



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



(Creada por Ley N° 25265)

**ESCUELA DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
UNIDAD DE POSGRADO**

TESIS

**SISTEMA MULTI FASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Línea de Investigación: Infraestructura hidráulica, saneamiento y medio ambiente.

PRESENTADO POR:

Bach. Mogollon Vizueta Cristhian Juan

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS DE INGENIERÍA**

**MENCIÓN: PLANEACIÓN ESTRATEGICA Y GESTIÓN EN
INGENIERIA DE PROYECTOS**

**HUANCAVELICA – PERÚ
2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
(Creado por Ley N° 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
UNIDAD DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: **Dr. Humberto Guillermo GARAYAR TASAYCO**, **Dr. Fernando Martin TORIBIO ROMAN**, **Mg. Victor Guillermo SANCHEZ ARAUJO**.

Asesor: Dr. Carlos Enrique ESPINOZA QUISPE

De conformidad al Reglamento Único de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH y modificado con Resolución N° 1195-2019-CU-UNH, y la Directiva de la Sustentación Síncrona de Tesis de los Estudiantes de Maestría y Doctorado de las Unidades de Posgrado de las Facultades Integrantes de la Universidad Nacional de Huancavelica en el Marco al estado de emergencia covid 19, aprobado mediante Resolución Directoral N° 340-2020-EPG-R/UNH.

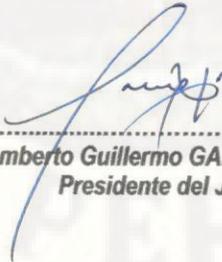
El candidato al **GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERIA MENCIÓN EN PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y GESTIÓN EN INGENIERIA DE PROYECTOS**

Don, **CRISTHIAN JUAN MOGOLLON VIZUETA**, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado **"SISTEMA MULTI FASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS."**

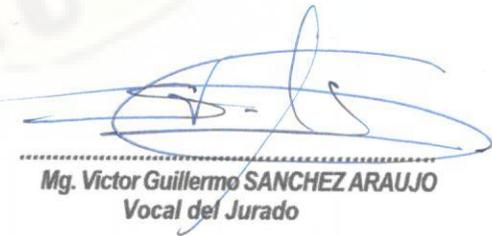
Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

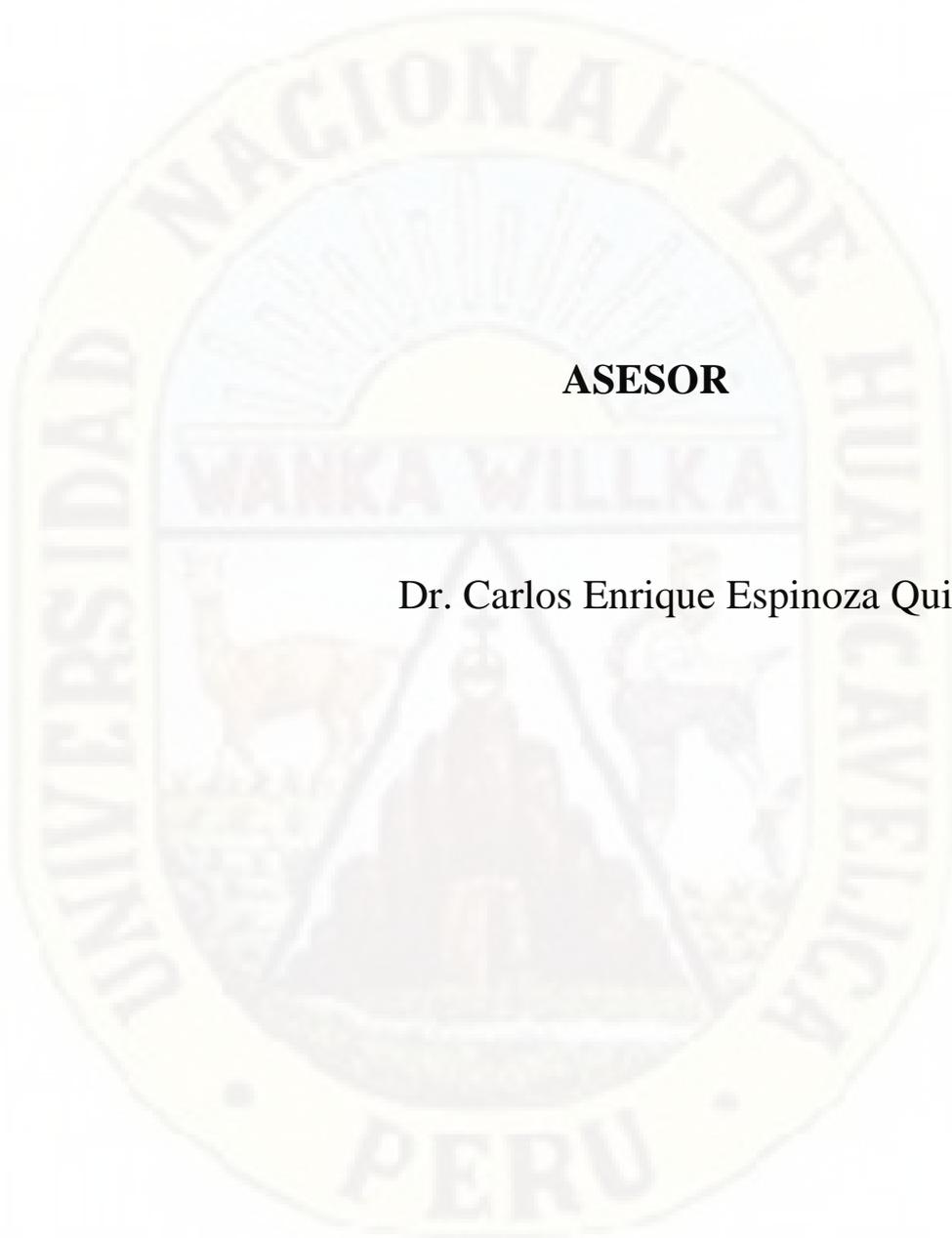
Con el calificado **APROBADO POR MAYORÍA**

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los veintinueve días del mes de marzo del año 2021.


.....
Dr. Humberto Guillermo GARAYAR TASAYCO
Presidente del Jurado.

