág. 11)

Tabla 4.
Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales

Contaminantes	Importancia
Sólidos suspendidos	Lo sólidos sucedidos pueden llevar al desarrollo del depósito de lodo y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son lanzados al ambiente acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de las fuentes de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades
Nutrientes	Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas, pueden contaminar también el agua subterránea.
Compuestos tóxicos	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de esos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados mediante actividades humanas. Tienen una alta persistencia en el ambiente, lo que incrementa su posibilidad de acumulación y toxicidad.

Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos como calcio, sodio y sulfato, deben ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual por ser potenciales degradadores del suelo.
--------------------------------------	---

Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), Tabla extraída de (Metcalf y Eddy en Rolim 2000)

Según (Lara, 1999) citado en: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indica que la hidrología viene a ser un factor muy importante en un humedal construido y porque vendría a ser el factor decisivo en el éxito y/o fracaso del humedal artificial por las siguientes razones (Pág. 12)

- Minúsculas variaciones en la hidrología pueden generar efectos de consideración en el humedal y en los resultados esperados de un humedal.
- A causa del área superficial del agua y su baja profundidad, un sistema actúa de forma equitativa y fuertemente con la atmósfera mediante “la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación del suelo y transpiración de plantas)”.
- La densidad de la vegetación en un humedal tiene efectos tenaces sobre su hidrología, obstaculizando caminos de flujo viniendo a ser el movimiento del agua ondulado mediante la red de raíces y rizomas y interponiéndose a la exposición al viento y al sol.
- Sustrato

(Hoffmann *et al.*, 2011) citada en (Alarcón, Zurita, Lara, & Vidal, 2018) indica que al hablar de sustrato en humedales artificiales vienen a ser los materiales o medio filtrante que se ponen en el lecho del humedal y que como una de sus funciones es encargarse como sostén para las plantas y el crecimiento del ecosistema, y pudiendo incorporar a todos o algunos de los siguientes elementos: suelo, composta, arena, grava, etc. Comúnmente, se incorporan diferentes capas de arena y grava de diferentes graduaciones, dependiendo de las características del agua residual que se tratará. Va a contribuir a la eficiencia de los diferentes procesos en el tratamiento el uso de arena gruesa brindando el área necesaria para el desarrollo microbiano y sosteniendo la “adsorción y los procesos de filtración” (Pág. 21)

Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), menciona existen varias razones por las cuales vienen a ser muy importantes el sustrato, sedimentos y restos de vegetales en humedales (Pág. 12).

- Mantienen a cuantiosos organismos que viven en el humedal.
- ✓ La permeabilidad del sustrato tendrá efecto en el movimiento del agua mediante el humedal.
- ✓ Diversas “transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato”.
- ✓ Brindan depósito para abundante muchos contaminantes.
- ✓ (Lara, 1999) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indica que la aglomeración de restos de vegetación incrementa la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica generara el intercambio de “materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono y como también viene a ser una fuente de energía” (Pág. 12).

- Vegetación

(Alarcón, Zurita, Lara, & Vidal, 2018), hacen mención que está comprendido por “las especies vegetales o plantas que llevarán a cabo algunas de las funciones de depuración del agua residual a tratar mediante procesos de Adsorción, fijación, etc” (Pág. 21)

(Arias, 2004) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indican que la función principal de la vegetación en los humedales está en función esencialmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas vienen a ser “organismos foto autótrofos”, es decir que recolectan energía solar para convertir “el carbono inorgánico en carbono orgánico”. Tienen la cualidad de intercambiar oxígeno “desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces”. Este oxígeno formará regiones aerobias y en esta zona los microorganismos harán uso del oxígeno disponible para poder generar diferentes “reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación” (Pág. 13)

(Lara, 1999) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) realizan un resumen con las características de tres especies más usadas en humedales artificiales (Pág. 13).

Tabla 5.

Características de las especies vegetales más utilizadas en humedales artificiales.

Nombre científico	Familia	Nombre(s) Común(es)	Características sobresalientes	Distancia de siembra	Penetración de raíces en grava	Temperatura °C		Salinidad		pH
						Deseable	Germinación	Germinación	ppt	
Thypha spp	Typhaceae	Espadaña, Enea, Anea, Junco, Bayón, Bayunco, Bohordo, Henea, Junco de la pasión, Maza de agua	Ubicua en distribución. Capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales. Se propaga fácilmente. Capaz de producir una biomasa anual grande. Tiene potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha.	60 cm	Relativamente pequeña (30 cm) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial.	10-30	12-24	30	-	0, 4, 1, 0

Scirpus spp	Ciperáceas	Totora	Perennes.									
			Crecen en grupo. Plantas ubicuas.									
Phragmites spp	Gramíneas	Carrizo	Crecen en aguas costeras, interiores, salobres y humedales.									
			Crecen bien en aguas desde 5 cm hasta 3 m de profundidad.									
Phragmites spp	Gramíneas	Carrizo	Anuales Altos									
			Rizoma perenne extenso. Plantas acuáticas usadas más extensas.									
Phragmites spp	Gramíneas	Carrizo	Pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus rizomas penetran verticalmente y más profundamente. Son muy usadas en humedales porque ofrecen									
			40 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial.									

un bajo valor
alimenticio.

Nota: (Lara, 1999) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

- Microorganismos

(Alarcón, Zurita, Lara, & Vidal, 2018), indican que los microorganismos es el consorcio constituido por organismos vivos que influyen en las “reacciones biológicas del proceso de tratamiento” (Pág. 21)

Según (Arias, 2004) citada por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indican que los microorganismos tienen la responsabilidad de llevar a cabo el tratamiento biológico. Las colonias de microorganismos aerobios se van incrementar en la zona superior del humedal, en esta parte prevalece el “oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera”. En lo que resta del lecho granular se imponen los microorganismos anaerobios. Los primordiales procesos que realizan los microorganismos vienen a ser “la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección” (Pág. 14)

2.2.1.1.6. Mecanismos en los Humedales Artificiales para la remoción de contaminantes:

Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), se van a desarrollar diversos mecanismos de remoción de parámetros contaminantes en un humedal artificial. Claramente ello conlleva a una amplia gama de procesos biológicos, químicos y físicos. Y de esta forma se confirma que la influencia e interacción por parte de cada componente viene que está relacionada es ampliamente compleja (Pág. 14). A continuación, se presenta la Tabla N° 5 donde se indican los principales mecanismos y procesos que se generan en los humedales artificiales.

Tabla 6.

Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrófitas

Parámetro evaluado	Mecanismos de remoción
Sólidos suspendidos	Sedimentación/filtración
DBO	Degradación microbiana (aerobia y anaerobia). Sedimentación (acumulación de material orgánica/lodo en la superficie del sedimento)
Nitrógeno amoniacal	Amonificación seguida por nitrificación y desnitrificación amoniacal. Captado por la planta
Patógenos	Sedimentación/filtración. Declinación. Radiación ultravioleta. Excreción de antibióticos por las raíces de las macrófitas

Nota: (Kolb 1998), citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

(Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011) Realizan la siguiente explicación de los mecanismos de remoción de parámetros contaminantes y que se llevan a cabo en los humedales construidos, lo cual se detalla a continuación: (Pág. 12)

- Remoción de sólidos suspendidos: Medida como la cantidad de sólidos los cuales estarán presentes en suspensión.
- Remoción de materia orgánica: Lo cual estará medida como DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno).
- Remoción de Nutrientes: Estará medida por ejemplo en fósforo y nitrógeno)
- Remoción de metales pesados
- Remoción de bacterias

(Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011) indican que generalmente se refieren a los humedales artificiales como "simples sistemas de baja tecnología", pero los procesos que están involucrados en este tipo de tratamiento es en muy complejo y de dejar en realidad de ser conocidos como simples. Presenta los siguientes componentes: (Pág.13)

- Lecho de arena
- Zona radicular
- Detritus (material orgánico particular, como hojas secas)
- Poro de agua
- Poro de aire

- Plantas
- Raíces
- Biofilm: bacterias que crecen en la arena y están ligadas a las raíces

(Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011) también indican que el proceso de tratamiento que se lleva a cabo en el lecho de los humedales artificiales es el producto de difíciles interacciones a través de todos estos componentes. A tal efecto que estos humedales artificiales presentan diversos espacios con estados de oxígeno que originan los diversos procesos de oxidación y así mismo disminuyen los contaminantes biodegradables. A continuación, se muestra la Tabla donde se describe los procesos de remoción de una forma sencilla y comprensible (Pág. 13)

Además (Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011), indican que el lecho del humedal va a desenvolverse como “filtro mecánico y biológico”. Los sólidos suspendidos y los sólidos microbianos que están contenidos en las aguas residuales (afluente) van a ser retenidos en primer lugar mecánicamente, y por otro lado la materia orgánica soluble, es primordialmente “fijada o absorbida por el biofilm”. En su totalidad la materia orgánica se degrada y se estabiliza en el interior del lecho en el transcurso de “períodos prolongados de los procesos biológicos”. La actividad original de los microorganismos es la base principal para el tratamiento biológico en el lecho del humedal, primordialmente de las “bacterias aerobias y facultativas, que crecen en el biofilm y que se adhieren en la superficie de las partículas de arena y raíces” (Pág. 13).

Por otro lado (Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011), indican que los humedales artificiales están diseñados para descomponer la materia Orgánica mediante los tratamientos aerobios y anóxicos, pero no por tratamientos anaerobios los cuales estarán generados por la falta de oxígeno y nitrato además liberan biogás. Los procesos aerobios generalmente requieren la presencia del oxígeno (aire), y por otra parte los procesos anóxicos se dan en condiciones donde no exista el oxígeno cuando el nitrato (NO_3^-) es va a ser usado por algunas bacterias que tienen la capacidad de degradar la materia orgánica (Pág. 13)

(Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011) resaltan que la existencia de “zonas amplias anaeróbicas (negras)” en humedales, viene a ser un problema en el cual

debe tenerse mayor consideración ya que obstaculizan los poros del material filtrante y se aglomera agua en la parte superficial del Humedal. Es claro que no va a mantener su eficiencia aquel humedal que ya de por si presenta condiciones anaeróbicas. Siempre se deben exterminar todo aquello que provoca este problema (Pág. 13).

Tabla 7.
Procesos de remoción de contaminantes en HHAA

Contaminante	Proceso
Materia orgánica (medida como DBO5 o DQO)	- Las partículas de MO son eliminadas por la sedimentación y filtración, luego convertidas a DBO5 soluble - La MO soluble es fijada y adsorbida por el biofilm y degradadas por las bacterias adheridas en este.
Sólidos suspendidos totales (SST)	- Sedimentación y filtración - Descomposición durante los largos tiempos de retención por bacterias especializadas en el lecho de arena.
Nitrógeno	- Nitrificación / Desnitrificación por el biofilm - Absorción de las plantas (influencia limitada)
Fósforo	- Retención en el lecho de arena (adsorción) - Precipitación con aluminio, hierro y calcio - Absorción de las plantas (influencia limitada)
Patógenos	- Sedimentación y filtración - Absorción por el biofilm - Depredación por protozoarios - Eliminación de bacterias por condiciones ambientales desfavorables (temperatura y pH)
Metales pesados	- Precipitación y adsorción

	- Absorción de las plantas (influencia limitada)
Contaminantes orgánicos	- Adsorción por el biofilm y partículas de arena
	- Descomposición debido a lo largo del tiempo de retención y a las bacterias

Nota: (Hoffmann, Platzner, Winkler, & Von Muench, 2011)

2.2.1.2. *Diseño de Humedales Artificiales Sub Superficial de flujo Vertical*

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) describen que el diseño hidráulico de un humedal es delicado para poder recabar eficientes rendimientos en cuanto a depuración. Para efectos de diseño se asume o se tiene por deducido que el flujo se encuentra en condiciones uniformes y de tipo pistón (Pág. 31)

Para obtener aproximarse lo más posible a lo que es un modelo ideal (flujo pistón) es de mucha importancia ejecutar un minucioso diseño hidráulico además de tener en cuenta apropiadamente los métodos constructivos (Pág. 31).

El flujo del agua en la parte interna del humedal debe deshacer las resistencias creadas “capa de sedimentos, por la vegetación, raíces y sólidos acumulados en los humedales” (Pág. 31).

La pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal generará la energía para romper esta resistencia, y para poder lograr esta energía se le otorgará al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura cambiante (Pág. 31).

Además (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) señala que se debe tener en consideración para el diseño de humedales los siguientes criterios:

1. Se tendrá en consideración “reactores biológicos”.
2. Se tendrá en cuenta que el flujo mediante haga su paso por el medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme.
3. La “Ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso”.

Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), para el diseño de este tipo de Humedales e debe tener en cuenta (Pág. 35).

- Cálculo del área necesaria.

Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), para determinar el cálculo del área del humedal tendrá que estar en función de: “1) la población equivalente y 2) si el humedal trabajará como tratamiento primario o secundario” (Pág. 35).

La población equivalente puede estar definida por “la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5) de 60 g de oxígeno por día (ver ecuación)”. De la misma manera la carga contaminante de las aguas grises, estará determinada por la sumatoria de los individuos equivalentes de las “industrias asentadas en el municipio y que vierten a la red de colectores municipales”.

Fórmula para calcular la población equivalente

$$Poblacion\ equivalente\ (hab) = \frac{DBO_5 * Caudal(m^3/d)}{60\ gr\ DBO_5/dia * hab}$$

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) mencionan que el humedal trabajara como tratamiento secundario siempre en cuando ya las aguas residuales hayan recibido un tratamiento primario ya se a través de un tanque séptico, reactor UASB, IMHOFF, lagunas anaerobias, u otro método. Para ambos casos se adecuaron ecuaciones que van a determinar las áreas superficiales de los humedales, tal como se puede ver en la siguiente relación planteada: (Pág. 35)

Humedal como tratamiento primario

- $1,2\ m^2/p$ para sistemas de alcantarillado separativo
- $1,5\ m^2/p$ para sistemas de alcantarillado unitario

Humedal como tratamiento secundario

- $0,8\ m^2/p$ para sistemas de alcantarillado separativo
- $1,0\ m^2/p$ para sistemas de alcantarillado unitario

Por otra parte (Crites y Tchobanoglous, 2000) citado en (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), calcula el área en función a la ley hidráulica obteniendo la siguiente ecuación: (Pág. 36)

Cálculo del área superficial en humedal vertical

$$As = \frac{Q}{THA}$$

Mientras que la tasa hidráulica de aplicación lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$THA = \frac{THC}{F}$$

Donde:

Q = caudal $m^3/día$

THA= Tasa hidráulica de aplicación (mm/dosis)

TCH= Tasa de carga hidráulica (mm/día)

F = Frecuencia de dosificación (dosis/día)

-Profundidad del humedal.

Según lo refrendado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) la profundidad del humedal “suele ser de unos 60 a 80 cm”. “El agua fluirá a través del medio poroso y se recogerá en una red de tuberías de drenaje situada en el fondo del lecho” (Pág. 36)

- Pendiente.

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) describe a la pendiente indicando que la superficie del humedal es plana (0%), y que se debe tener mucha cautela en este aspecto pues ello evitara que se “formen charcos de agua sobre la superficie”. “La pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2 % pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 1 %” (Pág. 36)

- Sustrato.

Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), el sustrato está constituido por diferentes capas de material ello de acuerdo al tipo de uso final que se le dará al humedal (tratamiento primario o secundario) en la Tabla se detalla lo antes mencionado (Pág. 37)

Tabla 8 Características del sustrato para diseño de humedales verticales

	Tratamiento primario	Secundario
Capa superficial	h>30 cm grava fina, diámetro efectivo de 2-10 mm	h>30 cm de arena fina, diámetro efectivo de 25 a 40 mm

	h de 10 a 15 cm grava fina	h de 10 a 20 cm de grava fina,
Intermedia	diámetro efectivo 5 a 20 mm	diámetro efectivo de 3 a 10 mm
	h de 10 cm grava de	h de 10 cm de grava de
Drenaje	diámetro efectivo de 20 a 40 mm	diámetro efectivo de 20 a 40 mm

H= altura de humedal

Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indican que se debe tener salvedad en cuanto al diseño de este tipo de humedales en los siguientes aspectos:

Para Humedales que funcionaran como tratamiento primario:

Indica que el Coeficiente de uniformidad menor a 5; caudal de aplicación del agua residual debe ser mayor al caudal de infiltración; el agua residual contiene partículas suspendidas, por ende, la conductividad hidráulica se reduce, se muestra en la siguiente ecuación. (Pág. 37)

Ecuación para el cálculo de la conductividad hidráulica para el tratamiento primario

$$K_{sf} = 0.6 * K_s$$

Del mismo modo se observa en la siguiente ecuación el cálculo de infiltración para tratamiento primario:

$$Q_i = A_s * K_{sf} * 3600$$

Para humedales que harán el papel de tratamiento secundario según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que la condición es que el “El caudal de aplicación sea mayor al caudal de infiltración y la fórmula del caudal de infiltración se reduce a lo siguiente” (Pág. 37)

$$Q_i = A_s * K_s * 3600$$

Donde:

Q_i = caudal de infiltración (m³/h)

A_s = área superficial (m²)

K_s = conductividad hidráulica (m/s)

En tabla 9 se describe los principales materiales usados en humedales verticales

Tabla 9 Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales verticales

Tipo de material	Tamaño efectivo	Conductividad
	D ₁₀ (mm)	hidráulica, k_s (m ³ /m ² /d)
Arena gruesa	2	100-1000
Arena gravosa	8	500-5000
Grava fina	16	1000-10000
Grava media	32	10000-50000
Roca gruesa	128	50000-250000

Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

Por otra parte (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) resaltan a la única condición para el diseño de estos humedales el cual es “mantener una simetría rectangular o cuadrada, que la superficie del humedal tenga una pendiente de 0%”. A continuación, en la siguiente tabla se muestran las principales características de humedal sub superficial de flujo vertical.

Tabla 10 Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo vertical.

Factor		Unidad	Intervalo	Valor usual
Medio Filtrante				
Arena	fina lavada	mm	0.25-0.75	0.35
(secundario)				
Grava fina (primario)		mm	2.00-8.00	2-5mm

Profundidad	cm	45-90	60
Coeficiente uniformidad	%	3-6	<4
Porcentaje finos	%	2-5	<4
		<4	<4
Drenaje			
Clase (tubería perforada)			
Tamaño	pulg.	3-4	4
Pendiente	%	0.1-1	0.5
Grava de drenaje	mm	20-40	40
Distribución agua			
Diámetro tubería	pulg.	1-2	1.5
Distancia entre tuberías	m	0.5-1.2	0.6
Orificio distribución	mm	3-8	6
Distancia entre orificios	m	0.5-1.2	0.6
Parámetros de diseño			
Carga hidráulica	$l/m^2 * d$	40-60	50<0.005
Carga Orgánica	$kg DBO \frac{l}{m^2} * d$	0.0025-0.01	
Dosificación			
Frecuencia	veces/día	4-24	12
Volumen/orificio	$l / orif * dosis$	0.6-1.1	0.9
Tiempo de aplicación	minutos	2-5	5

Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) añaden que en el diseño hidráulico, se tiene que tener en cuenta “el diseño de las tuberías de aplicación de agua, potencia de bomba, el diseño de la red de tuberías de drenaje, tiempo de operación y aplicación de las aguas residuales al humedal” (Pág. 38).