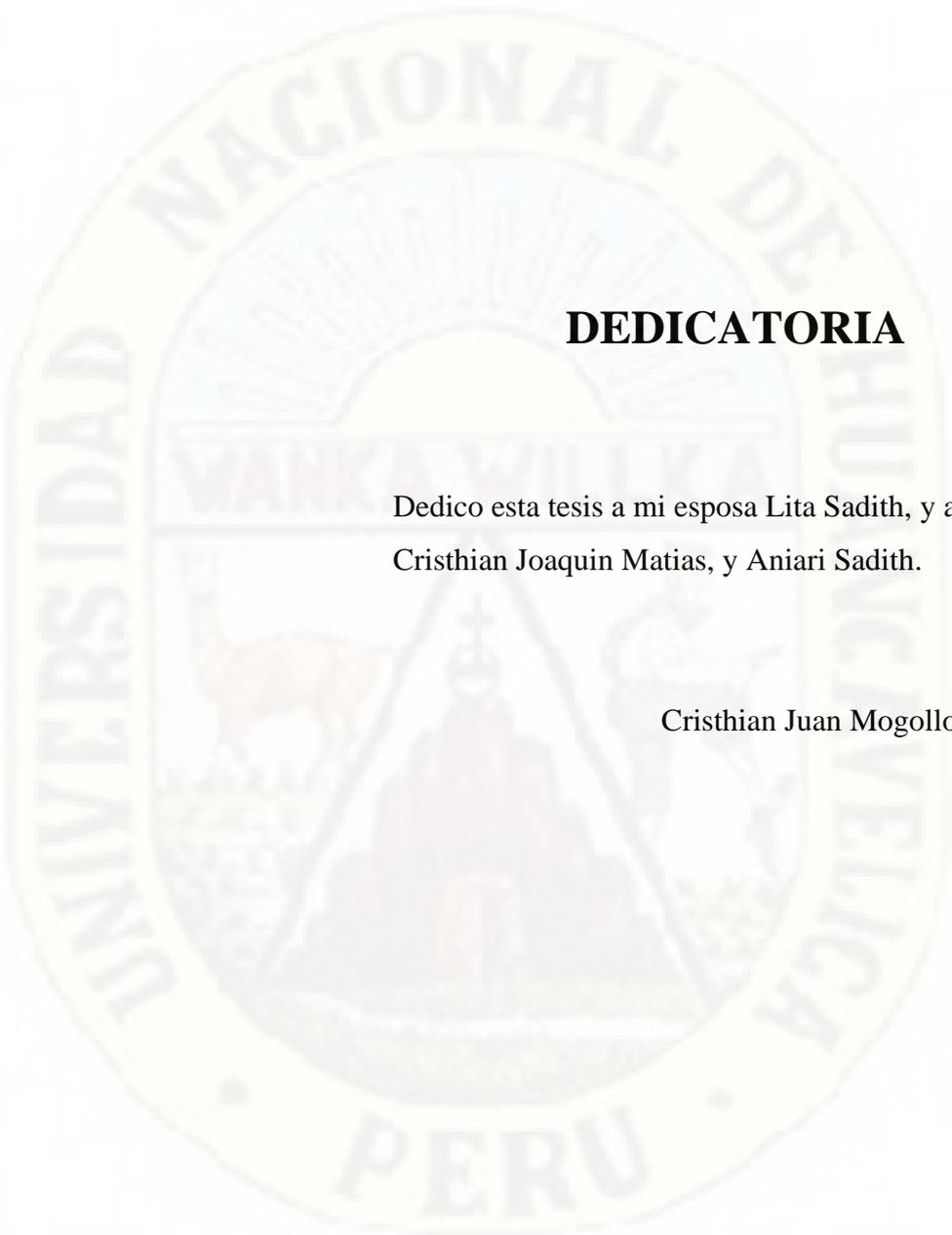

.....
Dr. Fernando Martin TORIBIO ROMAN
Secretario del Jurado


.....
Mg. Victor Guillermo SANCHEZ ARAUJO
Vocal del Jurado



ASESOR

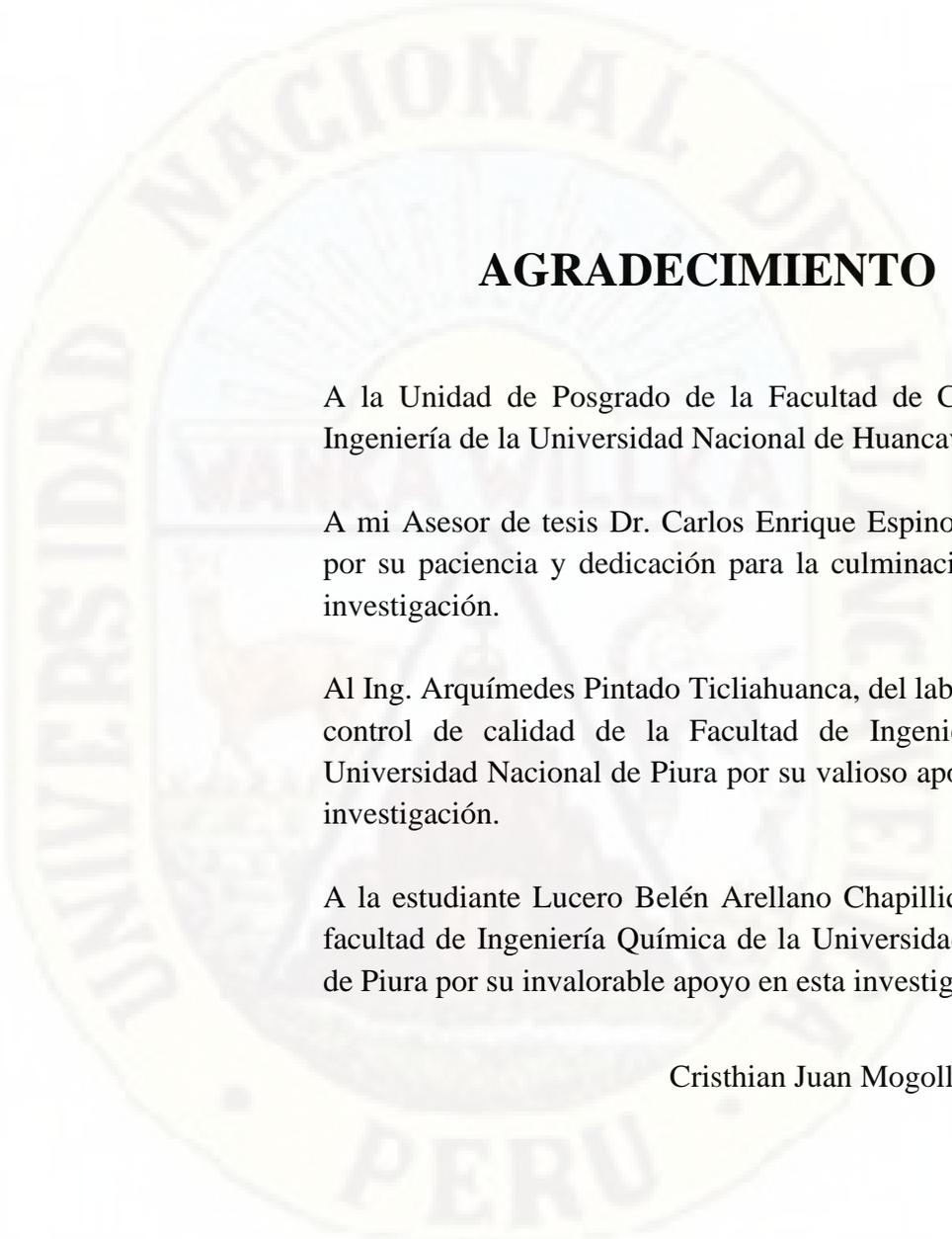
Dr. Carlos Enrique Espinoza Quispe



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi esposa Lita Sadith, y a mis hijos
Cristhian Joaquin Matias, y Aniari Sadith.

Cristhian Juan Mogollon Vizueta



AGRADECIMIENTO

A la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional de Huancavelica.

A mi Asesor de tesis Dr. Carlos Enrique Espinoza Quispe, por su paciencia y dedicación para la culminación de esta investigación.

Al Ing. Arquímedes Pintado Ticliahuana, del laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Piura por su valioso apoyo en esta investigación.

A la estudiante Lucero Belén Arellano Chapilliquén, de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Piura por su invaluable apoyo en esta investigación.

Cristhian Juan Mogollon Vizqueta

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar los efectos que produce la aplicación de un sistema multifase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas. Se usó el método científico además del método experimental mediante un diseño preexperimental de pre prueba y post prueba. La población estuvo compuesta por viviendas rurales que cuentan con unidades básicas de saneamiento en terrenos con baja permeabilidad y ubicadas en el sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, en la provincia de Morropón en la región Piura. La muestra se obtuvo utilizando el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales aprobado por el sector Vivienda mediante la RM 273-2013-VIVIENDA y estuvo compuesta por seis muestras pre test y seis muestras post test. Los resultados obtenidos demostraron que el sistema multifase tiene un 78.32% de eficiencia en la remoción de la DBO₅, 81.60% de remoción de la DQO, 86.67% de eficiencia en la remoción de turbiedad y 37.63% de eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes, por lo que se concluyó que el sistema multifase tuvo un óptimo funcionamiento, en tal sentido es factible su implementación en zonas rurales con sistemas de unidades básicas de saneamiento en terrenos con baja permeabilidad o que no cuenten con un sistema final de disposición de las aguas residuales domésticas ya que los resultados obtenidos cumplen con los límites máximos permisibles para la disposición final de aguas tratadas.

Palabras clave: hidráulica, ambiental, humedal sub superficial, aguas residuales.

ABSTRACT

The present research aimed to determine the effects produced by the application of a multiphase subsurface wetland system in the complementary treatment of domestic wastewater. The scientific method was used in addition to the experimental method through a pre-test and post-test pre-experimental design. The population was made up of rural dwellings that have basic sanitation units on land with low permeability and located in the San Sebastián sector of the Buenos Aires district, in the Morropón province in the Piura region. The sample was obtained using the protocol for monitoring the quality of effluents from domestic or municipal wastewater treatment plants approved by the Housing sector through RM 273-2013-HOUSING and was composed of six pre-test samples and six post-test samples. test. The results obtained showed that the multiphase system has a 78.32% efficiency in the removal of BOD5, 81.60% removal of COD, 86.67% efficiency in the removal of turbidity and 37.63% efficiency in the removal of thermotolerant coliforms, therefore It was concluded that the multiphase system had an optimal operation, in this sense its implementation in rural areas with systems of basic sanitation units in lands with low permeability or that do not have a final system for the disposal of domestic wastewater is feasible. that the results obtained comply with the maximum permissible limits for the final disposal of treated water.

Keywords: hydraulic, environmental, subsurface wetland, wastewater.

ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACION	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCION	xvii

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Justificación	6
1.5 Limitaciones del estudio	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	10
---	----

2.1.1	A nivel internacional.....	10
2.1.2	A nivel nacional	28
2.2	Bases teóricas sistema multi fase de humedal sub superficial.....	43
2.2.1	Humedal sub superficial	43
2.2.2	Tipos de humedal sub superficial	45
2.2.3	Componentes del sistema multi fase de humedal sub superficial.....	50
2.2.4	Funcionamiento del sistema multi fase de humedal sub superficial.....	51
2.2.5	Diseño del sistema multi fase de humedal sub superficial	54
2.3	Bases teóricas tratamiento de aguas residuales domésticas.....	59
2.3.1	Tratamiento de aguas residuales domésticas	59
2.3.2	Características de las aguas residuales domésticas.....	60
2.3.3	Niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	64
2.3.4	Tratamiento de aguas residuales domésticas en el ámbito rural en el Perú .	65
2.3.5	Normas de calidad del agua residual tratada en el Perú.....	71
2.4	Bases teóricas para viviendas rurales.....	73
2.4.1	Ámbito rural.....	73
2.4.2	Viviendas rurales en la costa del Perú	73
2.5	Formulación de hipótesis	74
2.5.1	Hipótesis general.....	74
2.5.2	Hipótesis específicas	75
2.6	Definición de términos.....	75
2.7	Identificación de variables	78
2.8	Operacionalización de variables	81

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Ámbito de estudio	81
3.2	Tipo de la investigación	82
3.3	Nivel de investigación.....	83
3.4	Método de investigación	83
3.5	Diseño de investigación	84
3.6	Población, muestra y muestreo	85
3.7	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	87
3.8	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	90
3.9	Descripción de la prueba de hipótesis.....	92

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

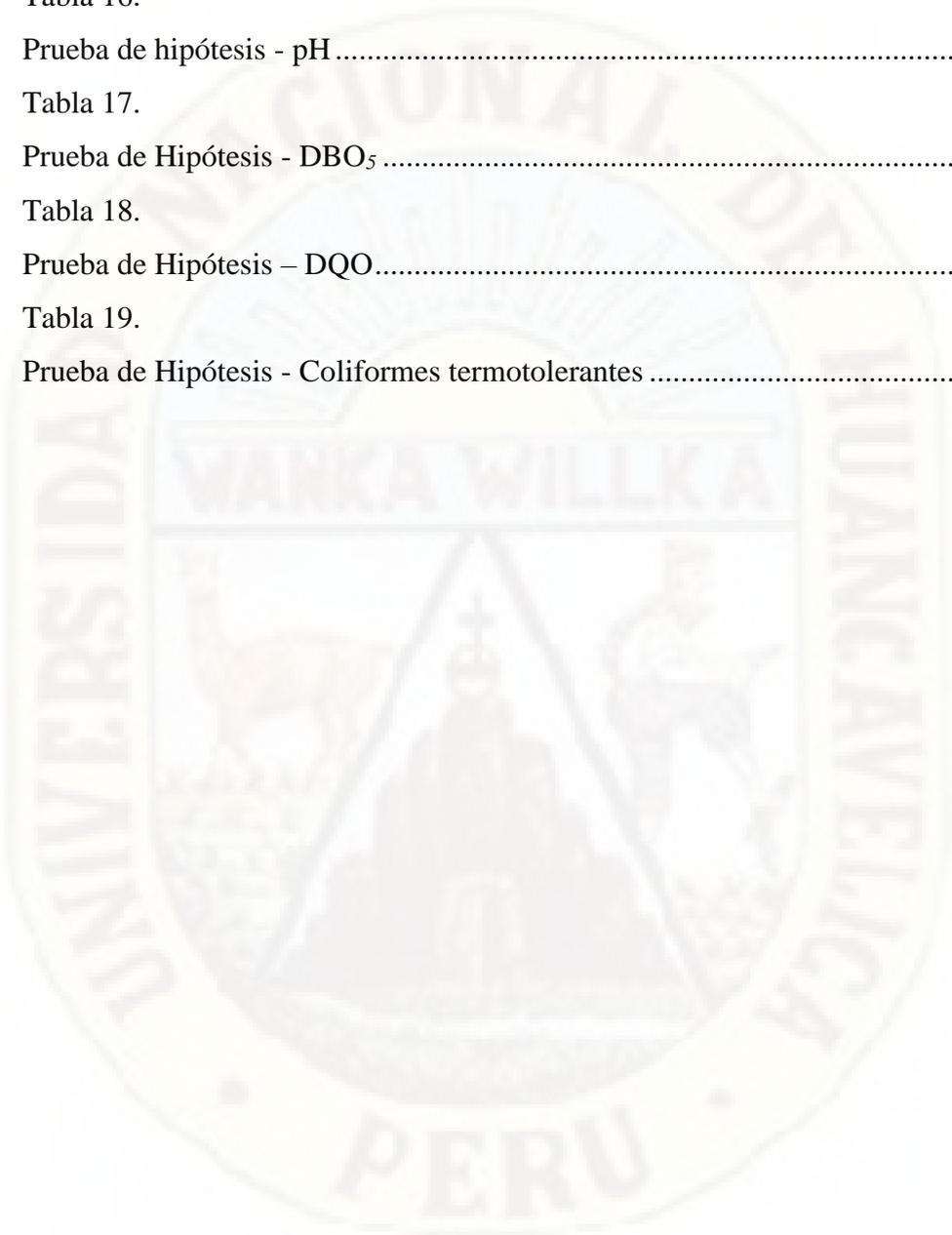
4.1	Presentación e interpretación de datos	96
4.1.1	Modelamiento matemático del sistema multifase.....	97
4.1.2	Procedimiento de construcción	100
4.2	Resultados de los parámetros.....	109
4.2.1	Resultados de propiedades físicas.....	110
4.2.2	Resultados de propiedades químicas	113
4.2.3	Resultados de propiedades biológicas	115
4.3	Resultados de la eficiencia de remoción de los parámetros.....	116
4.3.1	Resultados de propiedades físicas.....	116
4.3.2	Resultados de propiedades químicas	117
4.3.3	Resultados de propiedades biológicas	118
4.4	Contrastación de parámetros con los límites máximos permisibles	119