2.2.1.3. *Operación y Mantenimiento de Humedales Sub Superficiales de Flujo Vertical*

(Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011) indican lo siguiente:

- Los humedales Subsuperficiales de Flujo vertical (HFV) necesitan más de operación y mantenimiento en comparación a los de flujo horizontal. Teniéndose que realizar las siguientes actividades de operación y mantenimiento:
- Para este tipo de Humedales es muy importante la distribución homogénea del efluente pre-tratado en toda el área, esto debe de ser controlado muy sigilosamente. Se deben considerar Válvulas antes de la distribución de las tuberías y las tapas removibles al final pues permitirán la limpieza de las tuberías durante la etapa de Bombeo. Si el lecho filtrante o una parte de él se vea afectado por alguna obstrucción y necesite, las válvulas se pueden cerrar. (Pág. 30)
- Se debe implementar las bombas o sifones para que puedan soportar y realizar los intervalos de alimentación de las aguas residuales. No obstante, si se tiene una producción de aguas residuales grises constantes puede ser diseñado sin bomba o sifón. (Pág. 30)
- “La superficie debe de tener la posibilidad de secarse entre cada carga de aguas residuales”. (Pág. 30)
- Se deben tomar cartas en el asunto inmediatas cuando se presencie alguna ocurrencia de obstrucción. El Humedal de flujo vertical puede recuperarse muy bien después de un “período de descanso de dos semanas en el que el lecho filtrante se seque”. Pero, en zonas de clima frío que presentan temperaturas bajas y ciertos periodos de congelación (0-8 ° C) el humedal no podrá recuperarse tan rápidamente. Es por eso que en estas zonas de frio se deben diseñar con mayores dimensiones. (Pág. 30)

- Es recomendable sobrecargar una de las partes del lecho filtrante con la finalidad de dejar reposar la otra parte a tener que esperar a que el sistema completo se recupere. (Platzer y Mauch, 1997) citado por (Hoffmann, Platzer, Winker, & Von Muench, 2011) menciona que “Una vez obstruido, el sistema no se puede recuperar, sin periodos de descanso. Se ha demostrado que el HFV puede recuperar casi por completo su eficacia después de largos períodos de reposo”. Es muy indispensable este tiempo de descanso para secar en su totalidad la capa de tapado y este tiempo sea lo más reducido como tres semanas en clima seco y soleado a cerca de seis meses en clima frío y húmedo (Pág. 30).

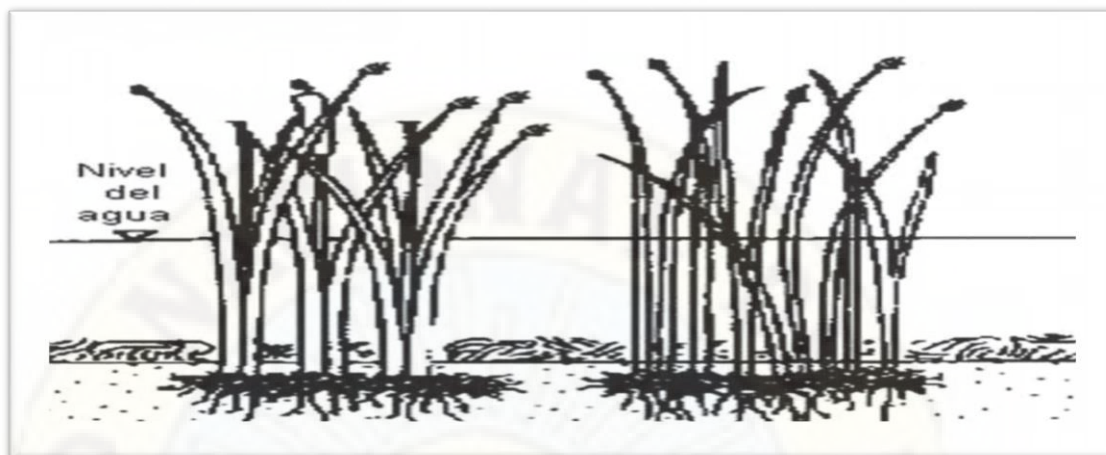
2.2.1.4. *Planta fitodepuradora: La Tatora:*

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), definen a la totora (*Scirpus californicus*), como una de las macrófitas más resaltantes y propaladas en nuestro medio. A la vez el citado autor indica que esta especie fue traída del Lago Titicaca a la Laguna Alalay, y actualmente es parte de la flora de esta laguna (...). Esta macrófita, constituye una amplia clase de plantas fitodepuradoras usadas en los sistemas “no convencionales de depuración de aguas residuales” (Pág. 21).

Características generales de la totora

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) mencionan que las plantas usadas en los humedales de flujo subsuperficial vienen a ser las helófitas y en particular la totora. La helófitas según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), son plantas que se han adaptado a condiciones de saturación de humedad e inundación, pero el agua no debe cubrirlas por completo tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6 Plantas Heliolitas en medio acuático



Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) mencionan que estos humedales soportan una fuerte escasez en la disponibilidad de oxígeno (O₂) en el suelo. Estas plantas estarán comprendidas de manera que una parte debajo del nivel del agua, y otra parte aérea (Pág 21-22).

(Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) resalta que “El papel de las helófitas en los humedales artificiales se resume en los siguientes aspectos”: (Pág 21-22)

- (Valdés *et al.*, 2005), citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) menciona que las helófitas sirven de filtro para ser más eficiente en los procesos físicos que servirán para la apartar las partículas.
- (Lahora Cano, 2004). Citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) menciona que es la encargada de asimilar de forma directa los nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son extraídos del medio e integrarse al tejido vegetal.
- (Valdés *et al.*, 2005) Citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que actúa en forma de soporte para el crecimiento de las biopelículas (de microorganismos), que actúan de depurando el agua a través de los procesos aerobios de descomposición.
- (Lahora Cano, 2004) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que una de los aspectos de las helófitas es “Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos”.

2.3. Bases conceptuales

- Humedal artificial vertical

Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios

- Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales

Proceso mediante el cual el efluente pasara a ser tratado por el Humedal Artificial y es ahí donde se llevará a cabo diferentes procesos físico químicos y biológicos con la finalidad de remover parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

2.4. Definición de términos

- a) **Aerobios.** - Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), se conoce a *aerobios* a aquellos organismos que requieren del oxígeno diatómico para subsistir a los diferentes procesos que lo soliciten para poder incrementarse (Pág. 99)
- b) **Afluente.** - Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), Vienen a ser las Aguas residuales crudas o brutas que se originan de la red de alcantarillado y realizan su ingreso a una planta de tratamiento (Pág. 99).
- c) **Agar.** - Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), Viene a ser el Gel constituido por hidratos de Carbono, este gel es usado como medio de cultivo para las bacterias, ya que no se van a disolver a causa de las sales, ni se tampoco van a ser consumidos por la una gran parte de los microorganismos (Pág. 99).
- d) **Anaerobios.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que se denomina *anaerobios* a los organismos que no requieren oxígeno (O₂) para subsistir como tampoco para su desarrollo, esto es lo que les diferencia de los organismos aerobios (Pág. 99).

- e) **Coliformes fecales.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) menciona que son las bacterias que se ubican en gran cantidad en el intestino del hombre. También representan como indicador de contaminación microbiológica de las aguas. (Pág. 100).
- f) **DBO5.-** (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) refrenda que la Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, viene a ser la cuantificación del oxígeno requerido en la oxidación del material carbonoso en una muestra de agua, por la población microbiana, ello en el periodo cinco días de incubación y a una temperatura de 20 °C (Pág. 100).
- g) **Decantación.** - Menciona (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) que la decantación es el proceso de separación del líquido y un sólido insoluble (el cual puede disolverse) en él, o de dos líquidos no miscibles (que no se pueden mezclar), y de esa forma se aprovecha los efectos de la gravedad (Pág. 101).
- h) **Degradación.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) lo describe como “la transformación de sustancias complejas en otras sustancias más sencillas” (Pág. 101).
- i) **Densidad.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que “Masa de un cuerpo por unidad de volumen” (Pág. 101).
- j) **Efluente.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) resalta que las “Aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales” (Pág. 101).
- k) **Eutrofización.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) menciona que es el desarrollo desmesurado de algas y hierbas sobre el area de una superficie de agua generando un incremento desmesurado del consumo del oxígeno y como consecuencia ello trae que diversos microorganismos no puedan desarrollarse (Pág. 102)
- l) **Filtración.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) refrenda que es “el Proceso de separación de un sólido suspendido en un líquido al hacerlo pasar a través de un medio poroso con un tamaño de poro adecuado” (Pág. 103)
- m) **Flotación.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) Metodo mediante el cual las particulas que son de interes permanecn en la superficie de un solucion la cual presenta una densidad superior (Pág. 103).

- n) **Fotometría.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) lo describe como la medición de la intensidad luminosa de una fuente de luz, o de la cuantificación del flujo luminoso que refleja sobre una superficie (Pág. 103).
- o) **Lodo.** - Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) es el residuo de soporte pastosa, regularmente cargado de agua que se emana del tratamiento de aguas residuales. Tiene la característica de poseer altas concentraciones de materia orgánica (Pág. 105).
- p) **Oxígeno disuelto.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que es la cuantificación de oxígeno que posee el agua, esta expresado en partes por millón o mg/l; vienen a ser un parámetro muy importante ya que es fundamental en la respiración de las bacterias aerobias en el transcurso del proceso de tratamiento de aguas residuales (Pág. 106).
- q) **Patógenos.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) los describe como Todo aquello que puede causar alguna una enfermedad (Pág. 106).
- r) **Retención.** - Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) esta comprendido por la relación que existe entre el volumen del tanque y el caudal afluente, también se le conoce como tiempo de llenado (Pág. 106).
- s) **Sedimentación.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) menciona que la sedimentación es el mecanismo mediante el cual el material sólido, trasladado por corriente de agua, se aglomera en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente con algún fin en específico (Pág. 107).
- t) **Volumetría.** - (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) refrenda que tambien se le denomina valoración química, viene a ser un método químico en el cual se mide la cantidad de una disolución que se necesita para reaccionar precisamente con una diferente disolución de concentración y volumen ya sabidos (Pág. 107).

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Ho: La eficiencia del humedal vertical no es óptima para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica

Ha: La eficiencia del humedal vertical es óptima para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica

2.6. Variables

- Variable independiente Humedal artificial vertical
- Variable dependiente: Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 11.

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Unidad de media
Independiente: Humedal artificial vertical	Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han	El humedal artificial vertical viene a ser un sistema de tratamiento o depuración en el tratamiento de aguas residuales como DBO5, DQO, coliformes, etc. Él se es aplicable en la depuración de aguas residuales vertidas en los camales municipales.	Características del diseño humedal artificial	Caudal de ingreso	Probeta, cronometro	l/día
				Tiempo de retención	Probeta Cronómetro	horas (hr)

	obtenido	son							
	promisorios								
Variable	Proceso mediante el cual el efluente pasara a ser	El tratamiento de aguas residuales del camal	Concentración de materia	Demanda bioquímica de oxígeno	Método de la	mg/l			
Dependiente:	tratado mediante el	municipal, es el	orgánica y	Demanda química de oxígeno	Digestor DBR	mg/l			
Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales	Humedal Artificial y es ahí donde se llevará a cabo diferentes procesos físico químicos y biológicos con la finalidad de remover ciertos parámetros contaminantes.	resultado de la implementación de algún tipo de sistema de depuración para mejorar la calidad del recurso hídrico a donde es vertido, para lo cual uno de estos sistemas viene a ser el humedal artificial vertical.	microbiológica.						
				Coliformes Fecales	Número Más Probable (NMP)				

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

El presente proyecto de investigación sobre “Uso de un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, se realizó en el año 2020.

3.1.2. Ámbito espacial

4. El presente proyecto de investigación sobre “Uso de un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, se realizó en la localidad de Chuñuranra en donde se encuentra funcionando actualmente el Camal Municipal de Huancavelica.

4.1. Tipo de investigación

Niño (2011), menciona que la investigación aplicada busca resolver problemas prácticos, dentro de la aplicación de la ciencia, para lo cual el problema debe estar bien definida.

El presente trabajo de investigación fue de tipo aplicado ya que buscó resolver el problema con respecto a la influencia que tiene el humedal artificial vertical en el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

4.2. Nivel de investigación

Tiene la dirección de llevar a cabo estudios que ocasionan la ocurrencia de un acontecimiento para poder dar una explicación ante las condiciones que se llegan a dar por dos o más variables, lo que probó mediante un planteamiento de hipótesis en el ámbito de estudio. Hernández, Fernández y Baptista (2014, pág. 95)

El presente trabajo de investigación fue de nivel explicativo en donde la variable independiente o causa vino a ser el humedal artificial vertical y el efecto que esta causa en el tratamiento de aguas residuales en cuanto a la remoción de DBO, DQO y Coliformes fecales.

4.3. Método de investigación

4.3.1. Método general

El método general que se utilizó para el presente trabajo de investigación fue el **método científico**, debido a que se caracterizó por ser reflexiva, sistemática y metódica; tiene por finalidad obtener conociendo y solucionar problemas científicos. Asimismo, procura obtener información relevante y fidedigna, con el fin de entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento (Quezada, 2015, pág. 21).

El proyecto estuvo orientado al método científico, ya que es el medio mediante el cual obtendremos nuevos conocimientos de manera ordenada, comprobada y sistematizada, respecto a la influencia

4.3.2. Método específico

De acuerdo a Gómez (2002), el método inductivo es un procedimiento sistemático, el cual consiste de obtener resultados generales a partir de casos particulares “es el razonamiento que va de un grado o nivel bajo a un conocimiento de gran envergadura”.

El método específico aplicado fue el método inductivo, el cual nos ayudó a inducir la influencia que tiene el humedal artificial vertical en el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, a partir del estudio de los 29 l/s.

4.4. Diseño de investigación

En síntesis, la investigación es del tipo experimental dentro de esta tipología que para algunos autores como el caso de (Hernandez R. , 2010), quien divide los diseños experimentales en tres clases:

- Pre experimentos,
- experimentos “puros”
- cuasi experimentos.

Teniendo como referencia esta clasificación, nuestro trabajo de investigación se localizó dentro del diseño pre experimental, con pre prueba – pos prueba, el mismo que se efectuó con el uso de un modelo piloto, en la que a un grupo se le aplicó una prueba previa al estímulo (tratamiento experimental), después se le administró el tratamiento y finalmente se le aplicó una prueba posterior al estímulo, según el siguiente modelo:

$$G \rightarrow 01 \rightarrow X \rightarrow 02$$

En el que **G** representa el grupo de muestra de efluente de beneficios de Animales; **(01)**, es el valor referencial inicial del indicador **Y** (variable dependiente), antes del estímulo o tratamiento a través del Humedal artificial **X** (la variable independiente), y posteriormente **(02)** el nivel que alcanzó luego del tratamiento

4.5. Población, muestra y muestreo

4.5.1. Población

La población viene a ser el conjunto o conglomerado de elementos, cosas o seres que comparten características ya sean infinitos o finitos, es así que este pudo ser usado en el conjunto de familias objetos, empresas, personas, elementos etc. También fue denominado como todas las unidades de análisis en los que el trabajo de investigación tuvo intervención en un espacio temporal dado (Valderrama, 2002).

La población estuvo formada por el efluente que vierte el Camal Municipal de la Ciudad de Huancavelica, el cual viene a ser 19500 L/día.

4.5.2. Muestra

La muestra fue considerada como parte representativa de la población valga decir que los componentes que integran esta muestra reflejaron las características de la población a la que hizo referencia esta se halló por medio de un muestreo que contempla medidas de confianza, varianza de los datos y la confiabilidad que esta tiene con respecto a su población a la que quiso inferir (Valderrama, 2002).

Para este trabajo de investigación se tomó como muestra un volumen de 29 litros del agua residual a ser analizado a la entrada y salida del Humedal artificial.

4.5.3. Muestreo

Según Niño (2011), el muestreo no probabilístico por conveniencia busca acceder a muestras de manera intencional en base a un criterio el cual sea conveniente para el estudio.

El muestreo se realizó dos veces por semana por el periodo de dos meses de la demanda bioquímica de oxígeno DBO, demanda química de oxígeno DQO y coliformes.

3.4.3.1 Construcción del humedal artificial de flujo superficial vertical:

Debe tenerse en cuenta según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) lo siguiente:

- Reconocimiento del terreno.
- Estudios geotécnicos.
- Desmonte.
- Levantamiento topográfico y replanteo.
- Toma de energía eléctrica.
- Construcción del dique de contención.
- Construcción de cámaras de registro (de entrada y salida).
- Construcción de casetas de bombeo.
- Impermeabilización del dique (fosa o embalse) de contención.
- Ensamblado del sistema de drenaje o colección.
- Llenado de gravas y/o arena.
- Ensamblado del sistema de aplicación.

3.4.3.2 Muestreo de Humedal Subsuperficial Vertical

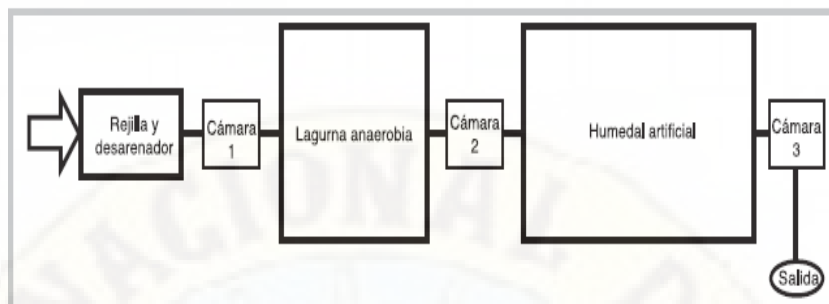
- Selección de parámetros a analizar: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), indica que “Si el destino final del agua residual es el vertido a un cauce natural, los parámetros mínimos a ser analizados son el pH, los sólidos totales, los sólidos suspendidos, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno, el nitrógeno como amonio y los coliformes termotolerantes”. Siendo para conocido que las aguas tratadas por el camal municipal de Huancavelica son vertidas de forma directa al río Ichu, es por ello que el presente trabajo se centra en la medición de DBO, DQO y Coliformes Fecales (este parámetro se elige a raíz que el camal municipal realiza el beneficio de animales siendo más probable la existencia en mayores cantidades de Coliformes Fecales)
- Localización de los puntos de muestreo

(Tapias 2008) citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), menciona que los fundamentales aspectos para concretizar la ubicación de los puntos de muestreo son: (Pág. 47)

- a) la posible heterogeneidad espacial
- b) la accesibilidad
- c) la posibilidad de medición de caudales

Así mismo (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), mencionan que al ser plantas de tratamiento de aguas residuales de instalaciones evidentemente construidas, es de poca probabilidad lograr una gran heterogeneidad entre el toda el área o puntos poco accesibles para el muestreo. Es mucho más común lo dificultoso en la “medición de caudales entre los distintos tratamientos, ya sea por falta de previsión o por un deficiente mantenimiento”.

Figura 1 Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales y sus partes



Nota: por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

En función a lo indicado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) quien menciona como ejemplo a la figura anterior se puede decir que si se desea haber la eficiencia de remoción solamente de la laguna artificial bastara con realizar los muestreos en la cámara de inspección 1 y cámara de inspección 2 de esta forma se recopilaran los datos necesarios para la remoción de contaminantes, y finalmente el punto de muestreo vendría a ser en el punto de salida o en la cámara de inspección N° 3. (Pág. 48).

- Tipos de muestreo: Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica que son diferentes los criterios que se adoptan los cuales para elegir un tipo de muestreo. Existen tres tipos básicos: (Pág. 48)
 - muestra simple
 - muestra compuesta
 - muestra integrada
- Recolección de agua residual: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) indica cuatro aspectos a tener en consideración:
 - a) El recipiente debe enjuagarse dos veces con la muestra
 - b) Evitar tomar agua de la orilla
 - c) Tomar la muestra por debajo de la superficie del agua y sin tocar sedimentos
 - d) Si existe flujo, tomar la muestra enfrentándolo con la boca del recipiente.
- Cantidad de muestra: (Tapias, 2008). Citado por (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) menciona que, para realizar el análisis en laboratorio de las aguas residuales y efluentes, generalmente es necesario un volumen final de muestra de 2 a 3 litros. Sin embargo, para ciertos parámetros puede

ser necesario un volumen mayor de muestra. Y si es el caso de pruebas químicas, bacteriológicas y microscópicas se tuvo que realizar las tomas de muestras por separado pues cada parámetro tiene una característica única en cuanto a la recolección y manejo de las mismas. Continuamente se recolecto un volumen de muestra suficiente en el recipiente propicio de acuerdo a lo establecido en cada metodología de análisis por parámetro.

- Procedimiento de etiquetado y registro: Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) la información mínima que se incluyó en el etiquetado se describe a continuación:
 - Número de muestra.
 - Fecha.
 - Código de la muestra.
 - Hora del muestreo.
 - Número o identificación del punto de muestreo.
 - Código de los parámetros a analizar.
- Conservación y almacenamiento de muestras: Según (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) realiza las siguientes consideraciones:
 - Conservar el agua a 4°C mediante cooler con ICE Pack. El agua en estas condiciones se mantiene alrededor de 36 horas.
 - Añadir pereservantes de acuerdo a lo requerido por cada parámetro, evitando así la acción de los agentes degradantes.
 - Se recomienda usar botellas ámbar a manera de protección de la acción directa de la luz solar.

Tabla 12 Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras.

Determinación	Recipiente	Vol mínimo de muestra (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Almacenamiento máximo
Cloruros	P,V	50	S,C	No requiere	28 días
Conductividad	P,V	500	S,C	Refrigerar	28 días
DBO	P,V	1000	S	Refrigerar	48 horas

DQO		P,V	100	S,C	Analizar lo antes posible, o agregar 28 días H2SO4 y refrigerar
Metales general	en	P	500	S,C	Agregar HNO3
Nitrógeno amoniacal		P,V	500	S,C	Analizar lo antes posible, o agregar 28 días H2SO4 y refrigerar
Nitrato		P,V	100	S,C	Analizar lo antes posible, 48 horas o refrigerar
Nitrito		P,V	100	S,C	Analizar lo antes posible, 48 horas o refrigerar
Nitrógeno orgánico Kjeldahí		P,V	500	S,C	Analizar lo antes posible, o agregar 28 días H2SO4 y refrigerar
pH		P,V	50	S	Análisis inmediato
Sólidos		P,V	200	S,C	Refrigerar 2 a 7 días
Salinidad		V	240	S	Análisis inmediato

P = plástico; V = vidrio; S = simple; C = compuesta

Nota: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010)

4.6. Instrumentos y técnicas para recolección de datos

4.6.1. Instrumentos

En la etapa experimental de las aguas residuales del Camal Municipal fueron tratados mediante el Humedal Artificial vertical, el cual permitió recolectar los datos de remoción de los parámetros seleccionados en esta investigación

4.6.2. Técnicas

La observación es necesario para determinar in situ los fenómenos, sujetos, objetos, contenidos, cualidades, comportamientos, interacciones, etcétera. El cual para llevarla a cabo donde de ser planifica y considerada dentro del cronograma de recolección de datos (Niño, 2011, pág. 95).

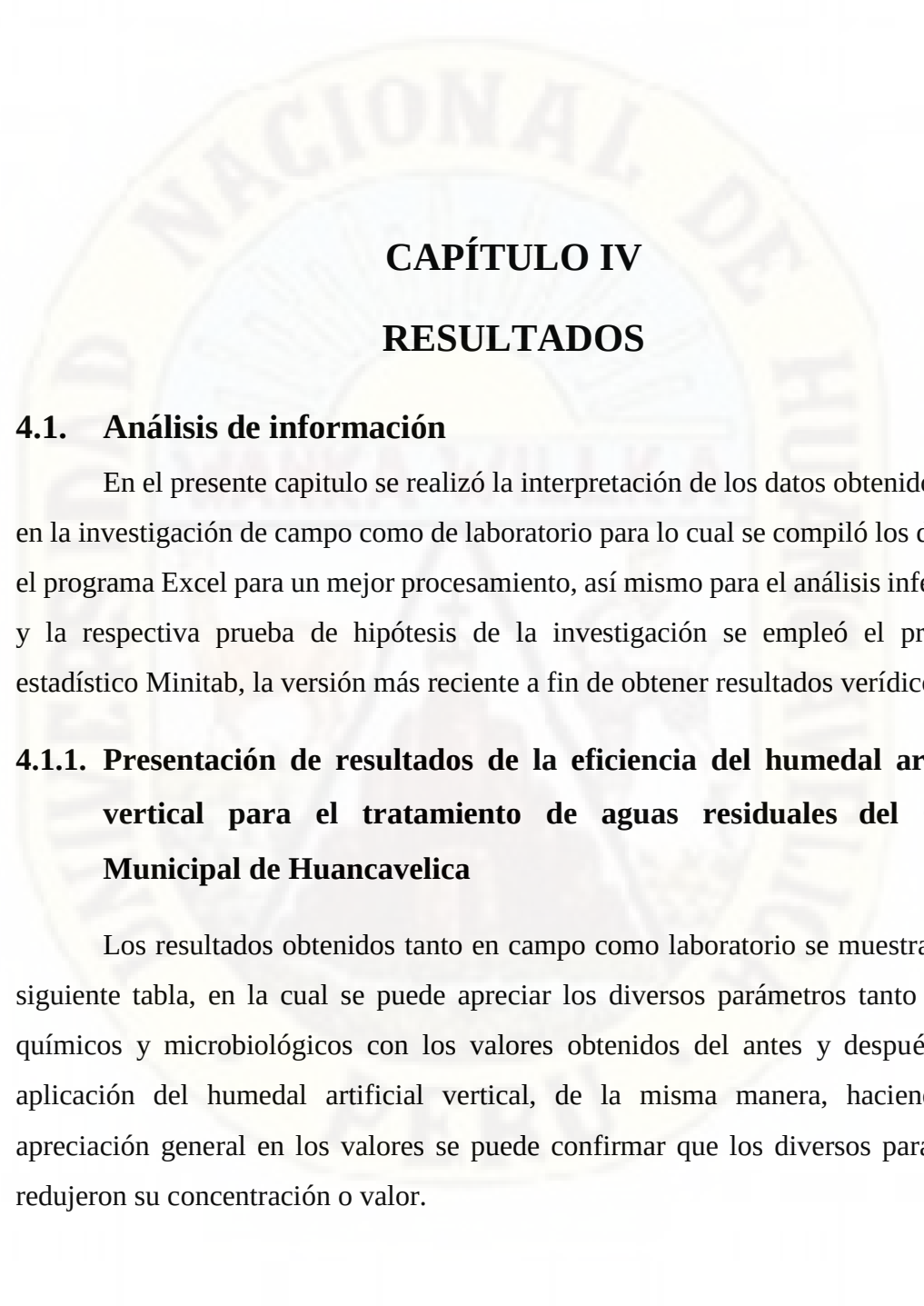
Se usó la técnica de la observación para el cual se realizó el análisis de DBO, DQO y Coliformes del efluente del Camal Municipal, de acuerdo a los protocolos para el análisis de laboratorio de los parámetros mencionados.

4.7. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

De acuerdo a Niño (2011), el procesamiento de implica tener en consideración la organización de datos, codificación y tabulación.

El programa estadístico Minitab que es utilizado por la gran mayoría de investigadores. El Minitab es muy útil para aquellos que requieran desarrollar y analizar base de datos para aplicaciones prácticas u otras necesidades de investigación, la cual ofrece crear vínculos con diversos programas como Microsoft Word, Excel, Point, etc. El cual nos permite analizar datos de gran magnitud a la vez estadísticos muy complejos (Belen & Cabrera, 2010, pág. 16).

El procesamiento de datos se llevó a cabo mediante el Software Minitab, asimismo mediante este software se llevó a cabo el análisis inferencial para aceptar o rechazar la hipótesis planteada por los investigadores de este estudio.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de información

En el presente capítulo se realizó la interpretación de los datos obtenidos tanto en la investigación de campo como de laboratorio para lo cual se compiló los datos en el programa Excel para un mejor procesamiento, así mismo para el análisis inferencial y la respectiva prueba de hipótesis de la investigación se empleó el programa estadístico Minitab, la versión más reciente a fin de obtener resultados verídicos.

4.1.1. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica

Los resultados obtenidos tanto en campo como laboratorio se muestran en la siguiente tabla, en la cual se puede apreciar los diversos parámetros tanto físicos, químicos y microbiológicos con los valores obtenidos del antes y después de la aplicación del humedal artificial vertical, de la misma manera, haciendo una apreciación general en los valores se puede confirmar que los diversos parámetros redujeron su concentración o valor.

Tabla 13.*Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después de la aplicación del humedal artificial*

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS															
Cantidad de muestras	Fecha de muestreo	Q caudal	Parámetros físicos			Parámetros químicos						Parámetros microbiológicos			
			T° ambiental promedio diario	T° de entrada del humedal	T° de salida del humedal	pH entrada	pH salida	DQO entrada	DQO Salida	SST entrada	SST salida	DBO ₅ de entrada	DBO ₅ de salida	coliformes termotolerantes de entrada	coliformes termotolerantes de salida
1	1/04/2021	30	13	13.1	13.8	6.45	7.65	1020	213	929	127	989	110	14892	9894
2	2/04/2021	30	11	12	12.5	6.3	7.50	1120	164	950	126	968	85	13987	8887
3	3/04/2021	30	12	11.9	12.4	6.54	7.74	1120	200	951	143	926	97	13989	8989
4	4/04/2021	30	13.4	13.1	13.9	6.48	7.68	1000	219	869	145	958	109	13879	8879
5	5/04/2021	30	12.9	11.9	12.4	6.05	7.25	1120	186	799	135	913	83	15784	10784
6	6/04/2021	30	12.9	12.8	13.3	6.31	7.51	1006	185	1026	144	920	82	12568	7969
7	7/04/2021	30	11.2	13.1	13.8	6.55	7.75	1010	121	932	162	945	75	16894	8435
8	8/04/2021	30	13	12.9	13.4	6.49	7.69	984	154	883	158	894	66	15982	10982
9	9/04/2021	30	11	14.2	14.8	6.34	7.54	1010	159	849	143	920	63	14986	9986
10	10/04/2021	30	11.5	13.1	14.7	6.33	7.53	975	111	905	130	885	61	12568	7969
11	11/04/2021	30	13.4	13.9	14.9	6.31	7.51	876	104	958	143	914	95	16894	8435
12	12/04/2021	30	13.7	14.1	14.6	6.32	7.52	879	169	867	140	789	66	15687	9908
13	13/04/2021	30	13.2	14.1	14.6	6.48	7.68	957	165	976	146	867	63	15863	9987
14	14/04/2021	30	11.2	13.4	13.9	6.21	7.41	1025	170	883	134	935	67	15321	9968
15	15/04/2021	30	10.5	13.7	14.2	6.37	7.57	1033	200	863	126	943	99	14983	9875
16	16/04/2021	30	12	13.8	14.3	6.42	7.62	1065	160	847	139	990	57	15456	9968
17	17/04/2021	30	12.9	13.7	14.2	6.46	7.66	917	109	882	133	926	62	15012	8598
18	18/04/2021	30	12.9	13.8	14.3	6.5	7.70	915	106	952	132	874	36	13256	8256
19	19/04/2021	30	11.2	13.3	13.8	6.3	7.50	897	105	989	142	807	45	14964	9964

20	20/04/2021	30	13	13.5	14.1	6.33	7.53	968	175	982	144	878	72	15026	10026
21	21/04/2021	30	12.1	13.8	14.3	6.31	7.51	958	135	978	142	868	32	14894	9894
22	22/04/2021	30	11.5	13.7	14.2	6.36	7.56	1095	133	941	145	989	30	13987	8887
23	23/04/2021	30	13.4	12.7	13.2	6.49	7.69	1009	135	931	146	919	43	13989	8989
24	24/04/2021	30	12.9	13.6	14.3	6.51	7.71	1075	141	1002	137	897	38	13879	8879
25	25/04/2021	30	13.7	13.3	13.8	6.34	7.54	989	139	835	138	892	36	15784	10784
26	26/04/2021	30	12.5	13.6	14.1	6.21	7.41	968	126	860	135	869	27	15864	10864
27	27/04/2021	30	13	13.6	14.1	6.31	7.51	1120	114	872	144	985	72	16894	9897
28	28/04/2021	30	11.5	14.2	14.8	6.36	7.56	1000	130	863	149	935	83	15687	10687
29	29/04/2021	30	11.9	13.6	14.2	6.45	7.65	1120	142	950	130	958	95	14986	9986
30	30/04/2021	30	13.4	11.9	12.4	6.55	7.75	1006	111	867	140	874	62	15026	10026
31	1/05/2021	30	12.9	12.8	13.3	6.35	7.55	1010	104	977	144	807	43	14894	9894
32	2/05/2021	30	11.2	12.8	13.3	6.68	7.88	984	169	883	134	878	42	13987	8887
33	3/05/2021	30	13	12.9	13.4	6.72	7.92	1010	165	866	120	868	62	13989	8989
34	4/05/2021	30	12.1	13.7	14.2	6.16	7.36	975	170	847	139	897	62	13879	8879
35	5/05/2021	30	11.5	11.9	12.4	6.22	7.42	876	200	882	133	919	36	15026	10026
36	6/05/2021	30	13.4	12.8	13.3	6.69	7.89	879	160	952	132	866	57	14894	9894
37	7/05/2021	30	12.9	13.1	14.1	6.73	7.93	957	109	989	142	912	99	13987	8887
38	8/05/2021	30	11.2	12.9	13.4	6.39	7.59	1025	106	863	149	945	63	13989	8989
39	9/05/2021	30	13	14.1	14.6	6.28	7.48	1033	105	950	130	975	62	13879	8879
40	10/05/2021	30	12.1	13.1	13.6	6.35	7.55	1065	175	867	140	990	36	15784	10784
41	11/05/2021	30	11.5	12.8	14.3	6.2	7.4	917	135	977	144	926	42	15864	10864
42	12/05/2021	30	13.4	12.9	14.1	6.51	7.71	915	133	883	134	874	45	16894	9897
43	13/05/2021	30	12.9	13.8	14.3	6.25	7.45	987	135	866	120	807	39	15687	10687
44	14/05/2021	30	13.7	13.2	14.8	6.75	7.95	968	141	847	139	878	40	14986	9986
45	15/05/2021	30	12.5	13.6	14.6	6.54	7.78	1035	139	845	144	868	82	15864	10864

4.1.2. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros físicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica

Los resultados de los parámetros físicos que se evaluaron en el sistema del humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales generadas por el camal municipal de Huancavelica se muestran en la siguiente estructura:

4.1.2.1. Resultados de la temperatura de entrada y salida del humedal artificial

En cuanto a la temperatura tanto en la entrada como en la salida del humedal artificial medida en diferentes fechas de muestreo se presentan los siguientes resultados obtenidos en la medición de campo.

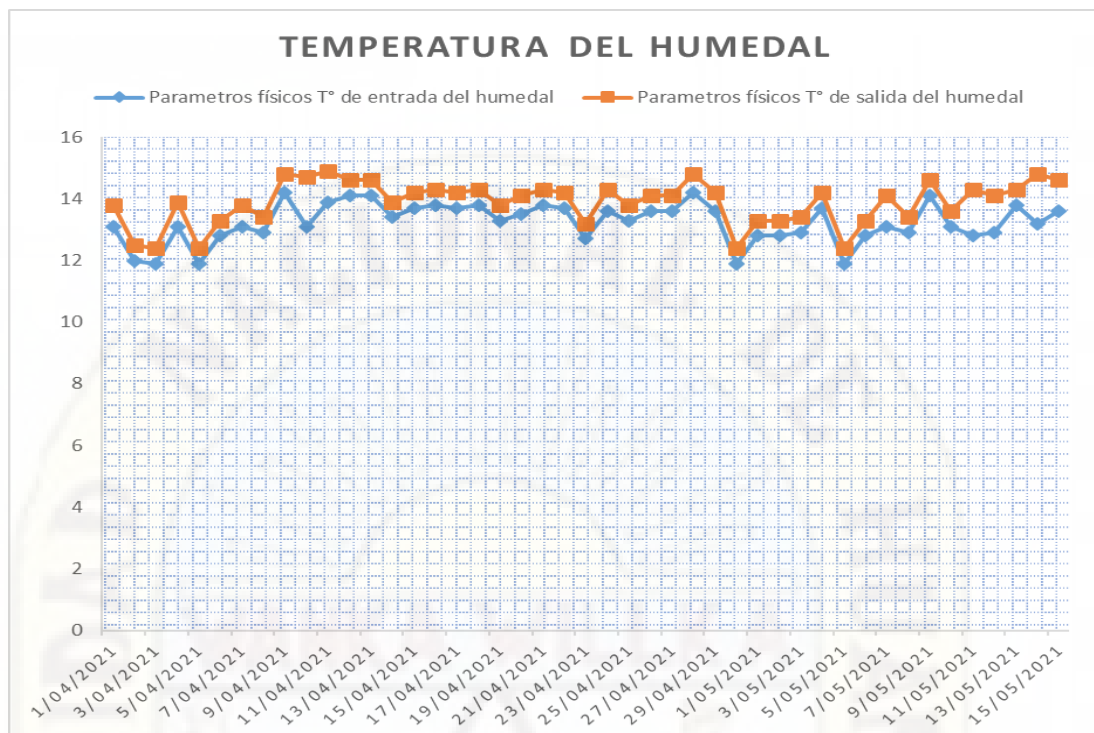
Tabla 14.