4.4.1	Contrastación de propiedades físicas	119
4.4.2	Contrastación de propiedades químicas	120
4.4.3	Contrastación de propiedades biológicas	122
4.5	Proceso de prueba de hipótesis	123
4.5.1	Hipótesis específica 1 – Propiedades físicas.....	125
4.5.2	Hipótesis específica 2 – Propiedades químicas	127
4.5.3	Hipótesis específica 3 – Propiedades biológicas	129
4.6	Discusión de resultados.....	130
	CONCLUSIONES	137
	RECOMENDACIONES	138
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
	ANEXOS	
	Anexo 1. Matriz de consistencia.....	148
	Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos variable independiente	150
	Anexo 3. Instrumento de recolección de datos variable dependiente.....	151
	Anexo 4. Base de datos de la variable independiente	153
	Anexo 5. Base de datos de la variable dependiente.....	154
	Anexo 6. Validación de instrumento: R.M. N° 273-2013-VIVIENDA.....	158
	Anexo 7. Certificados de laboratorio	193
	Anexo 8. Planos del sistema multifase	199
	Anexo 9. Certificado de originalidad UNICHECK.....	201
	Anexo 10. Evidencias fotográficas	203
	Anexo 11. Prueba de normalidad de datos	204

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	
Parámetros típicos de diseño	48
Tabla 2.	
Rendimientos de depuración de Humedales sub superficiales	53
Tabla 3.	
Ecuación de diseño para humedal sub superficial horizontal y vertical	54
Tabla 4.	
Características del medio para sistemas de flujo sub superficial.....	55
Tabla 5.	
Lista de partidas	58
Tabla 6.	
Unidad básica de saneamiento de hoyo seco ventilado	66
Tabla 7.	
Unidad básica de saneamiento con compostera.....	67
Tabla 8.	
Unidad básica de saneamiento con tanque séptico	68
Tabla 9.	
Límites máximos permisibles para efluentes de ARD	71
Tabla 10.	
Estándares de calidad ambiental para reuso de agua residual doméstica en riego de vegetales o bebida de animales	72
Tabla 11.	
Definición operativa de variable e indicadores.....	81
Tabla 12.	
Criterios de inclusión y exclusión de la población	86
Tabla 13.	
Lista de partidas del sistema multifase	101
Tabla 14.	
Prueba de Hipótesis – Temperatura	125

Tabla 15.	
Prueba de hipótesis – Turbiedad.....	126
Tabla 16.	
Prueba de hipótesis - pH.....	127
Tabla 17.	
Prueba de Hipótesis - DBO ₅	128
Tabla 18.	
Prueba de Hipótesis – DQO.....	128
Tabla 19.	
Prueba de Hipótesis - Coliformes termotolerantes	129



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	
Sistema de funcionamiento de un humedal sub superficial	44
Figura 2.	
Humedal artificial de flujo sub superficial horizontal	46
Figura 3.	
Humedal artificial de flujo sub superficial vertical	47
Figura 4.	
Sistema multi fase de humedal sub superficial	49
Figura 5.	
Flujo de agua en capas paralelas.....	52
Figura 6.	
Escala de pH	63
Figura 7.	
Unidad básica de saneamiento de hoyo seco ventilado	66
Figura 8.	
Unidad básica de saneamiento de cámara compostera	67
Figura 9.	
Unidad básica de saneamiento con sistema de tanque séptico	68
Figura 10.	
Unidad básica de saneamiento con tanque séptico mejorado	69
Figura 11.	
Pozo de absorción	69
Figura 12.	
Zanja de percolación.....	70
Figura 13.	
Localización del ámbito de estudio.	81
Figura 14.	
Localización del estudio en el distrito de Buenos Aires	82

Figura 15.	
Fotos de trabajos preliminares	100
Figura 16.	
Fotos de movimiento de tierras.....	101
Figura 17.	
Fotos de impermeabilización	102
Figura 18.	
Fotos de caja de registro	103
Figura 19.	
Fotos de instalación de tubería PVC 2”	104
Figura 20.	
Instalación en el ingreso del sistema	105
Figura 21.	
Fotos de instalación de salida del sistema	106
Figura 22.	
Fotos de suministro de medio granular.....	107
Figura 23.	
Fotos de colocación de arena gruesa	108
Figura 24.	
Implantación de la vegetación	109
Figura 25.	
Resultados temperatura.....	110
Figura 26.	
Resultados de turbiedad	111
Figura 27.	
Resultados de pH	112
Figura 28.	
Resultados de DBO ₅	113
Figura 29.	
Resultados de DQO	114

Figura 30.	
Resultados de coliformes termotolerantes	115
Figura 31.	
Porcentaje de remoción turbiedad	116
Figura 32.	
Porcentaje de remoción DBO ₅	117
Figura 33.	
Porcentaje de remoción DQO	117
Figura 34.	
Procentaje de remoción de coliformes termotolerantes.....	118
Figura 35.	
Contrastación de temperatura con límites máximos permisibles	119
Figura 36.	
Contrastación de pH con límites máximos permisibles.....	120
Figura 37.	
Contrastación DBO ₅ con límites máximos permisibles.....	120
Figura 38.	
Contrastación DQO con límites máximos permisibles.....	121
Figura 39.	
Contrastación coliformes termotolerantes con límites máximos permisibles	122

INTRODUCCION

En la actualidad, según el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, en el ámbito rural del Perú, el 75.4% de las viviendas rurales no tienen cobertura a los servicios de alcantarillado; debido a ello, con el objeto de reducir esta brecha, se vienen aplicando políticas públicas para mejorar la disposición final de las aguas residuales domésticas en estas zonas rurales a través de la construcción de unidades básicas de saneamiento.

El problema de investigación radica en que, con la construcción de unidades básicas de saneamiento (UBS) con arrastre hidráulico con instalación de pozos sépticos o biodigestores se eliminan los efluentes a través de las zanjas y/o pozos de percolación, sin embargo por la naturaleza de los suelos arcillosos que tienen baja permeabilidad, el terreno termina por saturarse en un corto tiempo, obligando a la familia a construir varios pozos de percolación inundando toda la vivienda de malos olores y con exposición a los mosquitos transmisores de enfermedades. En el caso de las soluciones con UBS y sistema de compostera se ha verificado que el 86.4% de estas letrinas han dejado de utilizarse al poco tiempo de terminarse.

Debido a esta situación, se investigó los antecedentes de estudio identificándose los sistemas sub superficiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas como alternativas tecnológicas, económicas y sostenibles, de este modo el objetivo de la investigación fue determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires, Morropón, Piura en el año 2020.

La investigación se desarrolló con un enfoque metodológico cuantitativo, y con un diseño experimental. Las dimensiones e indicadores fueron recogidos de la revisión de las bases teóricas y de la normativa nacional del Perú, así como de los distintos antecedentes del estudio realizadas en diferentes partes del país y del mundo. Por la

naturaleza aplicada de la investigación se buscó obtener una regla técnica para aplicar este sistema multi fase de humedal sub superficial de manera inmediata y lograr cambios en la realidad, en una situación concreta como es el deficiente tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en viviendas rurales.

La hipótesis de investigación fue que la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, produce un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura durante el periodo 2020.

La presente investigación está estructurada de la siguiente manera:

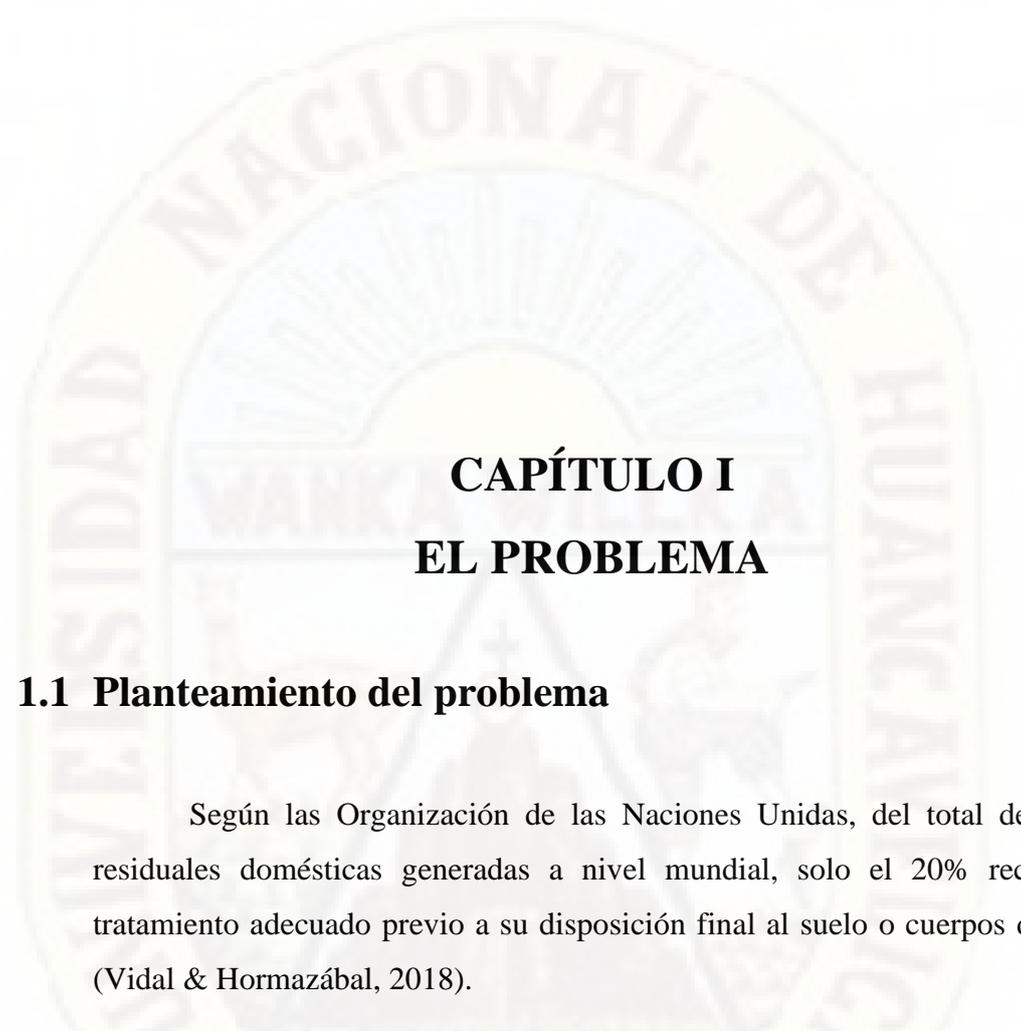
En el capítulo I se realizó el planteamiento del problema, que comprende la situación problemática, la formulación del problema, los objetivos de la investigación, la justificación e importancia del estudio y la factibilidad y limitaciones del estudio.

En el capítulo II se desarrolló el marco teórico, los antecedentes internacionales y nacionales de la investigación, las bases teóricas, la formulación de las hipótesis, definición de términos, identificación y operacionalización de las variables.

En el capítulo III se desarrolló la metodología de la investigación, que comprende el tipo, método, nivel y diseño de investigación, población de estudio, muestra y muestreo; técnicas e instrumento de recolección de datos; técnicas de procesamiento y análisis de datos.

En el capítulo IV se reportan los resultados de la investigación, la contrastación de la hipótesis y la discusión de resultados.

Finalmente, el informe de investigación presenta las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Según la Organización de las Naciones Unidas, del total de aguas residuales domésticas generadas a nivel mundial, solo el 20% recibe un tratamiento adecuado previo a su disposición final al suelo o cuerpos de agua (Vidal & Hormazábal, 2018).

En Chile, en las viviendas rurales construidas de manera distante entre sí, con sistemas de tratamiento de aguas residuales a través de pozos sépticos, se ha diagnosticado que en el 21% de proyectos ejecutados el suelo sobrepasa su capacidad de infiltración lo que genera que el efluente se devuelva hacia los aparatos sanitarios de la vivienda, dejando en evidencia un deficiente tratamiento del efluente procedente del pozo séptico (Carvacho & Fuentes, 2007).

En Bolivia, sólo un 40% del agua residual doméstica que se generan en las viviendas rurales recibe un tratamiento y muchas veces de manera insuficiente, el resto, es decir el 60% se vierte directamente sobre cuerpos

naturales de agua o peor aún, se utiliza en actividades de riego sin respetar los límites permitidos establecidos en la normativa local (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

En Colombia, el 86% de la población rural no cuenta con servicios públicos convencionales de alcantarillado, por ello se ha implementado, en las viviendas rurales, acceso a sistemas de letrinas y saneamiento, que solucionan la reducción de la exposición a las excretas y sustancialmente mejoran la higiene, pero no garantizan que exista una correcta gestión en el vertido final del efluente (Morato, Subirana, & Gris, 2006).

En México, se estima que 17.5 millones de habitantes que viven en zonas rurales no cuentan con servicio de saneamiento convencional y las intervenciones que realiza el gobierno federal para el sistema de disposición final de aguas residuales domésticas culmina con la construcción de un baño húmedo con tanque séptico sustentable, pero sin realizar una evaluación del efluente de este sistema, que se dispone directamente sobre los cuerpos de agua de cada sector poblado (Menchaca & Lozada, 2017).

En el Perú, hasta el año 2018, se registró que el 83.4% de la población del área rural no tiene acceso a un sistema de red pública de alcantarillado. Asimismo, se tiene que, la eliminación de aguas residuales domésticas en la zona rural se realiza mediante pozo séptico (23.5%), por pozo ciego o negro (26.1%), mediante letrina (7.3%) y el 25.4% no tiene ningún sistema de eliminación (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018). En todos los casos, la disposición final de las aguas residuales domésticas se realiza por intermedio de pozos y/o zanjas de percolación o de manera directa al suelo.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, estima que 8.3 millones de peruanos que viven en zonas rurales no cuentan con el servicio de alcantarillado, en tal sentido, viene implementando la construcción de unidades

básicas de saneamiento para la dotación del servicio de saneamiento, sin embargo, estas soluciones, si bien es cierto solucionan la disposición de excretas y aguas grises, no solucionan la salud ambiental de los pobladores, ya que las mismas producen malos olores y dejan de utilizarse al poco tiempo de ser construidas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

Según el Boletín del Ministerio de Salud, en el 2018, las enfermedades diarreicas agudas en el Perú ocuparon el tercer lugar en la lista de demanda de consulta médica ya que el 12.5 % de los niños y niñas menores de 5 años en zonas rurales padece o sufre enfermedades diarreicas agudas. Esta enfermedad que afecta especialmente a los niños que viven en las zonas rurales está asociado a un deficiente acceso al servicio de agua potable y a un menor acceso a la eliminación adecuada de excretas (Ministerio de Salud, 2018).

En la región Piura, el Programa nacional de saneamiento rural viene implementando soluciones a través de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico, para atender la demanda de 256,000 habitantes que viven en zonas rurales que no cuentan con el servicio de saneamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016). Las soluciones a través de estas unidades básicas de saneamiento, contemplan un tratamiento complementario a través de zanjas y pozos de percolación, pero en la zona rural costeña el suelo de naturaleza arcillosa se caracteriza por tener una permeabilidad muy lenta lo que hace que el agua residual doméstica aflore hacia la superficie convirtiéndose en foco de infección, atrayendo moscas y generando mal olor en las viviendas.

En la provincia de Morropón, el estudio para el mejoramiento de los servicios de saneamiento en una localidad rural, demostró que el 78% de las viviendas cuentan con una unidad básica de saneamiento con hoyo seco, pero sin embargo el 82.4% no lo utiliza, se encuentra abandonado y en mal estado, ya que el diseño, en la práctica, genera malos olores y no evita la proliferación de moscas y mosquitos (Municipalidad provincial de Chulucanas, 2014).

El distrito de Buenos Aires está conformado por catorce centros poblados rurales menores, ubicados sobre una geografía irregular que no permite implementar sistemas convencionales de saneamiento básico en sus viviendas. Del total de viviendas rurales el 26% elimina las aguas residuales a través de pozos sépticos, el 37.4% a través de un pozo ciego y el 6.4% no tiene servicio de saneamiento y dispone directamente sobre el suelo las aguas residuales domésticas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

Por otro lado, en las viviendas con pozo ciego y sin servicio de saneamiento, que representan el 43.8% de las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018), se dispone directamente las aguas residuales domésticas sobre las vías públicas del mismo sector, luego del cual algunas aguas se infiltran el suelo y el subsuelo sin ningún tipo de tratamiento.

Una de las consecuencias de no atender esta problemática es la afectación a la salud pública, pues el deficiente tratamiento de aguas residuales domésticas vertidas sobre el terreno sin los límites establecidos en la normativa, genera la propagación de mosquitos que transmiten enfermedades infecciosas como el dengue, y otras enfermedades asociadas a la mala disposición de aguas residuales como las enfermedades infecciosas intestinales y enfermedades diarreicas agudas en los niños, que representaban hasta el año 2016 el 15.35% de causas de consulta externa en el distrito (Centro de salud Buenos Aires, 2016).

Así también, de no atender esta problemática se genera un impacto ambiental negativo en la zona por la expedición de malos olores en los centros poblados con viviendas rurales del distrito de Buenos Aires, pues, el actual vertimiento de las aguas residuales domésticas tratadas inadecuadamente genera una contaminación de suelos, de aguas subterráneas y la eutrofización de aguas. En tal sentido se hizo necesario investigar sistemas no convencionales para

proveer un tratamiento eficiente a las aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires en la provincia de Morropón en la región Piura.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?

1.2.2 Problemas específicos

¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, en su propiedad física, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?

¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, en su propiedad química, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?

¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, en su propiedad biológica, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, en su propiedad física, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.

2. Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, en su propiedad química, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.

3. Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, en su propiedad biológica, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.

1.4 Justificación

La presente investigación contribuye a la literatura científica con una síntesis del funcionamiento del sistema multi fase de humedal sub superficial como tratamiento complementario de aguas residuales domésticas que permite el tratamiento de las mismas en comunidades con viviendas rurales con climas subtropicales y con suelos con baja permeabilidad.

Los resultados de la investigación permiten establecer una regla técnica que complemente lo normado en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú y en la Norma Técnica de Diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural, para su implementación en comunidades con viviendas rurales y con suelos de baja permeabilidad.

Esta investigación expresa su importancia en el enunciado siguiente: deficiente tratamiento de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires; que permite conocer de qué forma se puede resolver el problema de la mala disposición final de las aguas tratadas incorrectamente que originan problemas en la salud pública, en el medio ambiente y en la sostenibilidad de los recursos hídricos.

Los resultados de la investigación están en consideración de las autoridades locales y regionales, pues sirven para implementar soluciones en las comunidades con viviendas rurales que no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, de modo tal que permitan actuar sobre las consecuencias de este problema de forma inmediata.

La investigación reviste una relevancia social, pues con los resultados se conoció las condiciones de diseño a través de la experimentación de un sistema multi fase de humedal sub superficial a escala real que se pueda replicar en las viviendas rurales de los distritos colindantes al distrito de Buenos Aires de la

provincia de Morropón, de la región Piura y del Perú con similares características geográficas, de suelos y climatológicas, con el objeto de que se mejoren las condiciones sociales, de salud pública y de calidad de vida de los habitantes de estas viviendas.

Los resultados de la investigación tienen un impacto en el medio ambiente, pues esta investigación generó información de los efectos positivos del sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales ubicadas en zonas geográficas que registran climas con altas temperaturas a lo largo del año y suelos con baja permeabilidad como las que experimenta una comunidad rural en el distrito de Buenos Aires, en la provincia de Morropón – Piura.

Los resultados demuestran que el efecto de este sistema, mejora las condiciones del suelo y subsuelo, evita la contaminación por malos olores y reduce la contaminación de las aguas subterráneas que tienen como cuerpo receptor de aguas el río Piura, que sirve para el riego de las tierras agrícolas.