Resultados de la temperatura de entrada y salida del humedal artificial

Cantidad de muestras	Fecha de muestreo	Parámetros físicos		
		Q caudal	T° de entrada del humedal	T° de salida del humedal
1	1/04/2021	30	13.1	13.8
2	2/04/2021	30	12	12.5
3	3/04/2021	30	11.9	12.4
4	4/04/2021	30	13.1	13.9
5	5/04/2021	30	11.9	12.4
6	6/04/2021	30	12.8	13.3
7	7/04/2021	30	13.1	13.8
8	8/04/2021	30	12.9	13.4
9	9/04/2021	30	14.2	14.8
10	10/04/2021	30	13.1	14.7
11	11/04/2021	30	13.9	14.9
12	12/04/2021	30	14.1	14.6
13	13/04/2021	30	14.1	14.6
14	14/04/2021	30	13.4	13.9
15	15/04/2021	30	13.7	14.2
16	16/04/2021	30	13.8	14.3
17	17/04/2021	30	13.7	14.2
18	18/04/2021	30	13.8	14.3
19	19/04/2021	30	13.3	13.8
20	20/04/2021	30	13.5	14.1
21	21/04/2021	30	13.8	14.3
22	22/04/2021	30	13.7	14.2

23	23/04/2021	30	12.7	13.2
24	24/04/2021	30	13.6	14.3
25	25/04/2021	30	13.3	13.8
26	26/04/2021	30	13.6	14.1
27	27/04/2021	30	13.6	14.1
28	28/04/2021	30	14.2	14.8
29	29/04/2021	30	13.6	14.2
30	30/04/2021	30	11.9	12.4
31	1/05/2021	30	12.8	13.3
32	2/05/2021	30	12.8	13.3
33	3/05/2021	30	12.9	13.4
34	4/05/2021	30	13.7	14.2
35	5/05/2021	30	11.9	12.4
36	6/05/2021	30	12.8	13.3
37	7/05/2021	30	13.1	14.1
38	8/05/2021	30	12.9	13.4
39	9/05/2021	30	14.1	14.6
40	10/05/2021	30	13.1	13.6
41	11/05/2021	30	12.8	14.3
42	12/05/2021	30	12.9	14.1
43	13/05/2021	30	13.8	14.3
44	14/05/2021	30	13.2	14.8
45	15/05/2021	30	13.6	14.6

Nota: Elaboración propia



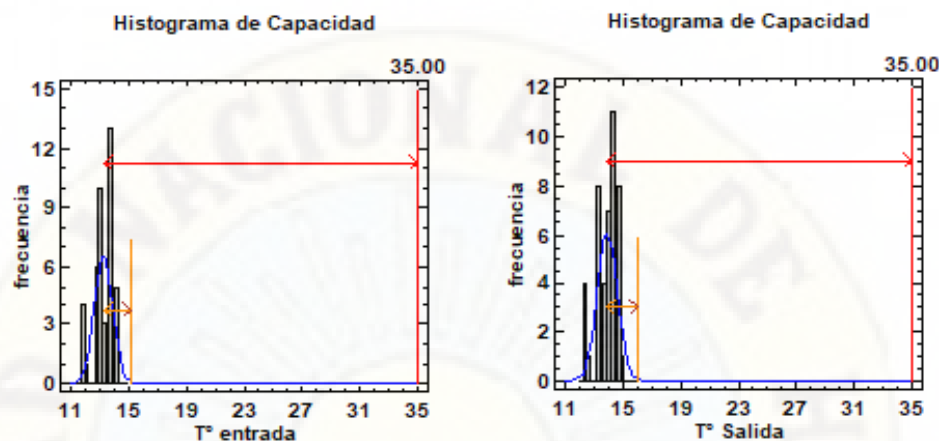
Nota: Elaboración propia

Interpretación:

Tal y como se puede apreciar en la tabla y figura de los resultados obtenidos para el parámetro de la temperatura, se observa que la temperatura en la zona de entrada obtuvo valores menores a 15 °C, de la misma manera en la zona de salida en donde se aprecian que los valores obtenidos son menores en cada uno de los puntos a diferencia de los valores en la entrada, en comparación con el límite permitido del pH, tanto los valores de entrada como salida no superan los valores establecidos ya que son mejores a 35 °C.

Figura 2. Comparación de resultados de la temperatura en la entrada y salida del humedal artificial

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA TEMPERATURA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL



Nota: Elaboración propia

Interpretación:

Como se puede apreciar en la figura sobre la temperatura del humedal artificial vertical, se evidencia que existe una diferencia mínima en la reducción de la temperatura del caudal en la salida después del tratamiento con el humedal artificial.

4.1.3. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros químicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica

Sobre los resultados de los parámetros químicos que se evaluaron tanto en la entrada como salida del humedal artificial, a continuación, se pueden apreciar los resultados de los parámetros de pH, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales suspendidos (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

4.1.3.1. Resultados del potencial de Hidrógeno (pH) en la entrada y salida del humedal artificial

Sobre el potencial de Hidrógeno (pH), evaluados en los puntos de entrada y salida del humedal artificial vertical se presentan los siguientes resultados obtenidos mediante un análisis adecuado.

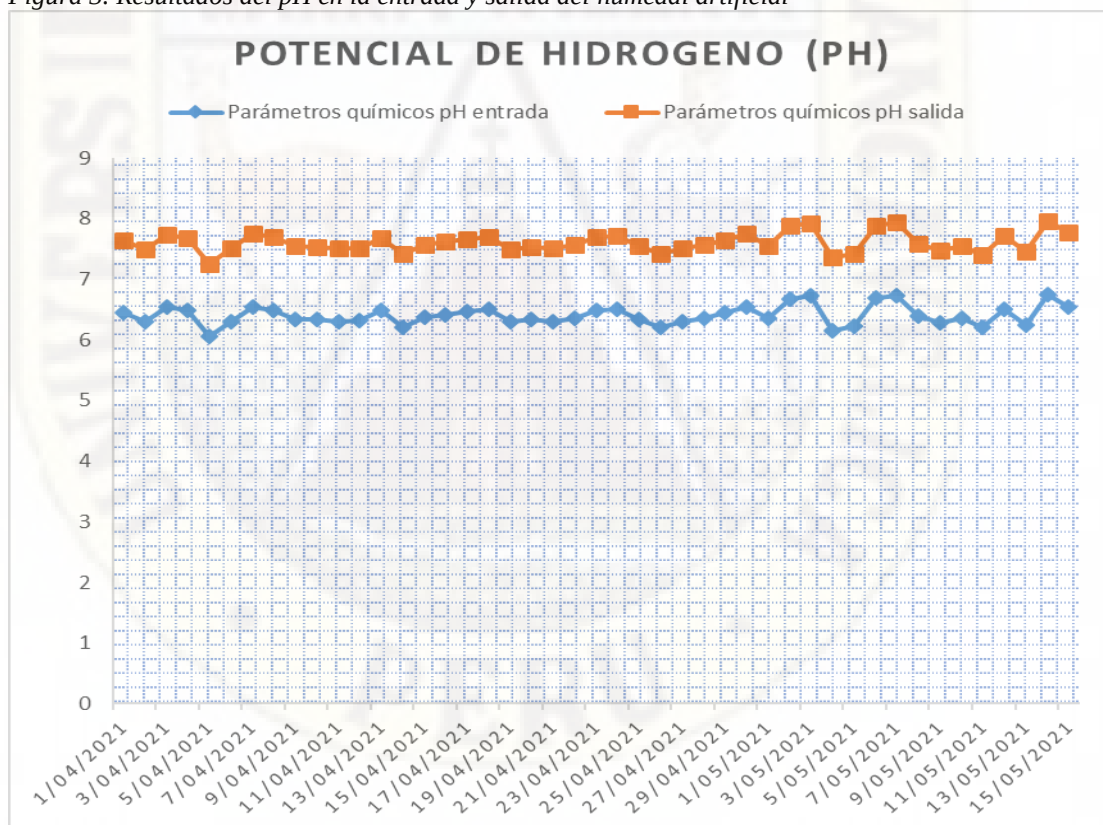
Tabla 15.*Resultados del pH de la entrada y salida del humedal artificial*

Cantidad de muestras	Fecha de muestreo	Caudal	Parámetros químicos	
			pH entrada	pH salida
1	1/04/2021	30	6.45	7.65
2	2/04/2021	30	6.3	7.50
3	3/04/2021	30	6.54	7.74
4	4/04/2021	30	6.48	7.68
5	5/04/2021	30	6.05	7.25
6	6/04/2021	30	6.31	7.51
7	7/04/2021	30	6.55	7.75
8	8/04/2021	30	6.49	7.69
9	9/04/2021	30	6.34	7.54
10	10/04/2021	30	6.33	7.53
11	11/04/2021	30	6.31	7.51
12	12/04/2021	30	6.32	7.52
13	13/04/2021	30	6.48	7.68
14	14/04/2021	30	6.21	7.41
15	15/04/2021	30	6.37	7.57
16	16/04/2021	30	6.42	7.62
17	17/04/2021	30	6.46	7.66
18	18/04/2021	30	6.5	7.70
19	19/04/2021	30	6.3	7.50
20	20/04/2021	30	6.33	7.53
21	21/04/2021	30	6.31	7.51
22	22/04/2021	30	6.36	7.56
23	23/04/2021	30	6.49	7.69
24	24/04/2021	30	6.51	7.71
25	25/04/2021	30	6.34	7.54
26	26/04/2021	30	6.21	7.41
27	27/04/2021	30	6.31	7.51
28	28/04/2021	30	6.36	7.56
29	29/04/2021	30	6.45	7.65
30	30/04/2021	30	6.55	7.75
31	1/05/2021	30	6.35	7.55
32	2/05/2021	30	6.68	7.88
33	3/05/2021	30	6.72	7.92
34	4/05/2021	30	6.16	7.36

35	5/05/2021	30	6.22	7.42
36	6/05/2021	30	6.69	7.89
37	7/05/2021	30	6.73	7.93
38	8/05/2021	30	6.39	7.59
39	9/05/2021	30	6.28	7.48
40	10/05/2021	30	6.35	7.55
41	11/05/2021	30	6.2	7.4
42	12/05/2021	30	6.51	7.71
43	13/05/2021	30	6.25	7.45
44	14/05/2021	30	6.75	7.95
45	15/05/2021	30	6.54	7.78

Nota: Elaboración propia

Figura 3. Resultados del pH en la entrada y salida del humedal artificial



Nota: Elaboración propia

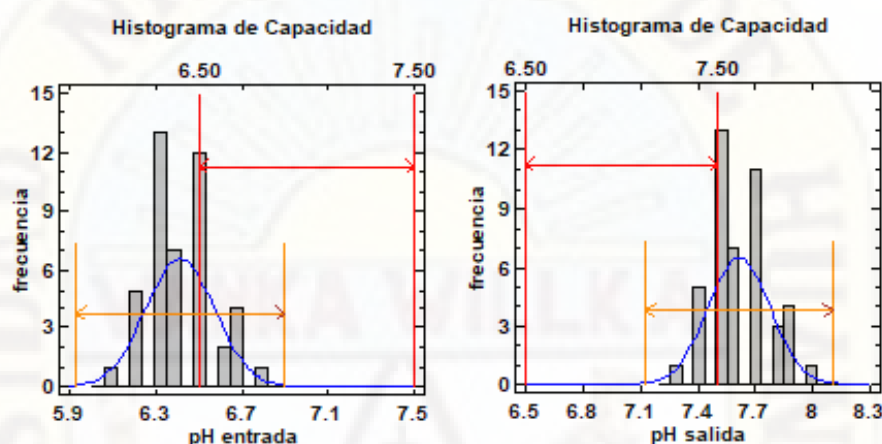
Interpretación:

El parámetro del potencial de hidrógeno (pH), como se aprecia en la tabla y figura el pH en la zona de entrada antes del tratamiento con el humedal artificial los valores obtenidos son mayores a 6.03 y menores a 6.75, así mismo en la zona de salida

del humedal artificial el valor máximo fue de 7.95 y el valor mínimo fue 7.41, interpretando que en antes de la zona de entrada el pH es ligeramente ácido y después del tratamiento el pH es ligeramente alcalino.

Figura 4. Comparación de resultados del pH en la entrada y salida del humedal artificial

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL pH DE ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL



Nota: Elaboración propia

Interpretación:

En cuanto a la comparación del potencial de Hidrógeno en los puntos de entrada y salida del humedal artificial se puede apreciar una ligera variación en el cual el agua pasa de ser ligeramente ácido a ser ligeramente alcalino.

4.1.3.2. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la entrada y salida del humedal artificial

El parámetro de la demanda química de oxígeno (DQO), evaluados en los puntos de entrada y salida del humedal artificial, se presentan los siguientes resultados evaluados:

Tabla 16.

Resultados de la DBO de la entrada y salida del humedal artificial

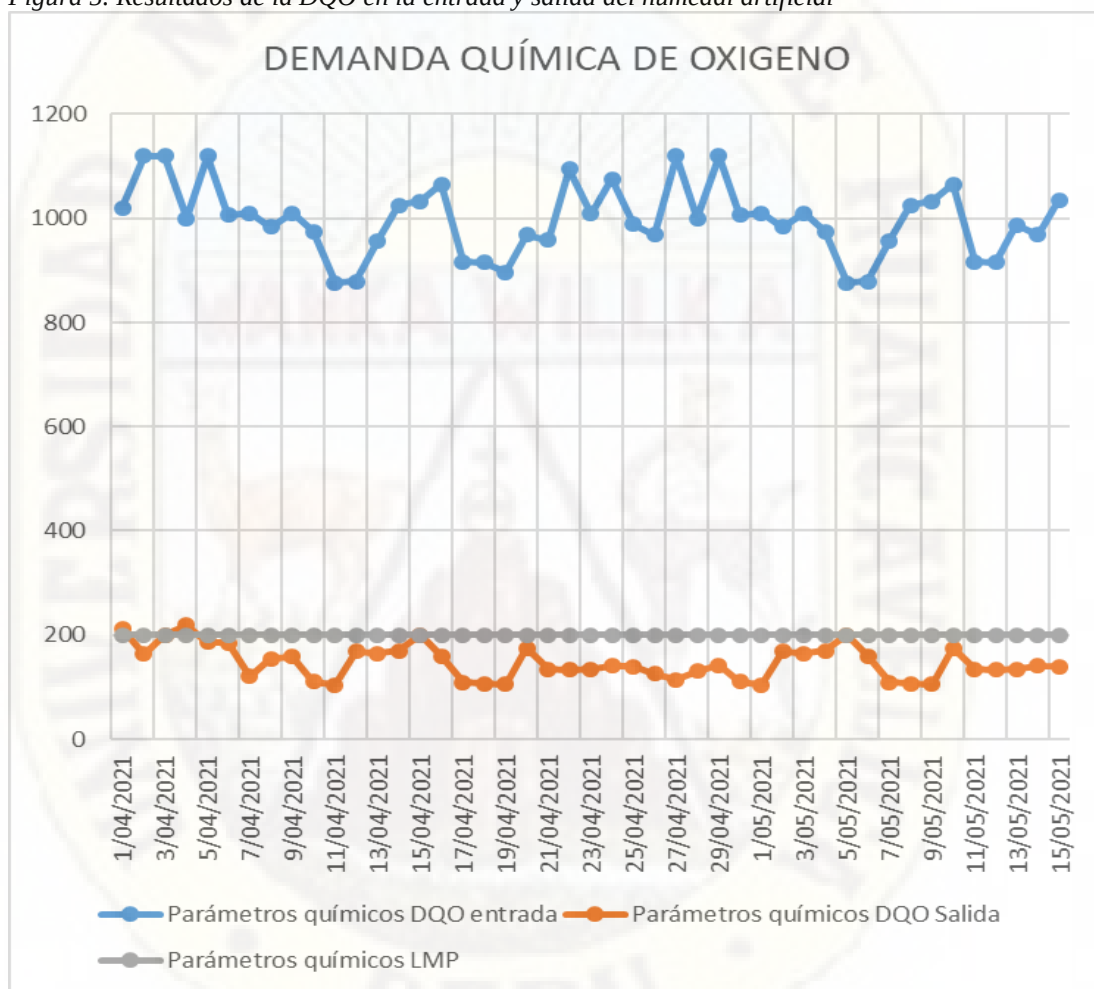
Cantidad de muestras	Fecha de muestreo	LMP	Parámetros químicos	
			DQO entrada	DQO Salida
1	1/04/2021	200	1020	213
2	2/04/2021	200	1120	164
3	3/04/2021	200	1120	200

4	4/04/2021	200	1000	219
5	5/04/2021	200	1120	186
6	6/04/2021	200	1006	185
7	7/04/2021	200	1010	121
8	8/04/2021	200	984	154
9	9/04/2021	200	1010	159
10	10/04/2021	200	975	111
11	11/04/2021	200	876	104
12	12/04/2021	200	879	169
13	13/04/2021	200	957	165
14	14/04/2021	200	1025	170
15	15/04/2021	200	1033	200
16	16/04/2021	200	1065	160
17	17/04/2021	200	917	109
18	18/04/2021	200	915	106
19	19/04/2021	200	897	105
20	20/04/2021	200	968	175
21	21/04/2021	200	958	135
22	22/04/2021	200	1095	133
23	23/04/2021	200	1009	135
24	24/04/2021	200	1075	141
25	25/04/2021	200	989	139
26	26/04/2021	200	968	126
27	27/04/2021	200	1120	114
28	28/04/2021	200	1000	130
29	29/04/2021	200	1120	142
30	30/04/2021	200	1006	111
31	1/05/2021	200	1010	104
32	2/05/2021	200	984	169
33	3/05/2021	200	1010	165
34	4/05/2021	200	975	170
35	5/05/2021	200	876	200
36	6/05/2021	200	879	160
37	7/05/2021	200	957	109
38	8/05/2021	200	1025	106
39	9/05/2021	200	1033	105
40	10/05/2021	200	1065	175
41	11/05/2021	200	917	135

42	12/05/2021	200	915	133
43	13/05/2021	200	987	135
44	14/05/2021	200	968	141
45	15/05/2021	200	1035	139

Nota: Elaboración propia

Figura 5. Resultados de la DQO en la entrada y salida del humedal artificial



Nota: Elaboración propia

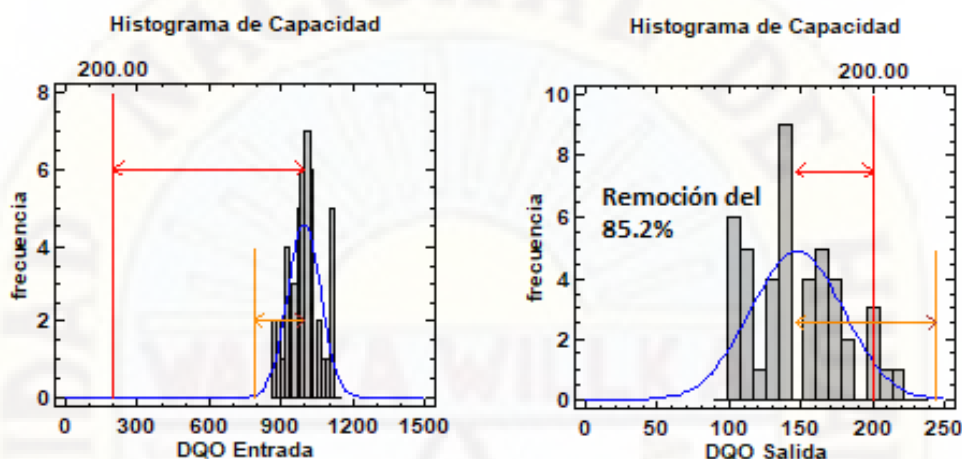
Interpretación:

Sobre el parámetro químico de la demanda química del oxígeno (DQO), se aprecian que el valor máximo obtenido en la zona de entrada fue de 1120 y el valor mínimo fue 876, pero en la zona de salida el valor máximo obtenido fue 219 y el

mínimo fue 104, y en comparación con los límites máximos permitidos cuyo valor es 200 se aprecia que los valores redujeron considerablemente.

Figura 6. Comparación de resultados de la DBO en la entrada y salida del humedal artificial

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA DQO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL



Nota: Elaboración propia

Interpretación:

Sobre la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los puntos de entrada y salida del humedal artificial vertical, se puede apreciar en el gráfico de comparación que hay una variación moderadamente alta encontrando un porcentaje de remoción del 85.2%.

4.1.3.3. Resultados de los Solidos Totales en suspensión (SST) en la entrada y salida del humedal artificial

Los resultados obtenidos para el parámetro de solidos totales en suspensión (SST), se advierte en la siguiente tabla y figura los valores obtenidos en cada punto de muestreo de la investigación.

Tabla 17.

Resultados de los sólidos totales en suspensión de entrada y salida del humedal artificial

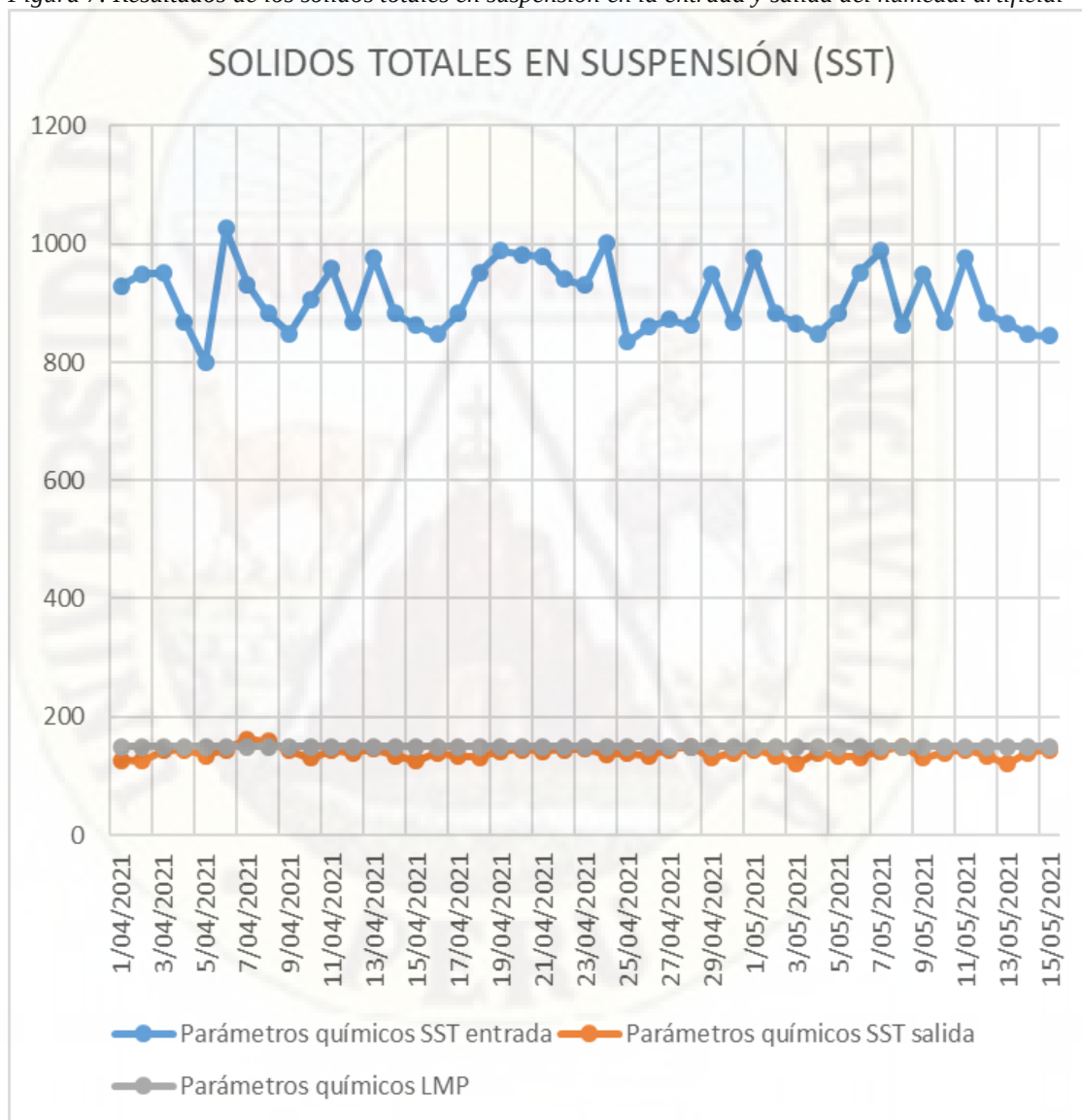
Cantidad de muestras	Fecha de muestreo	LMP	Parámetros químicos	
			SST entrada	SST salida
1	1/04/2021	150	929	127
2	2/04/2021	150	950	126
3	3/04/2021	150	951	143

4	4/04/2021	150	869	145
5	5/04/2021	150	799	135
6	6/04/2021	150	1026	144
7	7/04/2021	150	932	162
8	8/04/2021	150	883	158
9	9/04/2021	150	849	143
10	10/04/2021	150	905	130
11	11/04/2021	150	958	143
12	12/04/2021	150	867	140
13	13/04/2021	150	976	146
14	14/04/2021	150	883	134
15	15/04/2021	150	863	126
16	16/04/2021	150	847	139
17	17/04/2021	150	882	133
18	18/04/2021	150	952	132
19	19/04/2021	150	989	142
20	20/04/2021	150	982	144
21	21/04/2021	150	978	142
22	22/04/2021	150	941	145
23	23/04/2021	150	931	146
24	24/04/2021	150	1002	137
25	25/04/2021	150	835	138
26	26/04/2021	150	860	135
27	27/04/2021	150	872	144
28	28/04/2021	150	863	149
29	29/04/2021	150	950	130
30	30/04/2021	150	867	140
31	1/05/2021	150	977	144
32	2/05/2021	150	883	134
33	3/05/2021	150	866	120
34	4/05/2021	150	847	139
35	5/05/2021	150	882	133
36	6/05/2021	150	952	132
37	7/05/2021	150	989	142
38	8/05/2021	150	863	149
39	9/05/2021	150	950	130
40	10/05/2021	150	867	140
41	11/05/2021	150	977	144

42	12/05/2021	150	883	134
43	13/05/2021	150	866	120
44	14/05/2021	150	847	139
45	15/05/2021	150	845	144

Nota: Elaboración propia

Figura 7. Resultados de los sólidos totales en suspensión en la entrada y salida del humedal artificial



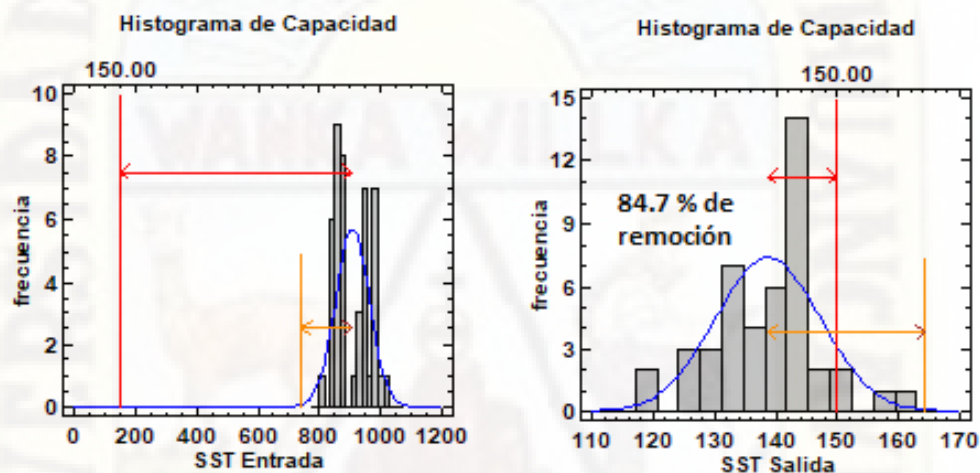
Nota: Elaboración propia

Interpretación:

En cuanto al parámetro de los sólidos totales en suspensión (SST), tal y como se puede apreciar en la tabla y figura en la zona de entrada el máximo valor obtenido fue 1026 y el mínimo valor fue 831, en cuanto a la zona de salida el valor máximo fue de 162 y el valor mínimo fue 120, que en comparación con los límites máximos permisibles que fue 150 entonces se puede referir que los valores obtenidos la gran mayoría se encuentra dentro de los límites establecidos.

Figura 8. Comparación de resultados de los SST en la entrada y salida del humedal artificial

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS SST EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL



Nota: Elaboración propia

Interpretación:

Como se puede apreciar en el gráfico de comparación sobre los sólidos totales en suspensión (SST) tanto en los puntos de entrada y salida se puede apreciar que la aplicación del humedal artificial vertical es eficiente ya que se puede remover el 84.7% de este parámetro en el caudal de salida.

4.1.3.4. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en la entrada y salida del humedal artificial

Sobre los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) tanto en los puntos de entrada y salida del humedal artificial, se puede apreciar los valores obtenidos en la siguiente tabla y figura:

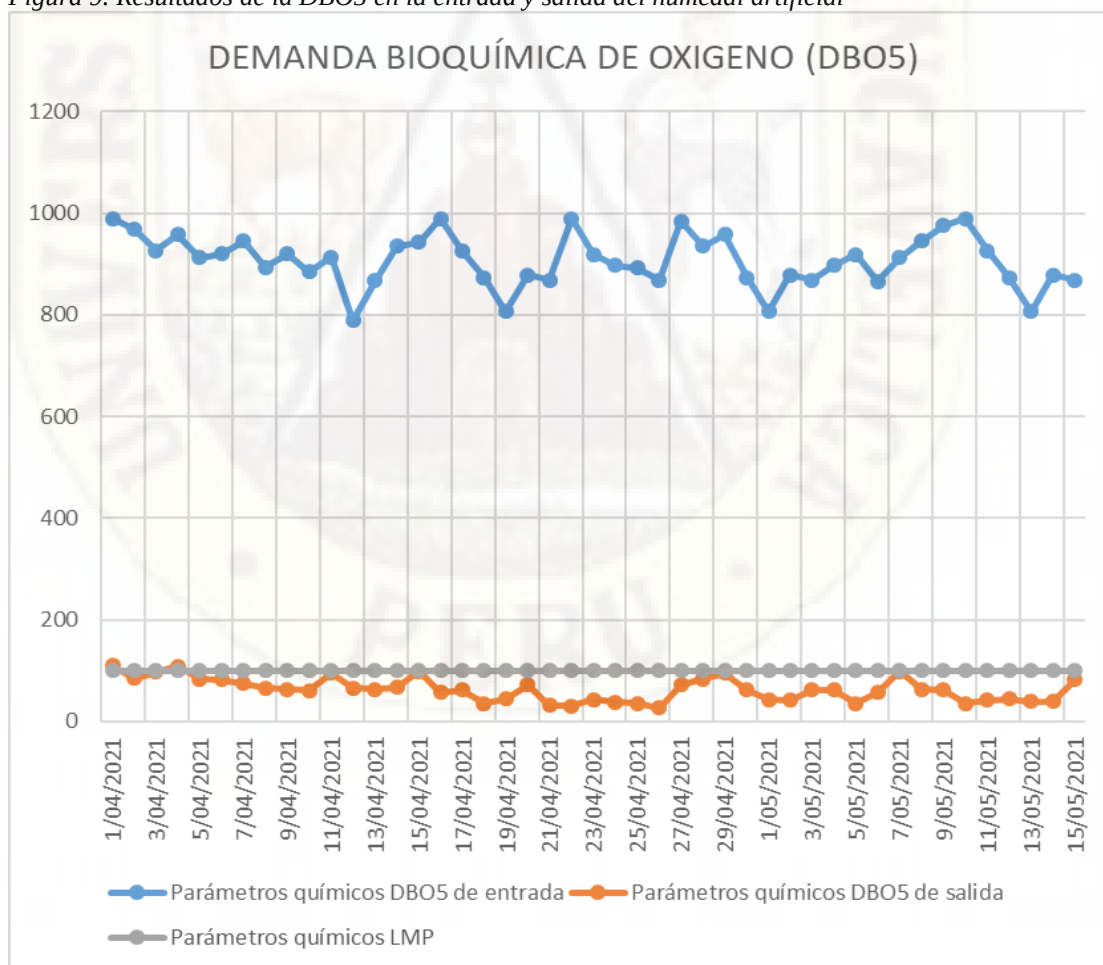
Tabla 18.*Resultados de la DBO5 de la entrada y salida del humedal artificial*

Cantidad de muestras	Fecha de muestreo	Caudal	Parámetros químicos	
			DBO5 de entrada	DBO5 de salida
1	1/04/2021	100	989	110
2	2/04/2021	100	968	85
3	3/04/2021	100	926	97
4	4/04/2021	100	958	109
5	5/04/2021	100	913	83
6	6/04/2021	100	920	82
7	7/04/2021	100	945	75
8	8/04/2021	100	894	66
9	9/04/2021	100	920	63
10	10/04/2021	100	885	61
11	11/04/2021	100	914	95
12	12/04/2021	100	789	66
13	13/04/2021	100	867	63
14	14/04/2021	100	935	67
15	15/04/2021	100	943	99
16	16/04/2021	100	990	57
17	17/04/2021	100	926	62
18	18/04/2021	100	874	36
19	19/04/2021	100	807	45
20	20/04/2021	100	878	72
21	21/04/2021	100	868	32
22	22/04/2021	100	989	30
23	23/04/2021	100	919	43
24	24/04/2021	100	897	38
25	25/04/2021	100	892	36
26	26/04/2021	100	869	27
27	27/04/2021	100	985	72
28	28/04/2021	100	935	83
29	29/04/2021	100	958	95
30	30/04/2021	100	874	62
31	1/05/2021	100	807	43
32	2/05/2021	100	878	42
33	3/05/2021	100	868	62
34	4/05/2021	100	897	62

35	5/05/2021	100	919	36
36	6/05/2021	100	866	57
37	7/05/2021	100	912	99
38	8/05/2021	100	945	63
39	9/05/2021	100	975	62
40	10/05/2021	100	990	36
41	11/05/2021	100	926	42
42	12/05/2021	100	874	45
43	13/05/2021	100	807	39
44	14/05/2021	100	878	40
45	15/05/2021	100	868	82

Nota: Elaboración propia

Figura 9. Resultados de la DBO5 en la entrada y salida del humedal artificial



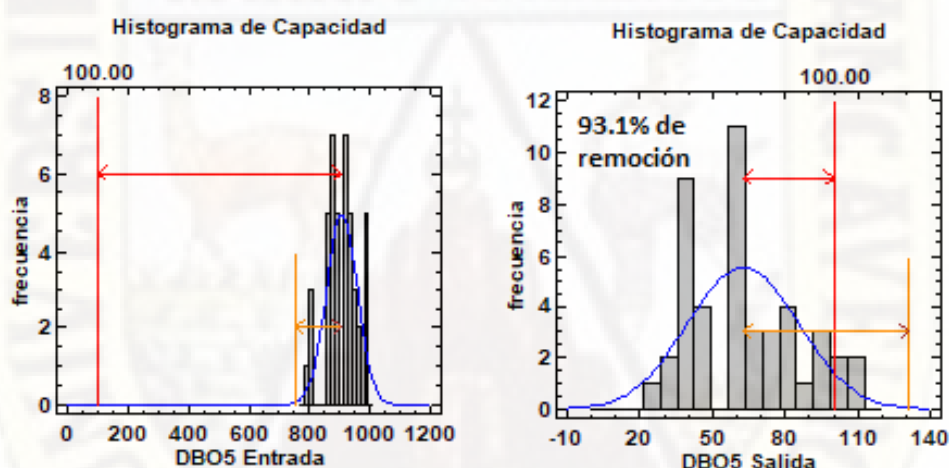
Nota: Elaboración propia

Interpretación:

Sobre el parámetro químico de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) que se evaluó tanto en la zona de entrada como salida del humedal artificial se aprecia que antes del humedal artificial el valor máximo fue de 990 y el valor mínimo fue 807, de la misma manera después del tratamiento con el humedal artificial el valor máximo fue 110 y el valor mínimo fue 27, en este caso el límite máximo permitido es 100 por lo que se puede indicar que el humedal es eficiente para la remoción de la demanda bioquímica del oxígeno.

Figura 10. Comparación de resultados de la DBO5 en la entrada y salida del humedal artificial

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA DBO5 EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL



Nota: Elaboración propia

Interpretación:

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), se puede observar en el gráfico de la comparación de resultados que existe un 93.1% de remoción después del tratamiento de las aguas residuales con el humedal artificial vertical.

4.1.4. Presentación de resultados de la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros microbiológicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica

En cuanto a los parámetros microbiológicos evaluados, se tuvo en consideración a los coliformes termotolerantes los cuales se evaluaron mediante pruebas de laboratorio.

4.1.4.1. Resultados de los coliformes termotolerantes en la entrada y salida del humedal artificial

Sobre el parámetro microbiológico de los coliformes termotolerantes evaluados tanto en la entrada y salida del humedal artificial, se muestran los valores obtenidos a continuación:

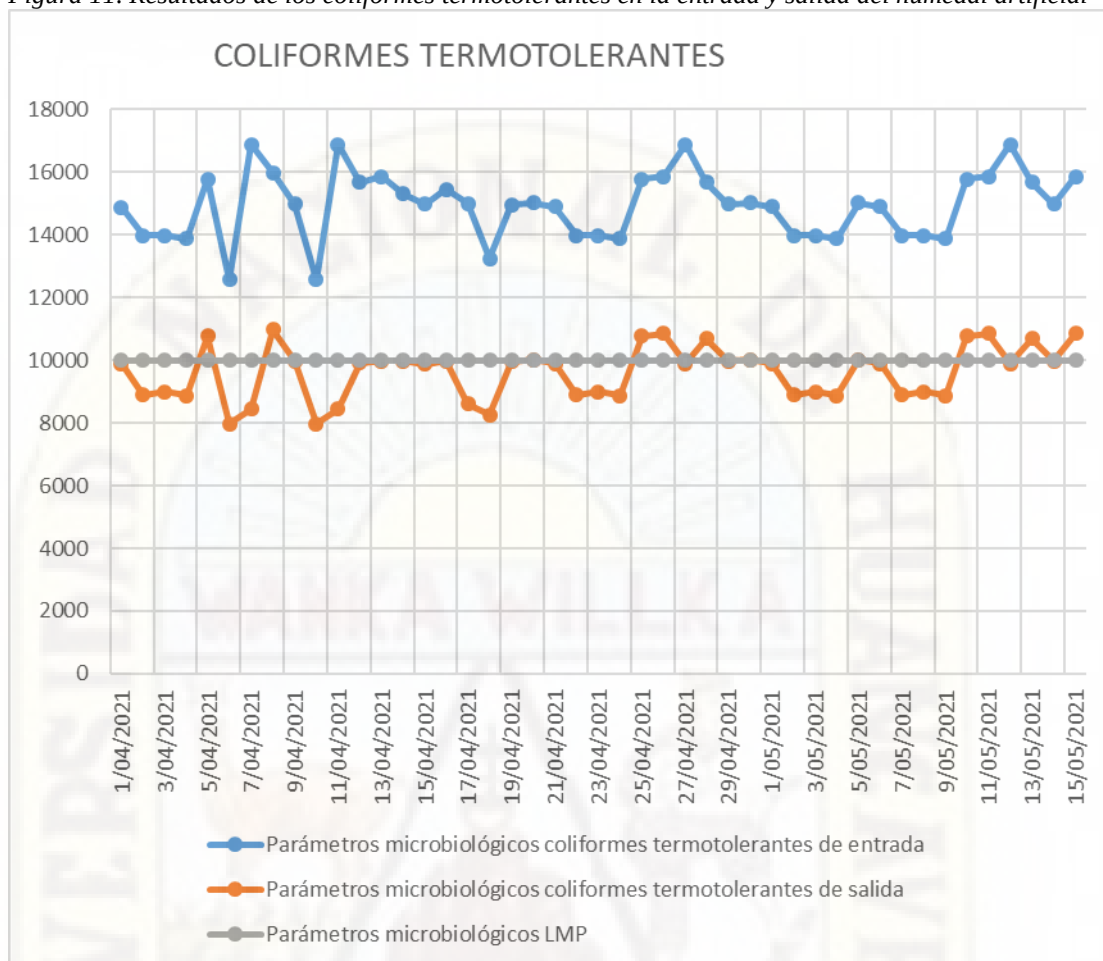
Tabla 19.
Resultados de los coliformes termotolerantes de la entrada y salida del humedal artificial

Cantidad de muestras	Fecha de muestreo	LMP	Parámetros microbiológicos	
			Coliformes termotolerantes de entrada	Coliformes termotolerantes de salida
1	1/04/2021	10000	14892	9894
2	2/04/2021	10000	13987	8887
3	3/04/2021	10000	13989	8989
4	4/04/2021	10000	13879	8879
5	5/04/2021	10000	15784	10784
6	6/04/2021	10000	12568	7969
7	7/04/2021	10000	16894	8435
8	8/04/2021	10000	15982	10982
9	9/04/2021	10000	14986	9986
10	10/04/2021	10000	12568	7969
11	11/04/2021	10000	16894	8435
12	12/04/2021	10000	15687	9908
13	13/04/2021	10000	15863	9987
14	14/04/2021	10000	15321	9968
15	15/04/2021	10000	14983	9875
16	16/04/2021	10000	15456	9968

17	17/04/2021	10000	15012	8598
18	18/04/2021	10000	13256	8256
19	19/04/2021	10000	14964	9964
20	20/04/2021	10000	15026	10026
21	21/04/2021	10000	14894	9894
22	22/04/2021	10000	13987	8887
23	23/04/2021	10000	13989	8989
24	24/04/2021	10000	13879	8879
25	25/04/2021	10000	15784	10784
26	26/04/2021	10000	15864	10864
27	27/04/2021	10000	16894	9897
28	28/04/2021	10000	15687	10687
29	29/04/2021	10000	14986	9986
30	30/04/2021	10000	15026	10026
31	1/05/2021	10000	14894	9894
32	2/05/2021	10000	13987	8887
33	3/05/2021	10000	13989	8989
34	4/05/2021	10000	13879	8879
35	5/05/2021	10000	15026	10026
36	6/05/2021	10000	14894	9894
37	7/05/2021	10000	13987	8887
38	8/05/2021	10000	13989	8989
39	9/05/2021	10000	13879	8879
40	10/05/2021	10000	15784	10784
41	11/05/2021	10000	15864	10864
42	12/05/2021	10000	16894	9897
43	13/05/2021	10000	15687	10687
44	14/05/2021	10000	14986	9986
45	15/05/2021	10000	15864	10864

Nota: Elaboración propia

Figura 11. Resultados de los coliformes termotolerantes en la entrada y salida del humedal artificial



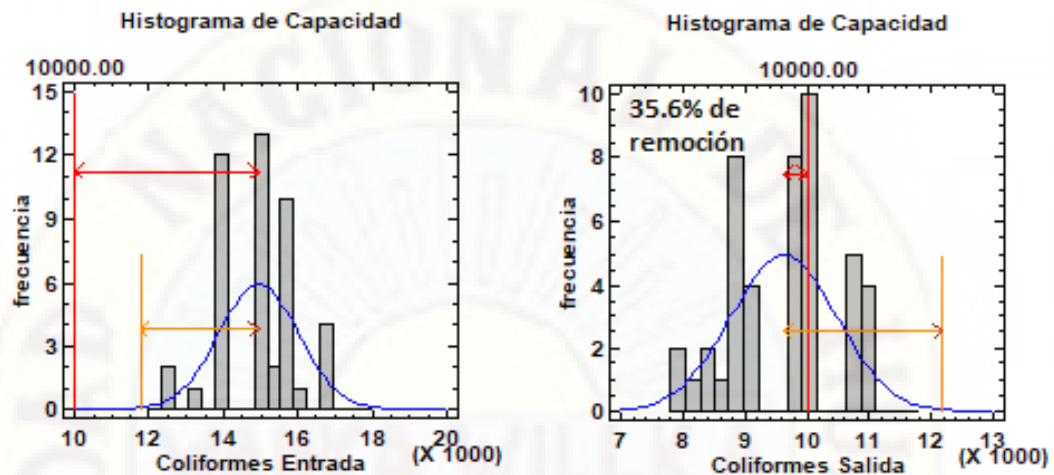
Nota: Elaboración propia

Interpretación:

Sobre los resultados obtenidos de los coliformes termotolerantes evaluados en la zona de entrada y salida del humedal artificial se puede apreciar en la tabla y figura que antes de la entrada al humedal artificial el máximo valor obtenido fue de 16894 y el mínimo valor fue 12598, de la misma manera luego del tratamiento con el humedal artificial el máximo valor obtenido fue 10982 y el valor mínimo fue 7969, el límite máximo permisible es de 10000, lo cual indica en que en algunos puntos la remoción fue adecuada ya que se redujeron los valores.

Figura 12. Comparación de resultados de los coliformes termotolerantes en la entrada y salida del humedal artificial

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS SOBRE LOS COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN LOS PUNTOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL HUEDAL ARTIFICIAL



Nota: Elaboración propia

Interpretación:

Sobre la comparación de los resultados en cuanto a los coliformes termotolerantes tanto en los puntos de entrada como en los puntos de salida del humedal artificial vertical se puede apreciar que existe un 35.6% de remoción.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba de hipótesis para la temperatura

a. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de parámetros físicos (temperatura) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Hipótesis Nula (Ho): La eficiencia del humedal artificial vertical no es óptima para el tratamiento de parámetros físicos (temperatura) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

b. Prueba unilateral o de una cola

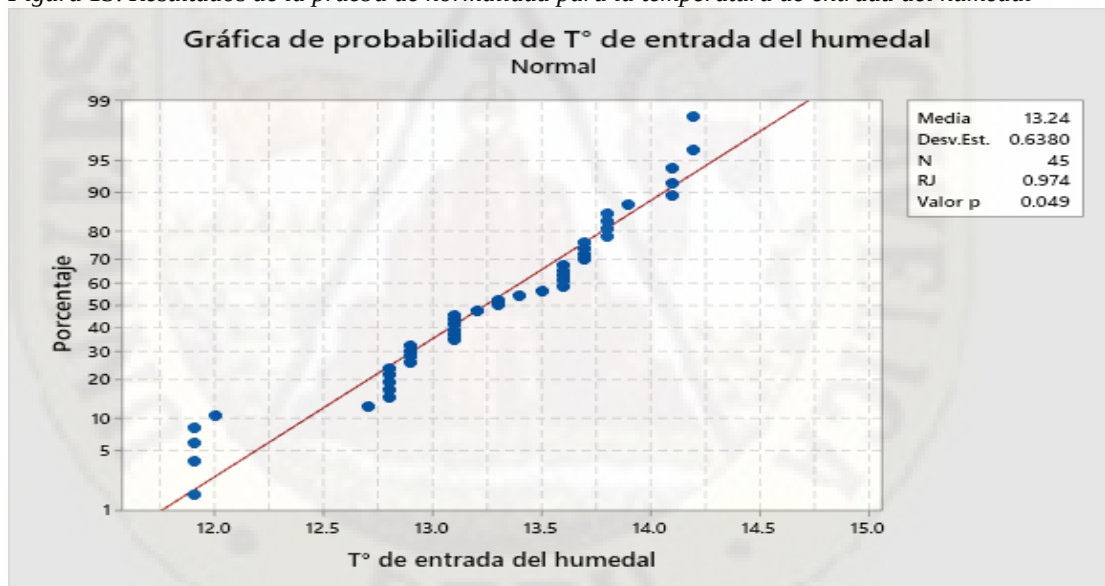
$$H_a < \alpha$$

$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

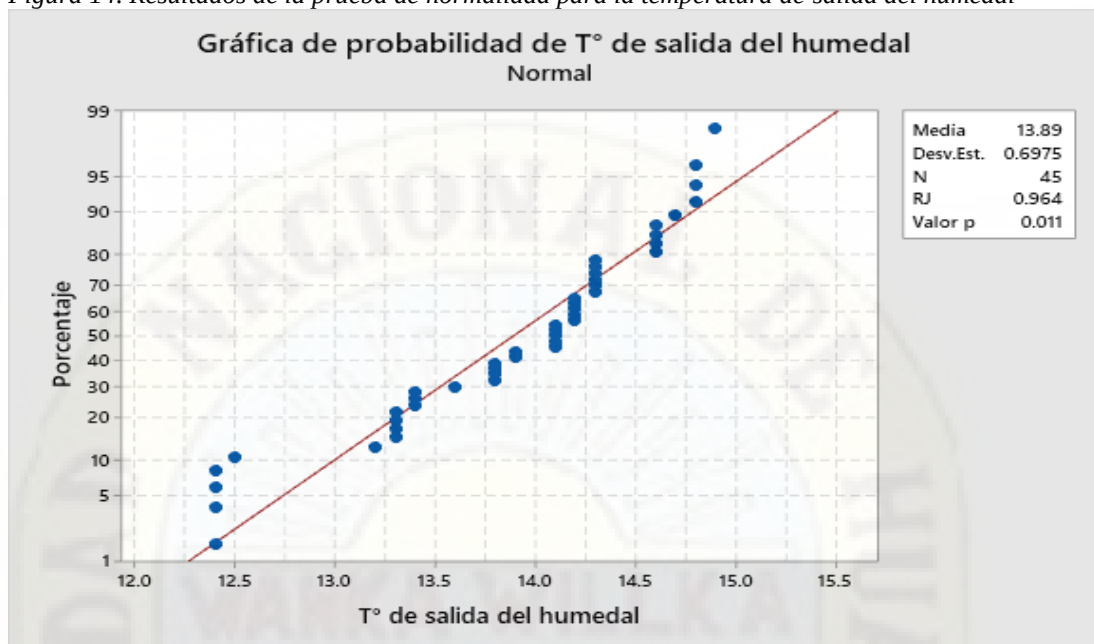
La prueba de normalidad realizada para los parámetros físicos (temperatura) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se realizó mediante la prueba de normalidad de Ryan Joiner dado que esta prueba tiene a analizar datos menores a 50 muestras, como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,0459 valor en los puntos de entrada y 0.011 valor en los puntos de salida, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es anormal por ende se empleó una prueba no paramétrica para el estadístico de prueba a fin de contrastar la hipótesis planteada.

Figura 13. Resultados de la prueba de normalidad para la temperatura de entrada del humedal



Nota: Elaboración propia

Figura 14. Resultados de la prueba de normalidad para la temperatura de salida del humedal



Nota: Elaboración propia

d. Nivel de significancia o riesgo

Para la evaluación de los parámetros físicos (temperatura) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), por lo tanto, el nivel de confianza con el que se trabajó es del 95% por ciento. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue el estadístico T de Student para muestras apareadas, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor T de -14.60. Se obtuvo un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 20.

Resultados de la prueba de la temperatura del humedal artificial

Hipótesis nula	H ₀ : diferencia $\mu = 0$
Hipótesis alterna	H ₁ : diferencia $\mu < 0$
Valor T	Valor p
-14.60	0.000

Nota: Elaboración propia

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística T de Student para muestras apareadas en los parámetros físicos (temperatura) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se advierte un nivel de significancia menor a la

significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

e. Conclusión estadística

Se concluye que “La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de parámetros físicos (temperatura) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica” con un 95% del nivel de confianza, a una distribución anormal y un P valor menor a 0.05.

4.2.2. Prueba de hipótesis para el pH

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (pH) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Hipótesis Nula (Ho): La eficiencia del humedal artificial vertical no es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (pH) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

b. Prueba unilateral o de una cola

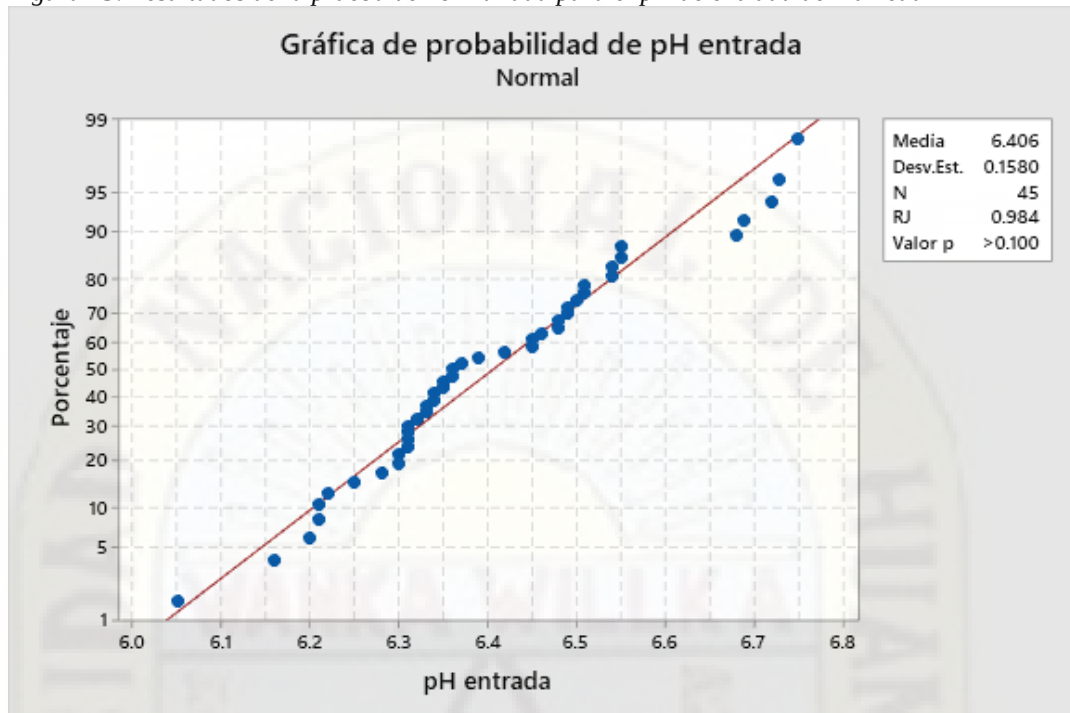
$$H_a < \alpha$$

$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

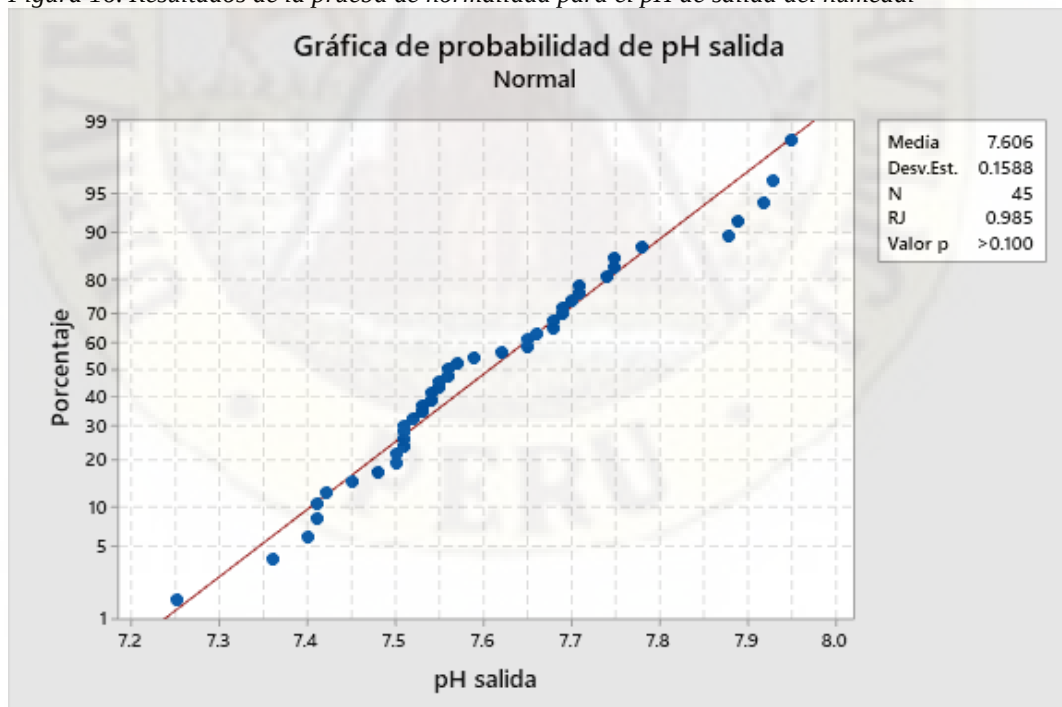
La prueba de normalidad realizada para los parámetros químicos (pH) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se realizó mediante la prueba de normalidad de Ryan Joiner dado que esta prueba tiene a analizar datos menores a 50 muestras, como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,100 valor en los puntos de entrada y salida, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal por ende, se empleó una prueba paramétrica para el estadístico de prueba a fin de contrastar la hipótesis planteada.

Figura 15. Resultados de la prueba de normalidad para el pH de entrada del humedal



Nota: Elaboración propia

Figura 16. Resultados de la prueba de normalidad para el pH de salida del humedal



Nota: Elaboración propia

d. Nivel de significancia o riesgo

Para la evaluación de los parámetros químicos (pH) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), por lo tanto, el nivel de confianza con el que se trabajó es del 95 % por ciento. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue el estadístico T de Student para muestras apareadas, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor T de -1351.00. Se obtuvo un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 21.
Resultados de la prueba del pH del humedal artificial

Hipótesis nula	Ho: diferencia $\mu = 0$
Hipótesis alterna	H1: diferencia $\mu < 0$
Valor T	Valor p
-1351.00	0.000

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística T de Student para muestras apareadas en los parámetros químicos (pH) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se advierte un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (pH) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica” con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal y un P valor menor a 0.05.

4.2.3. Prueba de hipótesis para la demanda química de oxígeno

a. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Demanda Química de Oxígeno) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Hipótesis Nula (Ho): La eficiencia del humedal artificial vertical no es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Demanda Química de Oxígeno) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

b. Prueba unilateral o de una cola

$$H_a < \alpha$$

$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

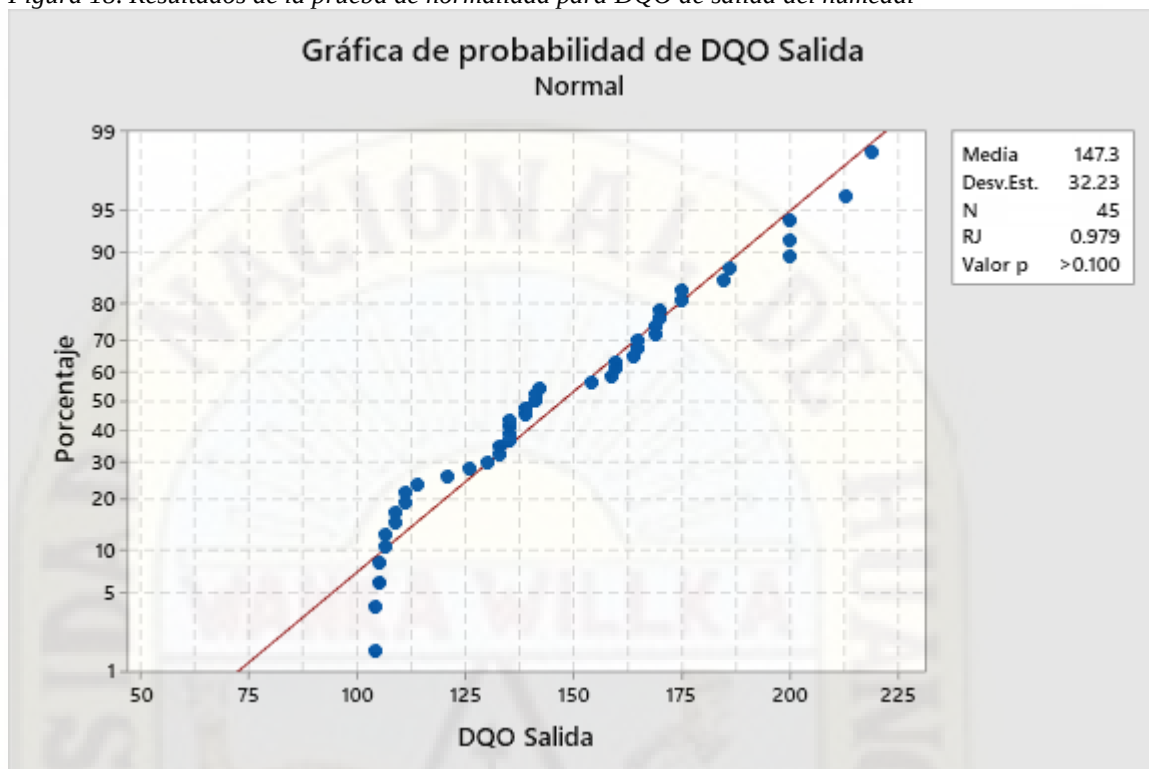
La prueba de normalidad realizada para los parámetros químicos (Demanda Química de Oxígeno) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se realizó mediante la prueba de normalidad de Ryan Joiner dado que esta prueba tiene a analizar datos menores a 50 muestras, como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,100 valor en los puntos de entrada y salida, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal por ende, se empleó una prueba paramétrica para el estadístico de prueba a fin de contrastar la hipótesis planteada.

Figura 17. Resultados de la prueba de normalidad para DQO de entrada del humedal



Nota: Elaboración propia

Figura 18. Resultados de la prueba de normalidad para DQO de salida del humedal



Nota: Elaboración propia

d. Nivel de significancia o riesgo

Para la evaluación de los parámetros químicos (Demanda Química de Oxígeno) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), por lo tanto, el nivel de confianza con el que se trabajo es del 95% por ciento. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue el estadístico T de Student para muestras apareadas, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor T de -1351.00. Se obtuvo un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 22.

Resultados de la prueba de la DQO del humedal artificial

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu > 0$
Valor T	Valor p
81.09	0.000

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística T de Student para muestras apareadas en los parámetros químicos (Demanda Química de Oxígeno) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se advierte un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Demanda Química de Oxígeno) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica” con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal y un P valor menor a 0.05.

4.2.4. Prueba de hipótesis para los sólidos totales en suspensión

a. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Sólidos Totales en Suspensión) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Hipótesis Nula (Ho): La eficiencia del humedal artificial vertical no es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Sólidos Totales en Suspensión) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

b. Prueba unilateral o de una cola

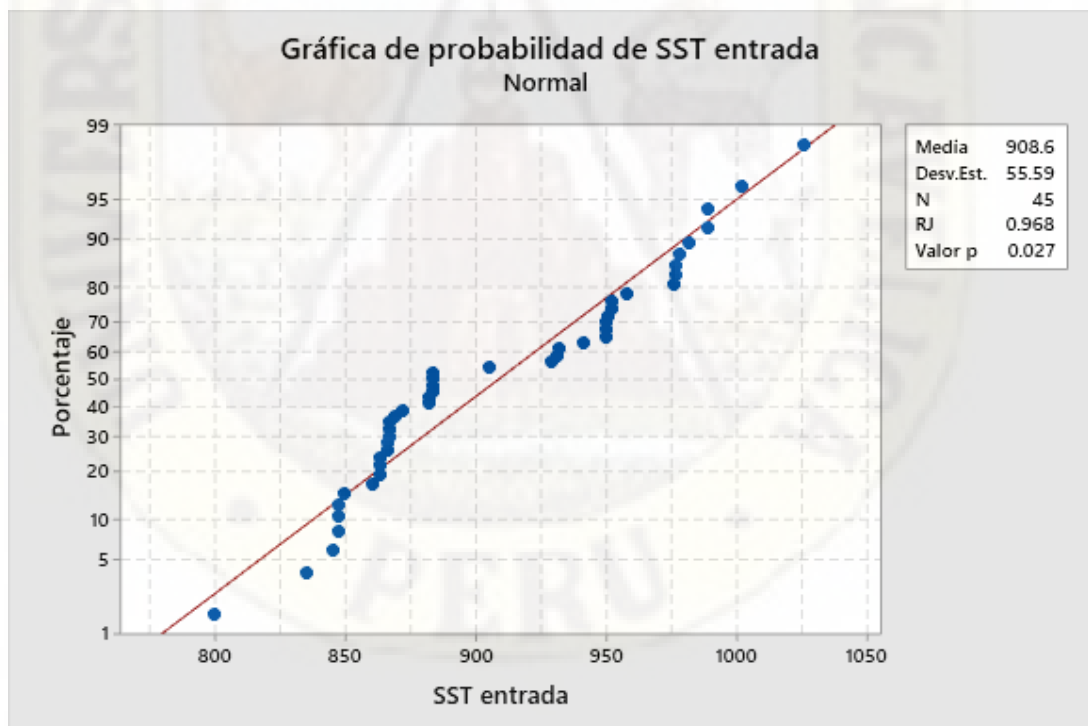
$$H_a < \alpha$$

$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

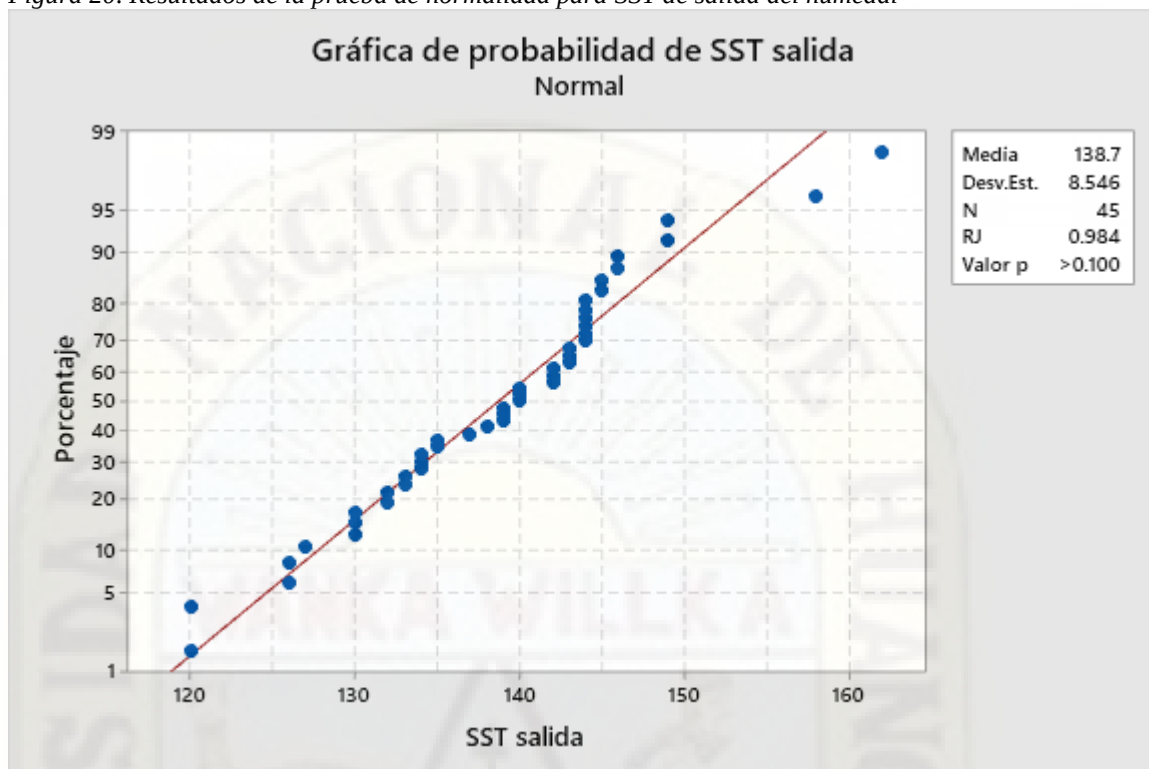
La prueba de normalidad realizada para los parámetros químicos (Sólidos Totales en Suspensión) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se realizó mediante la prueba de normalidad de Ryan Joiner dado que esta prueba tiene a analizar datos menores a 50 muestras, como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,027 valor en los puntos de entrada y 0.100 en los puntos de salida, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal por ende, se empleó una prueba paramétrica para el estadístico de prueba a fin de contrastar la hipótesis planteada.

Figura 19. Resultados de la prueba de normalidad para SST de entrada del humedal



Nota: Elaboración propia

Figura 20. Resultados de la prueba de normalidad para SST de salida del humedal



Nota: Elaboración propia

d. Nivel de significancia o riesgo

Para la evaluación de los parámetros químicos (Sólidos Totales en Suspensión) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), por lo tanto, el nivel de confianza con el que se trabajo es del 95% por ciento. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue el estadístico T de Student para muestras apareadas, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor T de 93.78. Se obtuvo un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 23.

Resultados de la prueba de los SST del humedal artificial

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_{\mu} = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_{\mu} > 0$
Valor T	Valor p
93.78	0.000

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística T de Student para muestras apareadas en los parámetros químicos (Sólidos Totales en Suspensión) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se advierte un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Sólidos Totales en Suspensión) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica” con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal y un P valor menor a 0.05.

4.2.5. Prueba de hipótesis para la demanda bioquímica de oxígeno

a. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Hipótesis Nula (Ho): La eficiencia del humedal artificial vertical no es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

b. Prueba unilateral o de una cola

$$H_a < \alpha$$

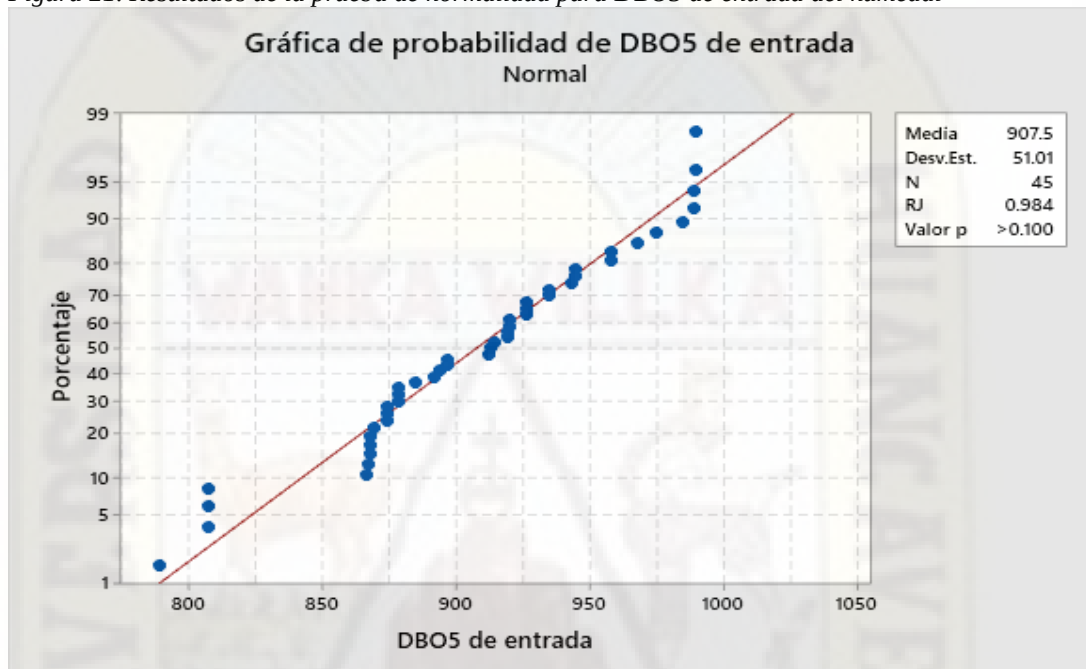
$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

La prueba de normalidad realizada para los parámetros químicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se realizó mediante la prueba de normalidad de Ryan

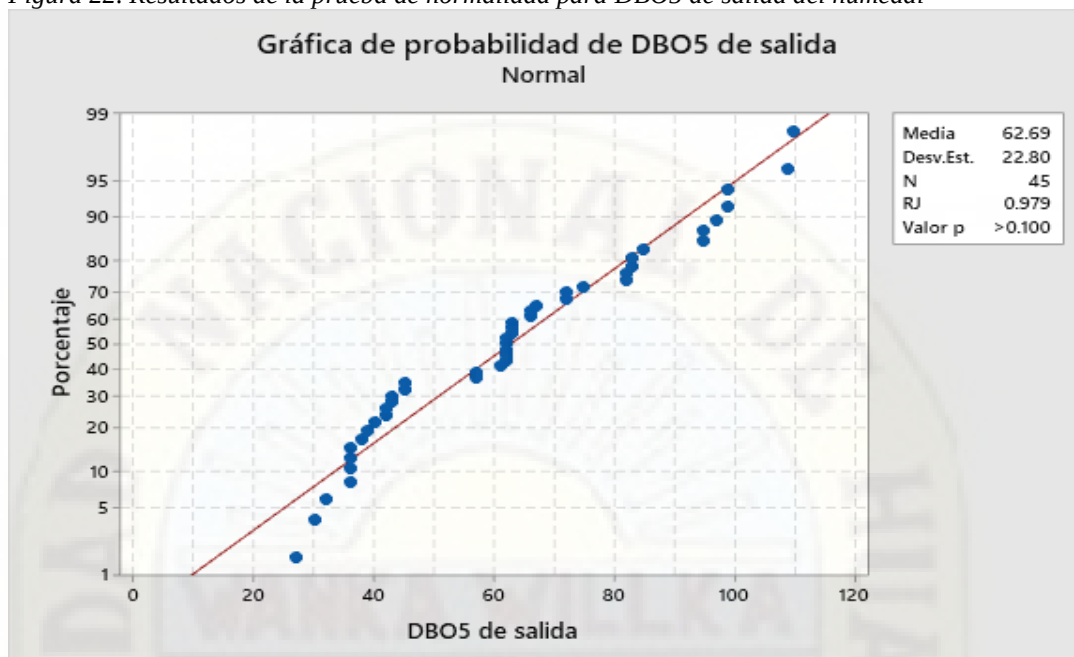
Joiner dado que esta prueba tiene a analizar datos menores a 50 muestras, como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,100 valor en los puntos de entrada y de salida, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal por ende, se empleó una prueba paramétrica para el estadístico de prueba a fin de contrastar la hipótesis planteada.

Figura 21. Resultados de la prueba de normalidad para DBO5 de entrada del humedal



Nota: Elaboración propia

Figura 22. Resultados de la prueba de normalidad para DBO5 de salida del humedal



Nota: Elaboración propia

d. Nivel de significancia o riesgo

Para la evaluación de los parámetros químicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), por lo tanto, el nivel de confianza con el que se trabajó es del 95% por ciento. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue el estadístico T de Student para muestras apareadas, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor T de 118.54. Se obtuvo un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 24.

Resultados de la prueba de los DBO5 del humedal artificial

Hipótesis nula	H ₀ : diferencia $\mu = 0$
Hipótesis alterna	H ₁ : diferencia $\mu > 0$
Valor T	Valor p
118.54	0.000

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística T de Student para muestras apareadas en los parámetros químicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se advierte un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros químicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica” con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal y un P valor menor a 0.05.

4.2.6. Prueba de hipótesis para los coliformes termotolerantes

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Hipótesis Nula (Ho): La eficiencia del humedal artificial vertical no es óptima para el tratamiento de los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

b. Prueba unilateral o de una cola

$$H_a < \alpha$$

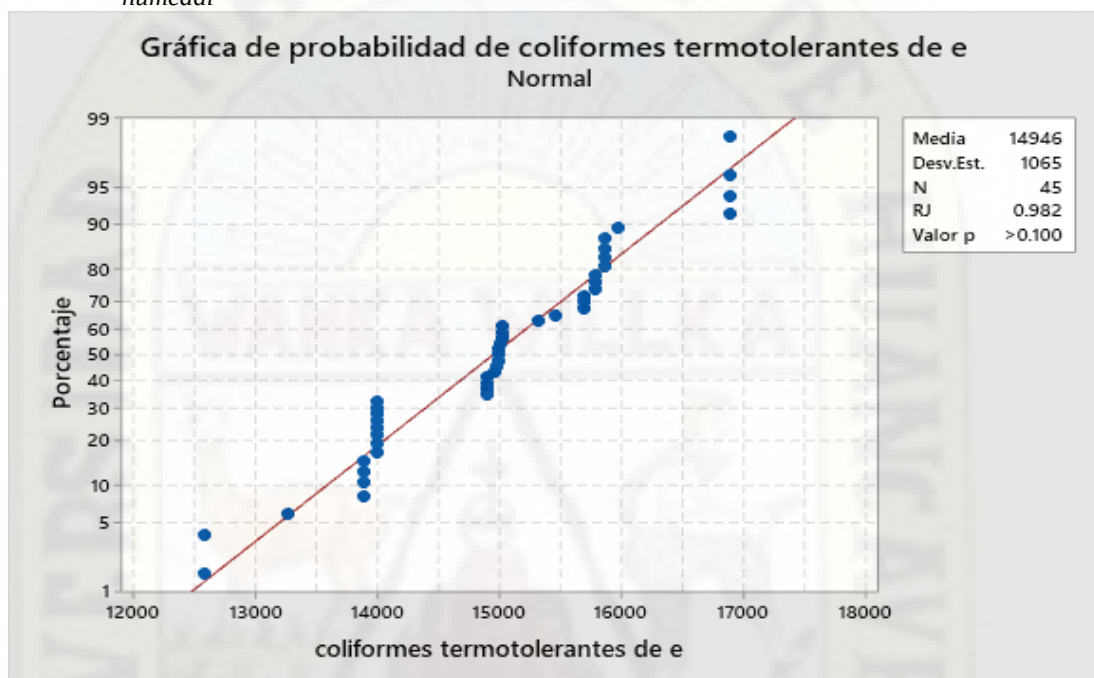
$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

La prueba de normalidad realizada para los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se realizó mediante la prueba de normalidad de Ryan Joiner dado que esta prueba tiene a analizar datos menores a 50 muestras, como

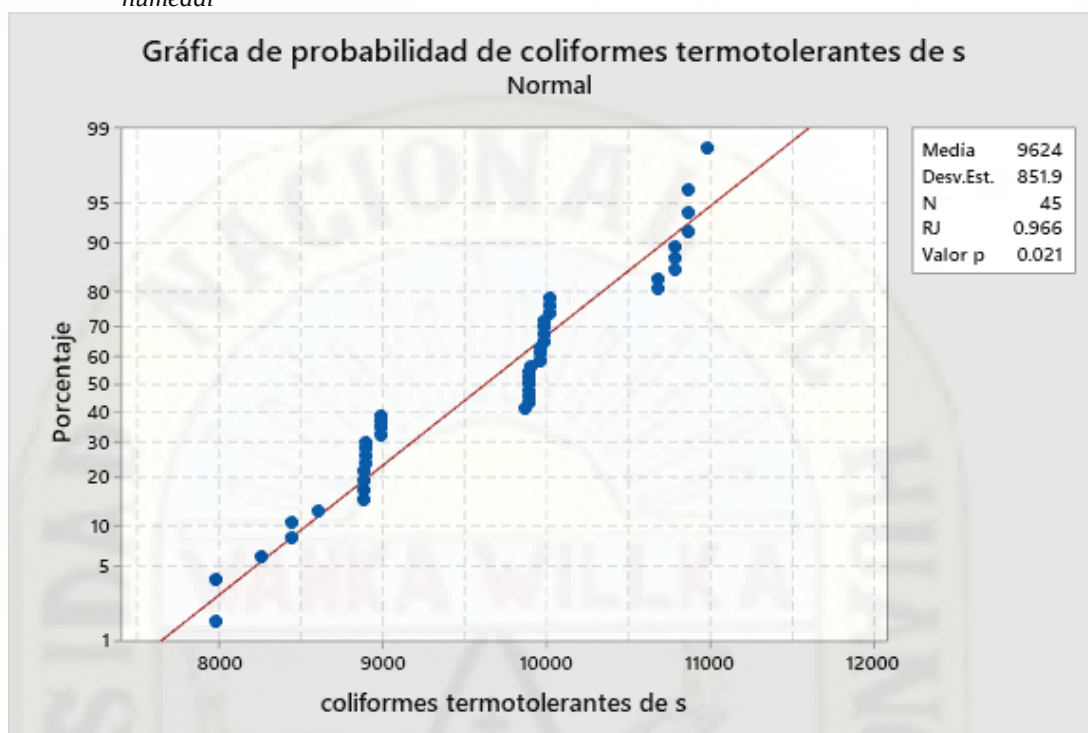
resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,100 valor en los puntos de entrada y 0.021 en los puntos de salida, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal por ende, se empleó una prueba paramétrica para el estadístico de prueba a fin de contrastar la hipótesis planteada.

Figura 23. Resultados de la prueba de normalidad para los coliformes termotolerantes de entrada del humedal



Nota: Elaboración propia

Figura 24. Resultados de la prueba de normalidad para los coliformes termotolerantes de salida del humedal



Nota: Elaboración propia

d. Nivel de significancia o riesgo

Para la evaluación de los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), por lo tanto, el nivel de confianza con el que se trabajó es del 95% por ciento. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue el estadístico T de Student para muestras apareadas, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor T de 42.32. Se obtuvo un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 25.

Resultados de la prueba de los coliformes termotolerantes del humedal artificial

Hipótesis nula	H ₀ : diferencia_μ = 0
Hipótesis alterna	H ₁ : diferencia_μ > 0
Valor T	Valor p
42.32	0.000

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística T de Student para muestras apareadas en los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) en la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales, se advierte un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima para el tratamiento de los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes) en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica” con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal y un P valor menor a 0.05.

4.3. Discusión de resultados

Las discusiones de los resultados sobre la investigación se realizaron de manera inductiva partiendo desde el objetivo general hasta los objetivos específicos establecidos.

4.3.1. Discusión de resultados del objetivo general

Como objetivo general se estableció “Evaluar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, donde Badillo, Carvajal, Plata, y Danna (2016), en su investigación titulada “Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque” obtuvo una variación favorable de las muestras que habían sido tratadas en comparación a los valores máximos permisibles vigentes de su región, concluyendo que los parámetros que se consideraron para la evaluación después de pasar por el tratamiento respectivo se encontraban dentro de los valores máximos permisibles según la normativa, así mismo Moncada (2016), en su trabajo de investigación titulado “Análisis del desempeño y operación de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de agua residual doméstica en países tropicales”, donde concluye que los humedales artificiales de flujo subsuperficial

vertical viene a ser tecnologías factibles en la depuración de las aguas servidas, especialmente cuando estas vienen a ser de tipo doméstico, también Mena (2014), en su investigación titulada “Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el colegio comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia”, donde los resultados obtenidos en cuanto a la remoción de DBO fue en un 93.89%, mientras que en el DQO se logró remover en un 84.98%, por otro lado, la remoción de SST vino a ser en un 40 % y concluye en que la capacidad de remoción de ciertos contaminantes mediante la implementación de este tipo de sistemas de tratamiento asegura una optimo y eficaz aprovechamiento del agua, al respecto, se puede indicar que en la investigación se evidenció que la aplicación de los humedales artificiales verticales ayudan en la remoción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en distintos porcentajes de eficiencia, pero en el que se observa una mayor evidencia de remoción son en los parámetros químicos como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, los Solidos totales en suspensión, y Demanda Química de Oxígeno, al respecto Delgadillo, Camacho, Perez, y Andrade (2010) mencionan que los humedales artificiales vienen a ser sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema vendrá a ser el progreso de un cultivo de macrófitas enraizadas encima de un lecho impermeabilizado de grava. El acto de estas macrófitas hace factible una serie de dificultosas interacciones físicas, químicas y biológicas mediante el cual el agua residual es decir el afluente va a ser tratada de forma progresiva y lentamente, dicho concepto se evidencia en la investigación ya que mediante la acción de los humedales artificiales se pudo evidenciar las interacciones físicas, químicas y biológicas que ocasionaron la reducción de las concentraciones de diversos parámetros en el agua tratada.

4.3.2. Discusión de resultados del objetivo específico 1

Como objetivo específico N° 1 se implantó “Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros físicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, donde Montoya, Ceballos, Casas, y Morato (2010), en la investigación titulada “estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal

subsuperficial usando tres especies de macrófitas”, donde obtuvo como resultado que el parámetro de temperatura varia en un rango de 18 °C a 15 °C, así mismo logró un 94.49% y 93.50% y para *Phragmites* sp se obtuvo un 97.39% y 97.13, consiguió la remoción con *Canna limbata* en un 100% y 99.36%, en la macrófita *Heliconia psittacorum* en un 99.09% y 97.49%. Finalmente el trabajo concluye en que se han evidenciado variaciones muy importantes en la remoción de DBO₅, no se ha identificado diferencias estadísticamente significativas entre las diversas plantas, a la vez este estudio ha corroborado que el uso de los humedales viene a ser una opción para disminuir la contaminación por materia orgánica, para la investigación se obtuvo que la temperatura en la zona de entrada obtuvo valores menores a 15°C, de la misma manera en la zona de salida en donde se aprecian que los valores obtenidos son menores en cada uno de los puntos a diferencia de los valores en la entrada, en comparación con el límite permitido del pH, tanto los valores de entrada como salida no superan los valores establecidos ya que son mejores a 35°C, al respecto Delgadillo, Camacho, Perez, y Andrade (2010) mencionan que el flujo del agua en la parte interna del humedal debe deshacer las resistencias creadas “capa de sedimentos, por la vegetación, raíces y sólidos acumulados en los humedales”, lo cual genera las variaciones de temperatura, al respecto en la investigación no se halló diferencias significativas en la temperatura del caudal a partir del tratamiento del agua residual con humedales artificiales de flujo vertical.

4.3.3. Discusión de resultados del objetivo específico 2

Como objetivo específico N° 2 se estableció “Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros químicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, donde Romero, Colin, Sánchez, y Ortiz, (2009), en el trabajo de investigación publicada titulada “Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales Evaluación de la remoción de la carga orgánica”, analizó: DQO, DBO, pH, Sólidos Totales en Suspensión, iones de nitrógeno y fósforo total, de igual manera se desarrolló el conteo de bacterias relacionadas al tratamiento y como resultado obtuvo una gran reducción de los parámetros químicos y en el tercer módulo la eliminación de materia orgánica es mucho mayor en comparación a los otros dos módulos, finalmente, los

investigadores concluyen en que se ha demostrado que el sistema implementado en la presente investigación viene a ser una alternativa con el fin de remover la carga orgánica, parámetros fisicoquímicos y nutrientes, y que es de bajo costo en cuanto al mantenimiento y operación, al respecto con la investigación realizada se evidencia una reducción de los parámetros químicos, donde en el parámetro de DQO con un porcentaje de remoción de 85.2%, también los SST obtuvieron un porcentaje de remoción del 84.7%, en la Demanda Bioquímica de Oxígeno tuvo un porcentaje de remoción de 93.1%, al respecto Hoffmann, Platzer, Winker, y Von Muench (2011), mencionan que los mecanismos de remoción de parámetros contaminantes y que se llevan a cabo en los humedales construidos, tales como DBO, DQO, remoción de nutrientes como fósforo y sólidos en suspensión, por ende, al respecto con la investigación se evidencia que los parámetros químicos disminuyeron en porcentajes elevados en los parámetros evaluados.

4.3.4. Discusión de resultados del objetivo específico 3

Como objetivo específico N° 3 se indicó “Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros microbiológicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, donde en el trabajo de investigación elaborado por Bedoya, Ardilla, y Reyes (2014), el cual lleva por título “Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia”, donde buscaron la depuración de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como son: DBO, DQO, SST, Nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo, coliformes y metales como lo es el níquel y el zinc en dos diferentes humedales pues cada uno posee una macrófita diferente, como conclusión obtuvo la especie macrófita *T. latifolia* mostró una mayor eficiencia respecto a la especie *C. papyrus* ello en relación a la calidad de agua del efluente que se logró después de haber pasado por el respectivo tratamiento, al respecto en la investigación se pudo evidenciar que en comparación de los resultados en cuanto a los coliformes termotolerantes tanto en los puntos de entrada como en los puntos de salida del humedal artificial vertical se puede apreciar que existe un 35.6% de remoción, al respecto Hoffmann, Platzer, Winker, y Von Muench (2011) Indican que generalmente

se refieren a los humedales artificiales como "simples sistemas de baja tecnología", pero los procesos que están involucrados en este tipo de tratamiento es muy complejo ya que involucra la depuración de parámetros tanto fisicoquímicos como microbiológicos, lo cual concuerda con la investigación ya que se evidencian un porcentaje de remoción moderado.



CONCLUSIONES

- ♠ Sobre la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, se evidencia una ligera y moderada variación en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que posee el agua residual del Camal Municipal de Huancavelica lo que indica que el humedal artificial vertical aplicado en el tratamiento es eficiente.
- ♠ En cuanto al humedal artificial vertical y su eficiencia en la remoción de los parámetros físicos se evidencia que no existe una diferencia significativa en la variación de la temperatura lo cual indica que la eficiencia del humedal es baja y no genera un impacto positivo en la calidad del agua.
- ♠ Sobre los parámetros químicos y su remoción en los humedales artificiales verticales se tiene una clara evidencia que existe una variación significativa en los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno, el pH y los sólidos totales en suspensión (SST) ya que la eficiencia de remoción es mayor al 80 % en cada uno de los parámetros.
- ♠ La eficiencia de la remoción de los parámetros microbiológicos por la aplicación de humedales artificiales de flujo vertical que fueron evaluados se evidencia un porcentaje de remoción moderado en los Coliformes Termotolerantes lo cual genera un impacto positivo en la calidad del agua.

RECOMENDACIONES

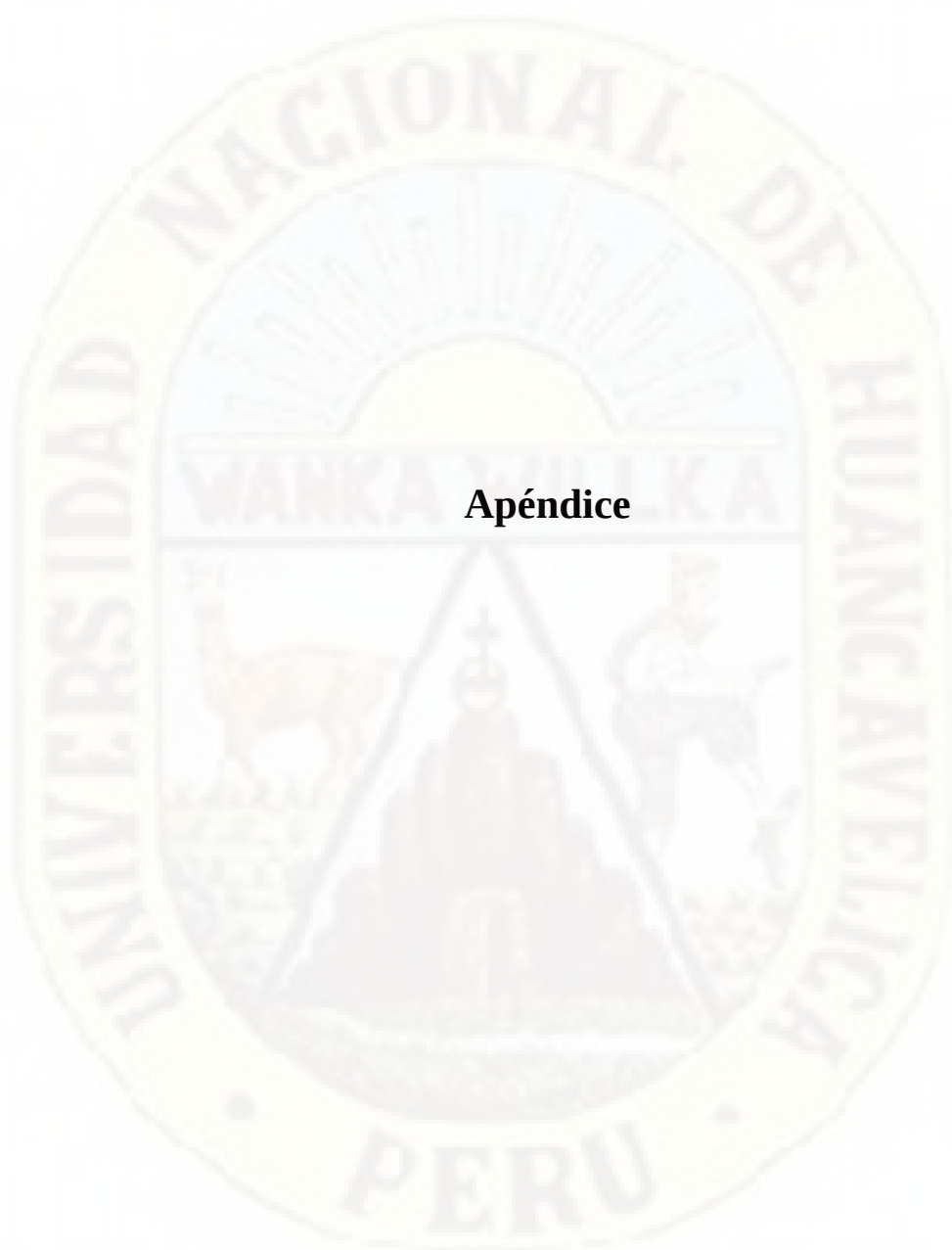
- ♠ Se recomienda emplear plantas que se adapten al clima del lugar del estudio para evitar que se sequen y aumente la carga orgánica en los humedales.
- ♠ Evaluar los nutrientes presentes en cada planta y el sustrato después de cada poda para obtener un balance adecuado en la remoción de los componentes del sistema.
- ♠ Se recomienda investigar la combinación de algunos humedales artificiales verticales ya que algunas investigaciones muestran mejores resultados.
- ♠ Realizar el mantenimiento preventivo al sistema ya que evitara que algunas partes se dañen y disminuya la eficiencia del tratamiento actual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, M. T., Zurita, F., Lara, J., & Vidal, G. (2018). *Humedales para el tratamiento: Alternativa de Saneamiento de Aguas Residuales Aplicable en America Latina*. Bogota.
- Apeña, J. (13 de 05 de 1999). Los mataderos y el medio ambiente. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/resisoli/matade/matade.html>
- Badillo, L., Carvajal, C., Plata, D., & Danna, F. (2016). Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque. Universidad el Bosque.
- Bedoya, J., Ardilla, A., & Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia . Antioquia.
- Belen , M., & Cabrera, A. (2010). *Procesamiento de datos y analisis estadistico utilizando el SPSS*. Porto Alegre: Pontificia Universidade Catolica do Rio Grande do Sul.
- Correo . (23 de 10 de 2014). Camal municipal es un foco infeccioso. Obtenido de <https://diariocorreio.pe/peru/camal-municipal-es-un-foco-infeccioso-524914/>
- Correo. (10 de 2014). Detectan contaminación de aguas servidas de camal municipal de Ilo. Obtenido de <https://diariocorreio.pe/peru/detectan-contaminacion-de-aguas-servidas-de-11186/>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedles artificiales*. Cochabamba - Bolivia.
- Fernandez, J., De Miguel, E., De Miguel, J., & Fernández, D. (2004). *Proyecto Life Nuvos Filros Verdes de Macrofits en Flotación para la Cuenca Mediterranea. Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Madrid, España: EDITAN.
- Fuenzalida, D. A. (2012). *Operación de un sistema piloto de humedales construidos para la depuración de aguas servidas: Consideraciones de la actividad biológica en la eliminación de materia orgánica y nutrientes*. Concepción.

- Garcia, J., Bayona, J., & Morató, J. (2004). *Depuración con sistemas naturales: humedales construidos*” ponencia presentada en el “IV. Tortosa - España.
- Gomez, S. (2002). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: Red tercer milenio S.C.
- Gómez, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de guas servidas*. Lima.
- Hernandez, M. (2016). *Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en Mexico*. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*.
- Hernandez, R. (2010). *Metodologia de la investigacion*. Punta de Santa Fe: S.A. DE C.V.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & Von Muench, E. (2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. Eschborn: Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ-Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN.
- Lapa, R. (2014). *Propuesta de diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales con fines de riego en la ciudad universitaria-UNSCH. Huamanga*.
- Llagas, W. A., & Guadalupe, E. (2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento*. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*.
- Londoño, L. A., & Marín, C. (2009). *Evaluación de la eficiencia de REMoción de Materia Orgánica en Humedales artificiales de Flujo Horizontal Subsuperficial alimentados con agua residual sintetica*. Pererira - Colombia.
- Marin, C., Solis, R., Lopez, G., Bautista, R., & Romellón, M. (2007). *Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México*. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*.
- Mena, P. (2014). *Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas*. Pasto-Colombia: Biblioteca Digital -UBA.
- Moncada, A. (2016). *Analisis del desempeño y operación de humedales construido de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de agua residual doméstica en paises tropicales*. Manizales.

- Montoya, I., Ceballos, L., Casas, J., & Morato, J. (2010). *Estudio comparativo de la remoción de materia organica en humedales contruidos de flujo horiontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas*. EIA, ISSN 1794-1237.
- Morales, G., Lopez, D., Vera, I., & Vidal, G. (2013). *Humedales contruidos con plantas ornamentales para el ttratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas*. Red de revistas científicas de America Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Niño, V. M. (2011). *Metodologia de la investigacion*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Quezada, N. (2015). *Metodologia de la investigación*. Lima, Perú: Editorial Macro.
- Romero, M., Colin, A., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales, evaluaci3n de la remocion de la carga orgánica*. Int. Contam. Ambient.
- Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos de investigacion cientifica*. Lima, Perú: San Marcos.
- Valles, M. C., & Alarcon, M. T. (2014). *Retenci3n de arsénico en humedales contruidos con Eleocharis macrostachya y Schoenoplectus americanus*. Int. Contam. Ambie.



Apéndice

Anexo 1
Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema general: ¿Cuál es la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica?	Objetivo general: Evaluar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica Objetivos específicos: Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros físicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica. Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros químicos en el tratamiento de agua residuales del Camal Municipal de Huancavelica Determinar la eficiencia del humedal artificial vertical para el tratamiento de parámetros microbiológicos en el	Ho La eficiencia del humedal artificial vertical no es óptima en el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica. Hipótesis Ha La eficiencia del humedal artificial vertical es óptima en el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.	Variables independiente Humedal Artificial Vertical Variable dependiente Eficiencia en el tratamiento de las Aguas Residuales	Tipo de Investigación: Aplicada Nivel de Investigación: Explicativo Método general: Método científico Diseño: Pre Experimental	de Población: • Efluente del beneficio de animales del camal Municipal de Huancavelica es de 19500 L/día. Muestra: • El Humedal artificial Vertical tendrá un volumen útil de 29 litros, la muestra de agua residual a analizar será a la entrada y salida del Humedal. Muestreo:	Técnicas: Observación Instrumentos: Humedal Artificial Vertical Multiparámetro Turbidímetro Prueba de normalidad. - Shapiro Wilk Prueba de hipótesis Prueba de medias Distribución T student

tratamiento de agua residuales del
Camal Municipal de Huancavelica

El muestreo
se realizará
cuatro veces
a la semana
de los
parámetros:
DBO, DQO y
Coliformes.

Anexo 2

Propuesta de instrumento para el parámetro DBO₅

[illegible]

Propuesta de instrumento para el parámetro DQO

[illegible]

Propuesta de instrumento para el parámetro Coliformes Fecales

[illegible]

Anexo 3

Panel fotográfico



Revisando el crecimiento del humedal artificial



Evaluando el crecimiento del humedal artificial vertical



Revisando el funcionamiento correcto del humedal artificial vertical



Realizando el control periódico del humedal artificial



Realizando el análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras