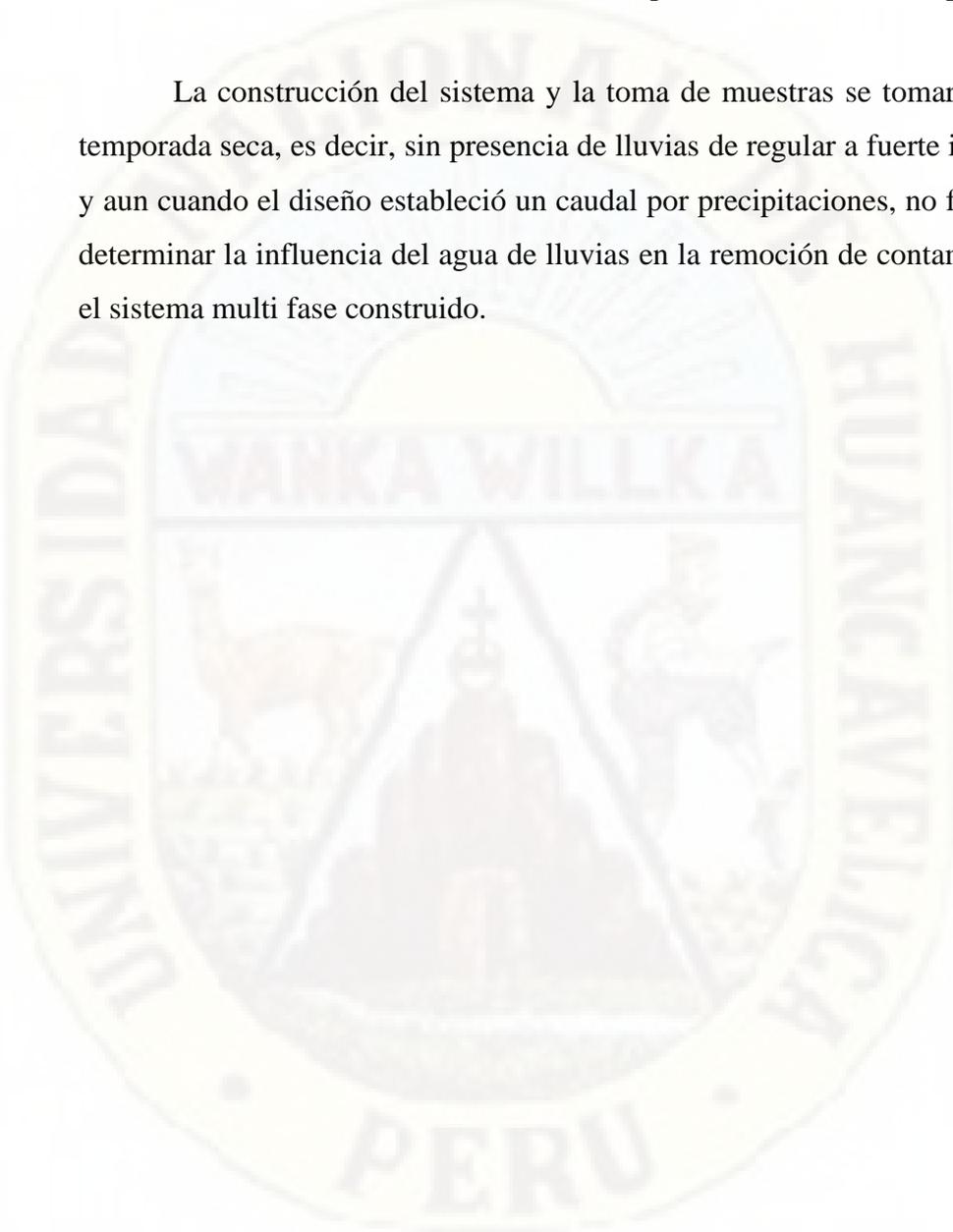
1.5 Limitaciones del estudio

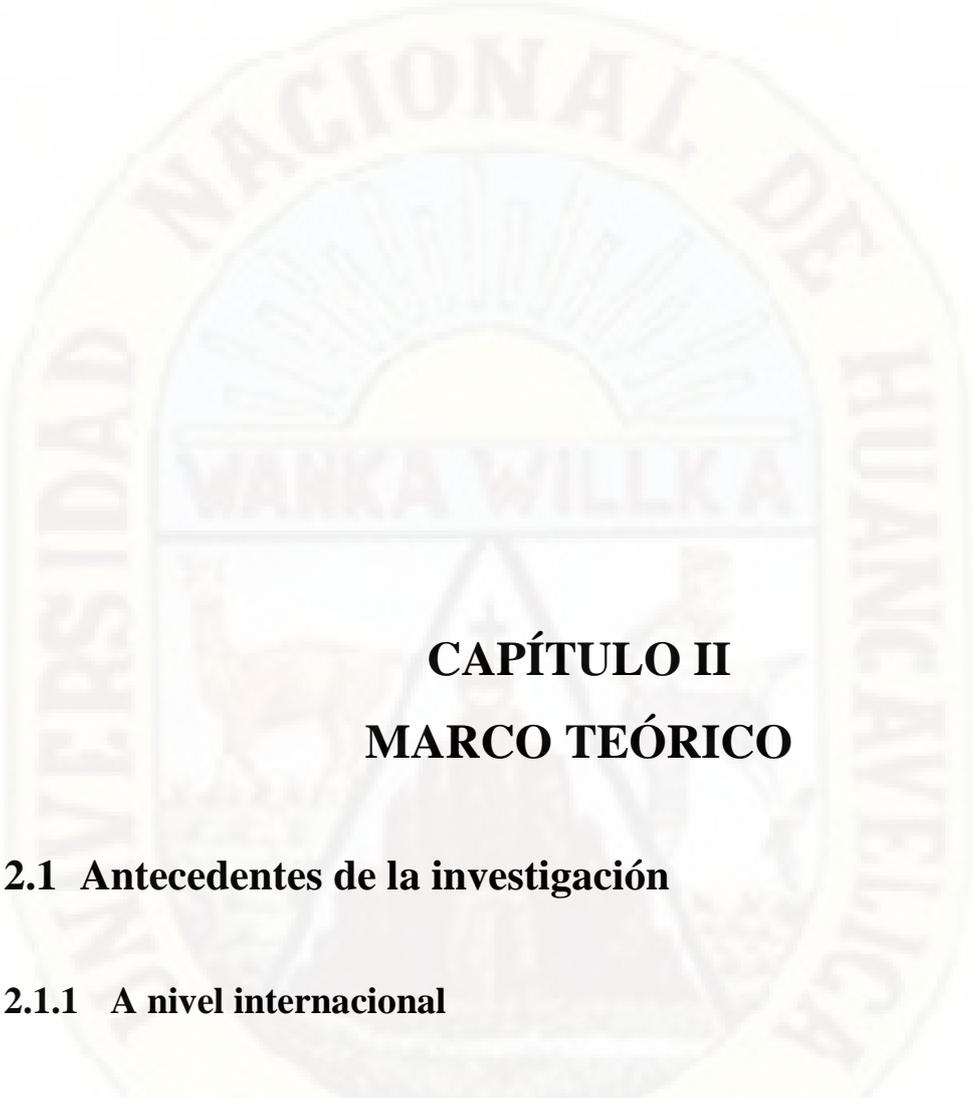
Una de las limitaciones del estudio, está definida por el número de construcciones del modelo del sistema a escala real. Debido al corto presupuesto, sólo fue posible construir un modelo del sistema multi fase de humedal sub superficial, el mismo que se hizo en una vivienda rural seleccionada a criterio del investigador. De este modo, se obtuvo las muestras a un determinado tipo de grupo familiar compuesto por seis miembros, buscando que la selección de esta vivienda rural genere el caudal promedio necesario para que las muestras sean representativas.

Otra limitación del estudio está referida al tiempo estacional en que se realizó la investigación. El estudio se llevó a cabo entre los meses de enero y

marzo con condiciones climáticas distintas al de otras estaciones, por lo que los resultados obtenidos pueden variar su medición de nivel de eficiencia en remoción de contaminantes en relación a temporadas con menor temperatura.

La construcción del sistema y la toma de muestras se tomaron en una temporada seca, es decir, sin presencia de lluvias de regular a fuerte intensidad, y aun cuando el diseño estableció un caudal por precipitaciones, no fue posible determinar la influencia del agua de lluvias en la remoción de contaminante en el sistema multi fase construido.





CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel internacional

Andreo (2014), en España, desarrolló una investigación en su tesis doctoral titulada: *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas*, cuyo objetivo fue evaluar la efectividad depuradora de un humedal construido de tipo híbrido sobre los vertidos de aguas residuales domésticas generadas por una vivienda unifamiliar. La investigación se desarrolló con una metodología de investigación cuantitativa con un diseño experimental. La hipótesis de investigación fue que el diseño de un humedal construido permite una óptima depuración de aguas residuales domésticas. Los resultados fueron los exigidos

por los Reales Decretos 509/1996 para vertido de aguas residuales tratadas y 1620/2007 de reutilización de aguas regeneradas destinadas a uso agrícola y se obtuvo un 99% de eficiencia en la remoción de pH, temperatura, aceites y grasas, tensioactivos aniónicos y catiónicos, compuestos nitrogenados, ortofosfato, contenido de oxígeno, sólidos decantables, % NaCl y sólidos totales disueltos, recuento de aerobios mesófilos, enterobacterias totales, coliformes termotolerantes y clostridium sulfito-reductores, también fueron estudiados para comprobar la efectividad en el proceso de depuración del sistema. Las conclusiones del estudio fueron: 1. Se evaluó la eficacia del proceso de depuración y eliminación total de aguas residuales municipales mediante un sistema híbrido de humedales construidos, localizado en el sudeste español, en concreto, en el campo de Elche; 2. El sistema estuvo compuesto por: una depuradora de oxidación total no conectada, a modo de decantador y separador primario, un humedal construido de flujo sub superficial horizontal, plantado con *Phragmites australis* y aireación asistida durante el primer año de funcionamiento, y un humedal de flujo superficial plantado con distintas especies que cumple la función de balsa de evaporación total; 3. Las aguas residuales domésticas afluentes presentaron un carácter medio-fuerte, estando influenciadas por los hábitos particulares de consumo familiar y poniendo de manifiesto el carácter genuino de cada agua residual; 4. El agua residual tratada por el sistema de humedales construidos cumplió con los parámetros exigidos por la legislación para verter y reutilizar durante el primer año de funcionamiento. Los efluentes del segundo año no cumplieron con las exigencias legales debido a desajustes hídricos en el humedal sub superficial que afectaron también al humedal superficial situado posteriormente; 5. El humedal de flujo sub superficial sufrió un secado total al comienzo del segundo año de estudio, provocado por un excesivo desarrollo vegetativo derivado del sobredimensionamiento del sistema, situación que se repitió al año siguiente. Este hecho provocó la aparición de vías preferentes de circulación de agua que derivó en un desajuste hídrico e iónico en el lecho del sistema, teniendo como consecuencia el no cumplimiento de la legislación; 6.

Los sistemas de humedales construidos se postulan como tratamiento de aguas residuales secundario y en muchos casos terciario, destacando el caso de humedales construidos tipo híbrido: sub superficial más superficial.”

Bayas (2011), en Ecuador realizó su investigación titulada: *Diseño de Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones rurales de sierra norte de Ecuador: Aplicación a la parroquia Lita*, cuyo objetivo fue presentar una alternativa accesible de gestión de las aguas residuales para las poblaciones rurales de la sierra norte del Ecuador. El investigador utilizó como metodología un diseño descriptivo, en tal sentido no tuvo una hipótesis de investigación. Los resultados determinaron que se cumplió con las normas del Ecuador para vertidos a cuerpos de agua dulce, así como la normativa española en base a la cual se desarrolló el trabajo. Las principales conclusiones del estudio fueron: 1. Se ha realizado el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia de Lita utilizando humedales artificiales, los mismos que presentan como mayor ventaja frente a sistemas convencionales su facilidad de explotación e integración al paisaje del lugar. Explotación que puede ser realizada por los habitantes de la parroquia con herramientas sencillas. Estas características hacen que este tipo de sistemas sean recomendados para las poblaciones rurales del norte del Ecuador; 2. El presente trabajo se ha realizado con valores característicos de aguas residuales, tomados de bibliografía técnica. Antes de la puesta en marcha del sistema. Se recomienda una calibración de los diseños con datos obtenidos en campo.

Belmonte (2018), en España, desarrolló una investigación titulada: *Análisis del ciclo de vida de un humedal construido para el tratamiento y reutilización de aguas residuales domésticas en la zona rural de Jaén, Perú*, cuyo objetivo fue identificar y diseñar una tecnología apropiada para el tratamiento y reutilización de aguas residuales domésticas en la zona rural de Chamaya (Perú) y evaluar sus impactos ambientales. El método de

investigación fue de tipo aplicada con un diseño experimental; la hipótesis de investigación fue que un correcto funcionamiento de un humedal construido permite el tratamiento y reutilización de aguas residuales domésticas en la zona rural de Jaén, Perú. Los resultados arrojados indican que el impacto ambiental generado por la implementación del sistema se verá reducido entre un 96% y un 99% en las diferentes categorías estudiadas. Las conclusiones fueron: 1. Los datos utilizados en el inventario para llevar a cabo el estudio son resultado de un previo diseño y dimensionamiento del sistema necesario para tratar el agua hasta los niveles de contaminación deseados; 2. Los resultados obtenidos del escenario del humedal construido muestran que la mayor parte del impacto es generado en la construcción de la fosa séptica, donde la cantidad de ladrillos utilizados contribuye significativamente. Exceptuando la categoría de cambio climático, estos materiales representan del 41 al 93% del impacto total generado en las diferentes categorías; 3. La emisión de gases de efecto invernadero tiene un efecto directo sobre el cambio climático. Estos gases son generados en el sistema durante el proceso de tratamiento del agua y son emitidos directamente a la atmósfera. En esta categoría representan un 71% del total del impacto generado; 4. Mediante la construcción e implementación del sistema natural de tratamiento y reutilización de aguas residuales diseñado, el impacto ambiental generado se vería reducido entre un 96% y un 99% en las diferentes categorías estudiadas.

Caballero y Osorio (2018), en Colombia realizaron una investigación titulada: *Tratamiento de aguas residuales usando Rhizophora mangle (mangle rojo) para la remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal artificial de flujo vertical*, con una metodología con un diseño experimental. El objetivo de la investigación fue evaluar la función depuradora del mangle rojo utilizado como vegetación de una planta piloto de humedal artificial de flujo vertical a escala laboratorio. La hipótesis establecida por el investigador fue que utilizando el mangle rojo en un humedal artificial de flujo vertical se remueven nutrientes y materia orgánica

en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las instalaciones de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar. Los resultados demostraron que luego de un tiempo de adaptación para la vegetación se alcanzaron eficiencias para la DBO₅ por encima del 90%, fósforo total de 70%, nitrógeno total de 90%, coliformes total de 99% y coliformes fecal de 99%. Las conclusiones más importantes fueron: 1. Las eficiencias obtenidas de remoción de materia orgánica y nutrientes en el sistema de humedal con mangle rojo, superaron las expectativas al obtener resultados en el orden de 90% y más, posicionándolo como una herramienta potente para el tratamiento de las aguas residuales; 2. Se puede concluir que la remoción de coliformes totales y fecales en este tipo de humedales con la vegetación utilizada es recomendable desde el punto de vista de cumplimiento a la norma colombiana, sin embargo la variación entre el tiempo de retención hidráulico que va del 3 al 7 día en las eficiencias no es muy significativo; 3. Aunque las eficiencias del Rhizophora Mangle o mangle rojo en cuestión de humedales es muy similar a las producidas por la planta enea esta se vuelve la mejor opción al hablar de ciudades costeras gracias a su fuerte asimilación con el medio, su gran capacidad para resistir altas concentraciones de sal y a las sustancias que esta produce que ayudan a la limpieza de las aguas residuales; 4. Las remociones de carga orgánica en el sistema estuvieron por encima del 80% e incluso mucho de los valores pasaron del 90% hasta rozar el 100%, indicando así la viabilidad del sistema para ser implementado para la depuración de aguas residuales o como elemento participativo dentro de un sistema macro de tratamiento de aguas residuales; 5. La implementación de los humedales artificiales como sistema de tratamiento de los efluentes de fuentes domésticas y también de otros establecimientos que estén vertiendo sus residuos o desechos orgánicos, sobre todo en áreas consideradas reservas naturales, o en comunidades de bajos recursos se considera viable y se recomienda para utilizarse en cualquier sitio que disponga de las condiciones necesarias y que tenga el firme propósito de contaminar el medio que les rodea.

Castellano, Rodríguez y Zurita (2011), en México titularon su investigación: *El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México*, con una metodología con un diseño descriptivo, por lo que no tuvo hipótesis de investigación. El objetivo de la investigación fue analizar la cobertura del servicio del alcantarillado en comunidades rurales; obtuvo como resultados que, en general, los sistemas de tratamiento que más se están utilizando en las comunidades rurales, son las lagunas de estabilización y los humedales artificiales precedidos de sedimentación o fosa séptica. Los resultados determinaron que es posible emplear tecnologías naturales de tratamiento, tales como las lagunas de estabilización y los humedales artificiales, que implican bajos costos de construcción, operación y mantenimiento. Las tecnologías de bajo costo, amigables con el ambiente, representan la opción más recomendable para países en vías de desarrollo como México. Las principales conclusiones fueron: 1. Se debe promover a corto plazo, la aplicación en las numerosas comunidades rurales esparcidas en todo lo largo y ancho del país, esta tecnología de humedales artificiales porque es en estas comunidades pequeñas que es más cómoda su implementación, su uso ayudaría a frenar la degradación de los ecosistemas acuáticos y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en México; 2. La implementación de tales sistemas también permitiría el reúso de las aguas residuales tratadas para la irrigación de los cultivos, con lo que se disminuiría el consumo de agua de primer uso.

Espinoza (2014), realizó una investigación en Colombia titulada: *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo sub superficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30,000 habitantes*, cuyo objetivo fue identificar la factibilidad y las características de diseño y operación de humedales de flujo sub superficial para su correcta aplicación en una localidad de 30,000 habitantes, La metodología utilizada fue descriptiva y no tuvo hipótesis de investigación. Los resultados determinaron que la

diversidad en los criterios de diseño de humedales para el tratamiento de aguas residuales indica la necesidad de adelantar estudios que contribuyan a definir con mayor perfección sus valores. Se llegó a las siguientes conclusiones: 1. De acuerdo con los antecedentes relacionados, los humedales artificiales con espejo de agua predominan en los Estados Unidos, en poblaciones de hasta 20.000 habitantes, debido a que requieren un menor costo de inversión que los humedales de flujo sub superficial; 2. Los humedales artificiales de flujo sub superficial, han sido utilizados principalmente en Europa y Estados Unidos, sin embargo, en Colombia es una tecnología nueva, y sólo se conocen experiencias de su utilización en el municipio de Macanal; 3. Los humedales artificiales son utilizados como tratamiento secundario o terciario de aguas residuales municipales, lo que hace necesario implementar previamente tratamiento primario (sedimentadores, otros), a fin de garantizar su adecuado funcionamiento y prevenir en el largo plazo problemas de colmatación; 4. Los modelos para el diseño de humedales artificiales de flujo sub superficial, presentan diferencias en el cálculo del área superficial de diseño y, por tanto, en el tiempo de retención y en la carga superficial orgánica aplicada”

Granados (2018), realizó su trabajo de grado titulado: *Estudio de factibilidad de la implementación de Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en Toquilla*, cuyo objetivo fue determinar la factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en zona de páramo. La hipótesis de la investigación fue que el sistema de tratamiento de humedal artificial tiene una buena factibilidad para ser aplicado en zonas rurales de ecosistema alto andino. Se realizó un diseño experimental y los resultados demostraron que se tuvo una eficiencia del 53.1% en la remoción de la DQO, del 36.6% en la remoción de la DBO₅, 75.7% en la remoción de sólidos suspendidos, 5.43% en sólidos disueltos totales y 33.83% en turbidez. Las principales conclusiones de la investigación fue ron: 1. Las plantas que pueden ser utilizadas en un humedal artificial que este localizado a un rango

de temperatura entre -1 0C - 120C son Papiro Enano, Lirio Amarillo, Lirio Blanco, Lirio Morado y Lirio de Páramo, para el caso del papiro, aunque no sean sus condiciones más propicias las raíces continuaran con vida y la planta puede retoñar luego de heladas; 2. Un humedal artificial puede ser una adecuada solución como tratamiento logrando una eficiencia de remoción de 53,1 % DBO₅, 36,6 % DQO y 75,7% SST. Para la planta piloto desarrollada se observaron cambios notorios a simple vista en la coloración del agua percibiéndose una mejora en su calidad; 3. En la evaluación socioeconómica se evidenció que al darle un valor a las externalidades que se producen de no realizar el tratamiento a las aguas residuales, el análisis costo beneficio es positivo incluso desde el primer año de ejecución, lo que lo hace viable, además genera varios beneficios en la población como el empleo y aumento de producción de peces; 4. En la evaluación ambiental se evidenció que en el proyecto planteado se originan varios impactos positivos como incremento en la calidad del agua superficial y subterránea, disminución en la contaminación del suelo y reducción de emisiones de gases efecto invernadero; otros impactos negativos como remoción de cobertura vegetal por excavación, remoción de Suelo por excavación y generación de residuos por mantenimiento y abandono.

Gutierrez, Ortiz, Sánchez y Ortega (2009), realizaron una investigación en México titulada: *Tratamiento de aguas residuales por medio de la instalación secuencial de humedales artificiales*, con un diseño experimental, y cuyo objetivo fue diseñar e instalar un sistema de humedales artificiales horizontales instalado de manera secuencial, y tuvo como hipótesis que “la actividad conjunta del sustrato, microorganismos y plantas de un sistema de humedales artificiales permitirá lograr el tratamiento de aguas residuales y obtener agua con calidad para reutilizarlas en áreas verdes”. Los resultados de la investigación indicaron remoción del 45% de la DBO₅, 37% de remoción de grasas y aceites y 80% de coliformes fecales. Las conclusiones de la investigaron fueron: 1. El diseño e instalación de este tipo de sistemas

de tratamiento en serie, permitió conocer de manera independiente la eficiencia de remoción de los contaminantes de cada humedal, además de observar el comportamiento de los organismos vegetales con los que cuentan;

2. En el primer módulo del humedal, se lleva a cabo un mayor porcentaje de remoción de los contaminantes, no obstante los parámetros como grasas y aceites, nitrógeno, plomo, coliformes totales y fecales, no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la norma oficial mexicana;
3. El tiempo de adaptación y crecimiento de las plantas es indispensable para lograr una mayor eficiencia del sistema, ya que durante este proceso el porcentaje de remoción es bajo, comparado con los resultados obtenidos después de que las plantas se establecieron.
4. Las plantas establecidas en los humedales, soportaron periodos con un bajo volumen de aguas residuales, como en el caso de los periodos vacacionales de la universidad, en donde la concentración de contaminantes disminuye considerablemente;
5. El agua residual utilizada provee de los nutrimentos necesarios a los organismos vegetales, viéndose reflejado en el crecimiento acelerado de nuevos organismos así como también en su altura, e indiscutiblemente, en la remoción alta de la carga orgánica del agua residual tratada;
6. Los compuestos tóxicos y organismos patógenos contenidos en el agua pueden ocasionar contaminación de suelos y toxicidad en las plantas afectando la cadena trófica que incluye al hombre. Por lo tanto, el agua tratada bajo las condiciones de pre estabilización del sistema, no es adecuada para el reúso en áreas verdes.

Haro & Aponte (2010), en México, realizaron una investigación titulada: *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular*, con un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación y cuyo objetivo fue evaluar la factibilidad de un humedal artificial en un asentamiento irregular, que realice el tratamiento a las aguas residuales domésticas con el fin de minimizar el impacto ambiental que dichas aguas tienen sobre el manto acuífero y fomentar su aprovechamiento. Los resultados determinaron que, en México, a través de sistemas como los

humedales artificiales, se puede incentivar la reutilización del agua en diferentes actividades a un costo menor que el de otros métodos de tratamiento. Las principales conclusiones fueron: 1. Es necesario estudiar las características específicas de cada sitio para definir los criterios específicos de diseño; 2. dimensiones suficientes y una leve pendiente con el fin de no requerir sistemas de bombeo; 3. El sistema de tratamiento a través de humedales artificiales puede ser aplicado en asentamientos rurales, semiurbanos y urbanos donde sea necesario remover materia orgánica, nitrógeno y fósforo; 4. La utilización de humedales artificiales genera beneficios ambientales ya que disminuye la contaminación ocasionada por el vertido de las aguas residuales directamente al suelo;

Lara (1999), realizó una investigación en Colombia titulada: *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*, cuyo objetivo fue describir los componentes de este sistema. Utilizó una metodología de investigación con un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación. Los resultados fueron que los humedales artificiales son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales, especialmente si estas son de origen urbano, y puede llegar a tener un gran futuro en países en vías de desarrollo que tengan climas tropicales o sub tropicales; y las principal conclusión fue: 1. Este tema ha sido estudiado en países con climas bastante fríos, por lo cual es necesario realizar trabajos de investigación tendientes a adecuar los modelos de diseño a las condiciones locales y analizar sus comportamientos con los otros factores involucrados que junto con la temperatura pueden llegar a variar las eficiencias, como pueden ser las plantas autóctonas y los tipos de medios granulares.

López y Rodríguez (2016), realizaron una investigación en Colombia titulada: *Evaluación de un humedal artificial de flujo sub superficial como tratamiento de aguas residual doméstica en la vereda Bajos de Yerbabuena en el municipio de Chía, Cundinamarca*, cuyo objetivo fue diseñar, construir

y evaluar el humedal artificial de flujo sub superficial horizontal como tratamiento de agua residual doméstica en la Vereda Bajos de Yerbabuena en el municipio de Chía, Cundinamarca. La hipótesis de investigación señaló que con un humedal artificial de flujo sub superficial se obtiene la reutilización de aguas tratadas y se puede prevenir problemas de salubridad y saneamiento básico enfocado a una familia vulnerable. Los investigadores utilizaron como metodología un diseño experimental y los resultados demostraron que la DBO₅ tuvo una remoción del 80.8%, la DQO tuvo una remoción del 71.2%, grasas y aceites tuvo una remoción del 59.9% y de sólidos suspendidos del 75%. Las principales conclusiones fueron: 1. El sistema depurativo como humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal diseñado, construido y evaluado a tan solo un mes de funcionamiento constante tiene altos beneficios como la mejora paisajística, eliminación de vectores y malos olores, bajos costos de mantenimiento, fácil uso y mantenimiento por parte de los habitantes beneficiados, teniendo en cuenta que para la reutilización de agua residual doméstica es óptimo por su remoción en promedio de 57.25% en los ocho contaminantes analizados, con un porcentaje mayor de 70% en los parámetros más relevantes en la investigación (DBO₅ y DQO); 2. Diseñar, construir e implementar humedales artificiales como una alternativa tecnología viable para la depuración de aguas residuales múltiples, es decir de tipo doméstico, industrial o agropecuario, represente baja inversión especialmente cuando es posible utilizar estos medios para la depuración de las aguas de origen rural, puede llegar a tener un gran futuro en países en vías de desarrollo que tengan climas tropicales o subtropicales; 3. El humedal artificial implemento cumple con todos los requerimientos para su funcionamiento el agua residual domestica está siendo tratada y ha mostrado una eficiencia del 97% aumentando así la remoción de carga orgánica contaminante presente en el cuerpo hídrico; 4. La eficiencia de remoción identificada en el sistema depurativo en cada uno de los parámetros representa un valor significativo por el gran porcentaje removido, DBO₅ y DQO disminuyeron por la carga hidráulica que arrastraron los sólidos generados por las velocidades de flujo y

al menos tiempo de contacto entre el sustrato y los microorganismos aerobios y anaerobios presentes en los micrófitos, evaluando estos parámetros como los más importantes para la reutilización de este tipo de agua

Marroquín (2019), realizó una investigación en Colombia titulada: *Las plantas alternativas de tratamiento de aguas residuales y grises como solución para las aguas residuales del sector rural del municipio de Cajamarca*, cuyo objetivo fue implementar un sistema de que mejore la calidad de agua residual que se vierte actualmente a los ríos y quebradas del municipio, que sea económico y de fácil construcción para las viviendas rurales, utilizando humedales artificiales como fito depuradoras. La investigación se desarrolló con un diseño experimental y tuvo como hipótesis que la implementación de plantas alternativas de tratamiento de aguas residuales y grises solucionan el tratamiento de las aguas residuales del sector rural del municipio de Cajamarca. Los resultados obtenidos después del análisis de las aguas afluentes y efluentes del sistema a escala, arrojó resultados satisfactorios en lo correspondiente con su color y pH, lo que deja altas expectativas para el desarrollo de un análisis químico apenas el presupuesto lo permita. y concluyó en lo siguiente: 1. Por otro lado, ante la imposibilidad de realizar el modelamiento del sistema de tratamiento para las aguas negras, basándonos en la literatura podemos afirmar que existe una mejora considerable en la calidad del agua, según el documentos Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, se puede verificar los resultados favorables en el proceso de purificación, lo cual esperamos poder comparar con resultados propios en un futuro próximo mediante la implementación de una Patang (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, Salazar Giraldo, Hernández Angel,2010); 2. El objetivo es crear un sistema que además de cumplir con su función, presente un costo accesible para la población rural en contraste a sus homónimos, así mismo contar materiales de construcción comunes

Mena (2014), en Colombia, realizó una investigación en su tesis de maestría titulada: *Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal (HAFSSH) en el colegio comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de san fernando, municipio de Pasto, Colombia*, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales Artificiales de flujo subsuperficial horizontal. La hipótesis de la investigación fue que el sistema de humedales artificiales podría ser una alternativa eficaz para tratar las aguas residuales domésticas en el corregimiento de San Fernando, Municipio de San Juan de Pasto, Colombia. El investigador utilizó un método con un diseño experimental y los resultados obtenidos en la remoción de la DBO₅ fue de 93.89%, en la DQO de 84.98%, en sólidos suspendidos del 40%. Las conclusiones más importantes fueron: 1. El agua residual del Colegio Comfamiliar Siglo XXI, sede campestre ubicado en el Corregimiento de San Fernando Municipio de Pasto, luego de ser tratada por el sistema de tratamiento con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HASSFH), genera una calidad de agua óptima para realizar una descarga a un cuerpo receptor, sin embargo, el agua residual tratada puede ser reutilizada para uso agrícola según los resultados obtenidos; 2. Los valores de eficiencia de remoción obtenidos para la DBO₅, la DQO, nitrógeno total, fósforo total, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, coliformes totales y Escherichia Coli, indican que de acuerdo a los límites exigidos por la norma para el control de los vertimientos en Colombia (Decreto 1594 de 1984), cumplen con lo estipulado, presentando valores de remoción mayores al 80% en cada parámetro; 3. Este tipo de tecnología para depuración de Agua Residuales por su baja complejidad de construcción es una de las alternativas más eficientes y de bajo costo, lo cual facilita su implementación en fincas, casas campestres, colegios, urbanizaciones, comunas, entre otros; 4. El humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (HASSFH) construido, servirá como herramienta para la ejecución del Plan de Saneamiento y Manejo de

Vertimientos (PSMV) Resolución 1304 del 2004 de la legislación ambiental de la República de Colombia, por el cual se regulan los tipos de vertimientos que se vuelcan a las fuentes hídricas y los diferentes niveles de descontaminación que los municipios deben realizar para cumplir un proceso sinérgico que beneficie al ambiente.

Moncada (2016), en Colombia, realizó una investigación titulada: *Análisis del desempeño y operación de humedales construidos de flujo sub superficial vertical para tratamiento de agua residual doméstica en países tropicales*, cuyo objetivo fue analizar el desempeño y operación de humedales construidos de flujo sub superficial vertical para el tratamiento de aguas residuales domésticas en países tropicales, utilizando un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación. Los resultados determinaron que, los humedales son una tecnología viable para el tratamiento de aguas residuales, en especial, cuando éstas son de origen doméstico. Las conclusiones fueron las siguientes:

1. Este tema no ha sido estudiado a profundidad en países de clima tropical, concentrándose todos los estudios en países de clima frío;
2. Al incluir arena en la conformación del medio filtrante, se observa que el humedal tiene una mayor capacidad de remover mayor capacidad de remover materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno amoniacal y patógenos, en comparación de un medio filtrante conformado solo por grava. Sin embargo, esto trae mayores riesgos de obstrucción;
3. Los humedales de flujo sub superficial vertical, generan un ambiente aerobio, lo cual facilita la remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal;
4. En el momento de diseñar el humedal se debe tener en cuenta el tipo de vegetación ya que de esta dependerá gran parte de la eficiencia del humedal;
5. Este tratamiento puede tener futuro en países de vía de desarrollo que presenten clima tropical, donde satisfacer los requerimientos y necesidades del mismo como terreno, costos de diseño y operación sean menores. los humedales se recomiendan para zonas rurales, donde se disponga de terreno;
6. Su gran requerimiento de área los hace poco viables para grandes centros poblados.

Montiel (2014), en México, realizó una investigación titulada: *Humedal artificial*, cuyo objetivo fue planear y diseñar un sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en un edificio de oficinas, mediante la tecnología de humedal artificial, logrando niveles de tratamiento consistentes con bajo consumo de energía y bajo mantenimiento. Utilizó un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación y los resultados demostraron que las remociones promedio de materia orgánica como demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) fue de 39% y de sólidos suspendidos totales (SST) fue de 64%. Las conclusiones más importantes fueron: 1. El propósito de los humedales artificiales es el saneamiento del agua residual...empleando contactores biológicos rotatorios (CBR), un proceso biológico aerobio de biomasa adherida; 2. El diseño hidráulico adecuado de un humedal artificial determina que tenga un buen funcionamiento. Todos los modelos de diseño que se usan actualmente asumen condiciones uniformes de flujo pistón y no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento; 3. El flujo de agua en un humedal de flujo libre es descrito por la ecuación de Manning, que define el flujo en canales abiertos.

Pérez (2009), investigó en su tesis doctoral en México: *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango*, cuyo objetivo fue establecer las bases para el diseño, la construcción y la aplicación de humedales artificiales en la depuración del agua residual doméstica en el estado de Durango. La hipótesis de investigación fue que, dentro de los constituyentes de un humedal artificial, las plantas acuáticas presentan diferencias en su desempeño para depurar agua residual doméstica de acuerdo a la especie utilizada”. Los resultados de la investigación determinaron que se logró remover de 98.46% a 99% los coliformes fecales y de 89% a 99% los fosfatos solubles. Las principales conclusiones fueron: 1. Veintiocho especies de plantas acuáticas se colectaron en los sitios representativos de la calidad

del agua del río El Tunal. La riqueza de especies fue similar para todos y sólo una especie se presentó en las tres calidades de agua (*Persicaria aff. mexicana*) y cuatro especies fueron encontradas en dos sitios (*Eichhornia crassipes*, *Eriochloa acuminata*, *Lemna aff. minuta*, and *Ludwigia sp. 1*); 2. Durante la fase uno, tanto la fase sólida como la líquida llegó a un equilibrio a las 36.4 horas en los sistemas con grava, donde el 98% de FS y N-(NH₄⁺/NH₃) fue removido en ese tiempo. La capacidad de adsorción disminuyó para FS en la fase dos y en la fase tres el sistema con planta de más tiempo (ED año) logró la mejor remoción; 3. Para implementar humedales, como sistema complementario en la depuración de agua residual, no es necesario un tiempo de maduración para remover CF, pero sí para aumentar la eficiencia de remoción para N-(NH₄⁺/NH₃); 4. Para aumentar el tiempo de vida útil del humedal, cuando se pretende remover fósforo soluble, es necesario optimizar el tamaño de la grava.”

Pérez, Domínguez, Gonzáles, & Jiménez (2014), en Cuba realizaron una investigación titulada: *Diseño de un humedal sub superficial vertical para la depuración de las aguas residuales de la Universidad central “Marta Abreu” de las Villas*, cuyo objetivo fue diseñar un humedal sub superficial de flujo vertical para el tratamiento de las aguas residuales en la universidad central “Marta Abreu” de las Villas, utilizando una metodología con un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación y obtuvo como resultado que según los valores obtenidos para el valor actual neto de \$48,000.00 y una tasa de rentabilidad de 36% el sistema es viable económicamente. Las conclusiones del estudio fueron: 1. La capacidad de la planta de tratamiento de residuales de la universidad no satisface las necesidades actuales de depuración y presenta un alto grado de deterioro, lo que impide su rehabilitación; 2. Las aguas residuales que son vertidas actualmente en la planta de tratamiento no representan el flujo y composición real de las mismas, por el deterioro de las redes sanitarias y de abasto de agua; 3. La depuración de las aguas residuales de la zona central de la universidad con tres celdas de humedal sub superficial

vertical de 1200 m., con un tratamiento primario previo, es técnica, económica y ambientalmente factible.

Rabat (2016), en España, realizó una investigación titulada: *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*, cuyo objetivo fue estudiar el funcionamiento de los sistemas naturales de depuración, profundizándose en la tecnología de los humedales artificiales de flujo superficial y de flujo sub superficial horizontal y vertical, utilizando una metodología con un descriptivo sin hipótesis de investigación. El resultado demostró que los modelos volumétricos tienen como principales ventajas: El diseño se basa en el flujo medio a través del sistema. Esto permite compensación por las pérdidas de agua y ganancias debido a la precipitación y la evapotranspiración. Las conclusiones fueron las siguientes: 1. Los sistemas naturales de depuración, en especial los humedales artificiales, funcionando aislados o en combinación, parecen ser una alternativa adecuada para tratamientos secundarios o terciarios en núcleos de pequeñas o medianas poblaciones, por varios motivos: Eficacia en la eliminación de contaminantes; Son aplicables a gran diversidad de influentes; Economía de construcción y funcionamiento, bases de su sostenibilidad; Importantes ventajas ambientales: integración paisajística y formación de ecosistemas (orientación ambiental); Pueden operar sometidos a diferentes condiciones climáticas; 2. Tras el análisis y revisión bibliográfica de los modelos de diseño de remoción de contaminantes que se han analizado en el presente trabajo, se concluye que la mayoría se basan en datos de entrada/salida de contaminantes en humedales existentes o en relaciones de balance de masas, teniendo los modelos la forma general de un modelo de flujo en pistón de primer orden; 3. Los modelos analizados no tienen en cuenta de forma directa las complejas reacciones e interacciones que se producen en los humedales, en su lugar proponen una constante de velocidad aparente para tener en cuenta el cambio en la concentración de entrada y salida. Este enfoque parece ser el mejor que se puede hacer en base a los datos disponibles y a la comprensión que se tiene en

la actualidad sobre los humedales; 4. Los modelos analizados son fundamentalmente equivalentes, pero dan resultados sensiblemente diferentes. Esto se debe en parte al hecho de que estos modelos no se han desarrollado teniendo como base el mismo conjunto de datos y también debido a las diferencias en la estructura y contenido de los modelos.

Rosado (2019), en España, investigó: *Diseño de un humedal artificial para la depuración de aguas residuales domésticas en el paraje La Secadora del municipio de Constanza, República Dominicana*, cuyo objetivo fue diseñar un humedal artificial para la depuración de las aguas residuales domésticas, que se integre perfectamente al ambiente del paraje La Secadora del Municipio de Constanza, República Dominicana. Se investigó con un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación. Los resultados demostraron que, considerando que el coste de mantenimiento no tiene una variación significativa entre los humedales verticales y horizontales, y que ambos cumplen con los límites de vertido establecido por las normas de la República Dominicana, resulta más factible la alternativa del sistema vertical ante el sistema horizontal. Ante futuras ampliaciones se podría colocar un modelo horizontal después del modelo vertical para eliminar una mayor cantidad de nitrógeno. Las principales conclusiones fueron: 1. Son muchos los problemas que trae consigo el vertido de aguas residuales a los cuerpos de agua sin previo tratamiento. Las soluciones suelen ser de alto coste, complejas y sofisticadas, lo que las hace ser no viables en lugares de pocos recursos. Es por lo que, la propuesta del humedal artificial en la comunidad de la Secadora es una técnica interesante que permite tratar las aguas residuales domésticas a bajo costes y medios; 2. Con la puesta en marcha de una de estas propuestas de diseño, se pretende disminuir la perturbación del ecosistema, debido a los vertidos de agua residual sin previo tratamiento, logrando que la naturaleza alcance y mantenga su equilibrio ecológico

Silva y Zamora (2005), realizaron una investigación en México titulada: *Humedales artificiales*, con el objetivo de estudiar los modelos de remoción de la DBO₅ y el diseño hidráulico de los tipos de humedales artificiales, así como el dimensionamiento para las condiciones de la localidad de Manizales. Se utilizó un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación. Los resultados demostraron que, los humedales artificiales son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales, teniendo costos bajos en cuanto a instalación, energía y suministro, operación y mantenimiento no requieren un trabajo permanente. Las conclusiones de la investigación fueron: 1. Los diseños hidráulicos para el humedal de tipo superficial expuestos en este trabajo son todos basados en la ley de Darcy, con pequeñas variaciones según investigaciones del autor; 2. Según lo mostrado en este trabajo los autores traban con modelo de reacción de la DBO₅ de primer orden, para el cálculo del área superficial se tiene ecuaciones similares pero con cambios en los valores de constantes, cada autor muestra según lo encontrado en su experiencia de laboratorio; 3. Desafortunadamente los humedales artificiales solo han sido estudiados en Estados Unidos, por lo cual es necesario realizar trabajos de investigación sobre la adecuación de los modelos de diseño a las condiciones locales, como pueden ser las plantas autóctonas, los tipos de medio granulares, etc.

2.1.2 A nivel nacional

Arellano (2017), realizó una investigación titulada: *Humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual doméstica en el caserío Ternique-Piura*, cuyo objetivo fue determinar la calidad del agua residual doméstica tratada en el humedal artificial. El diseño de la investigación fue no experimental. La hipótesis de investigación fue que aplicando un humedal artificial se mejora la calidad del agua residual doméstica del Caserío Ternique en Piura. Los resultados de la investigación fueron: remoción de pH de 7.50, oxígeno disuelto de 8.46 mg/L, conductividad eléctrica de 1131 μ S/cm,

sólidos disueltos totales de 566 mg/L, temperatura de 17.04 °C, la DBO₅ disminuyó de 120 hasta 3 mg/L lo que hace un 97.5% y la DQO disminuyó de 351 hasta 12 mg/L lo que hace un 96.58%. Las conclusiones de la investigación fueron: 1. En esta tesis se determinó que la calidad del agua residual doméstica tratada mediante el humedal artificial es buena, teniendo en cuenta los parámetros analizados y encontrándose dentro de los límites máximos permisibles; 2. Se construyó un humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual doméstica teniendo dimensiones de 1.5 metros de largo, 1 metro de ancho y 90 cm de profundidad con una pendiente de 1% donde se utilizó la especie *Phragmites Australis* (carrizo); 3. Se compararon los resultados obtenidos de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles al finalizar el proceso obteniendo como valores con respecto al humedal artificial los siguientes: pH de 7.5, oxígeno disuelto de 8.46 mg/L, conductividad eléctrica de 1131 μ S/cm, DBO₅ 3 mg/L y DQO 12 mg/L; y en cuanto a los límites máximos permisibles tenemos un pH entre 6,5 – 8,5, oxígeno disuelto \geq 4 mg/L, conductividad eléctrica 2500 μ S/cm, DBO₅ 15 mg/L y DQO 40 mg/L; encontrándose dentro de los límites máximos permisibles.

Calsina y Guerra (2006), investigaron: *Diseño de un sistema de tratamiento terciario de aguas residuales domésticas con tecnología intermedia, en viviendas unifamiliares de la ciudad de Juliaca*, cuyos objetivos fueron diseñar un sistema de tratamiento de agua residual doméstica y especificar los beneficios del sistema de reutilización de agua residual doméstica con tratamiento terciario. Los investigadores utilizaron un diseño descriptivo sin hipótesis de investigación. Los resultados del estudio fueron que, El sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales, diseñado disminuye de manera eficiente la contaminación de las aguas subterráneas con deyecciones humanas. Las conclusiones de la investigación fueron: 1. Los usuarios utilizan el sistema de letrinas convencionales con pozos ciegos de evacuación de excretas con una profundidad promedio de 1,5 a 2 metros,

estando en contacto con el agua subterránea freática, alcanzando a contaminar directamente este valioso elemento y los suelos circundantes; 2. Los componentes: separador de grasas, tanque séptico, y humedal artificial, garantizan la disminución de los contaminantes provenientes de las actividades del hombre.

Castro, Cruz y Flores (2017), realizaron una investigación titulada: *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales sub superficiales con macrófita Alocasia macrorrizhos (orejas de elefante) en la urbanización Los Tulipanes - Chosica, Lima*, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de la macrófita *Alocasia macrorrizhos* (orejas de elefante) en un humedal artificial sub superficial de flujo horizontal para la remoción de los parámetros físico químicos y microbiológicos para el riego de cultivos agrícolas. El método utilizado fue a través de un experimento a escala piloto. La hipótesis de investigación fue que existe una diferencia significativa entre la media de los parámetros fisicoquímicos del pre análisis y la media del post análisis de agua residual. Los resultados obtenidos consiguieron el 60.72% de remoción de parámetros microbiológicos, físico químicos y organolépticos. Las conclusiones fueron: 1. La eficiencia en remoción general del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal con macrófita de *Alocasia* fue de 60.72%, ya que hubo eficacia de remoción del 54.4% en los parámetros fisicoquímicos y un 100% en parámetros microbiológicos; 2. El diseño e implementación del humedal artificial es una alternativa viable para tratar agua residual desde el punto de vista ambiental y económica y ostenta ventajas atractivas para el apoyo de la conservación del ambiente ya que no requieren grandes insumos de energía o máquina para su operación.

Castro, Cruz, Pérez y Coondori (2018), realizaron una investigación titulada: *Eficiencia de tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV con la especie Zantedeschia aethiopica en Viquez – Lurigancho (Perú)*, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de remoción de componentes químicos del

agua doméstica, así como de microorganismos mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical con la especie emergente de *Zantedeschia aethiopica* (cartucho). La investigación fue del tipo aplicada con un diseño experimental y la hipótesis de investigación fue la utilización de la especie *Zantedeschia aethiopica* mejora el tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV en Viquez – Lurigancho (Perú); los resultados lograron demostrar una eficiencia de remoción al 49% de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas. Las conclusiones más importantes fueron: 1. La DBO₅ del agua doméstica de la acequia a tratar fue de 5 mg/lt, luego de pasar por el sistema de humedal con una especie ornamental *Zantedeschia aethiopica* fue de 2.5 mg/lt, con una eficiencia del 50%, el ECA D.S 0015-2015 MINAM categoría 3, exige 15 mg/lt, por ello estamos dentro de la norma indicada; 2. En cuanto al DQO del agua doméstica de la acequia a tratar fue de 11 mg/lt, luego de pasar por el sistema de humedal con una especie ornamental *Zantedeschia aethiopica* fue de 5 mg/lt, con una eficiencia del 50%, el ECA D.S N° 015- 2015 MINAM categoría 3 (riego de vegetales de tallo alto) exige 40 mg/lt, por ello estamos dentro de la norma indicada; 3. Para la temperatura El ECA, D.S 0015- 2015 MINAM categoría 3, donde exige una variación más o menos 3 °C de la temperatura ambiental. En el tratamiento con humedal artificial de flujo subsuperficial con cartucho resultó eficiente al 3.19 %.; 4. En el parámetro del fosfato, se observa que en este parámetro hubo una remoción eficiente del 18.18 % en el sistema, pero no se comparó con la normativa D.S 015-2015 categoría 3 ya que no lo exige. Según Pütz (2010) los compuestos de los fosfatos son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales; 5. En cuanto a los nitratos se observa que en este parámetro hubo una remoción eficiente del 60.62%. No se comparó con la normativa D.S 015-2015 categoría 3 ya que no lo exige; 6. Los coliformes fecales (CF) y totales en el agua doméstica tratada con humedal fue mayor que el efluente del sistema de humedal con *Zantedeschia aethiopica* (140 NMP/100 ml) presentando una eficiencia del 98.7 % en la primera y 92.82 % en la segunda, el ECA D.S 0015- 2015

MINAM categoría 3 (riego de vegetales de tallo alto y bajo) exige 1000 NMP/100 ml, por ello se menciona que está dentro de lo establecido en el decreto.

Cruz (2018), realizó una investigación titulada: *Tratamiento de aguas grises domésticas por el sistema de humedales artificiales con el nuphar luteum en el AH La Rivera– Carabayllo, 2018*, cuyo objetivo fue evaluar el tratamiento de aguas grises domésticas por el sistema de humedales artificiales con el Nuphar luteum en el AA. HH. La Rivera, Carabayllo. La hipótesis de investigación fue que el tratamiento de aguas grises domésticas presenta mejora utilizando un sistema de humedales artificiales con la especie Nuphar luteum. El método utilizado fue tipo aplicativo con un diseño experimental. Los resultados demostraron que hubo una disminución bastante marcada, a los 15 días, en los siguientes parámetros fisicoquímicos y biológicos: La turbidez, que disminuyó en un 97,75% en el humedal 1 (H1) y un 97,73% en el humedal 2 (H2), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se presencia una disminución de 84.88% en el humedal 1 (H1) y un 77,62% del humedal 2 (H2), la demanda química de oxígeno (DQO) disminuye un 65.53% en el humedal 1 (H1) y un 58.70% del humedal 2 (H2) y en la Escherichia Coli disminuyó un 97.94% en el humedal 1 (H1) y un 99.19% en el humedal 2. Las conclusiones de la investigación fueron: 1. Se evaluó los dos tratamientos de aguas grises domésticas por el sistema de humedales artificiales con el Nuphar luteum cada humedal se sembró 6 y 12 plantas acuáticas, obteniendo una eficiencia en el humedal 1 (H1) de 80.3% y en el humedal 2 (H2) de 74.36%.; 2. Se determinó que en la investigación con la planta acuática Nuphar luteum en los humedales artificiales para el tratamiento de agua grises domésticas logró remover algunos contaminantes físicos químicos dando resultados más eficientes en la DBO₅ 82.30%, DQO 69 %, turbidez 97.83 % y SST 70.93%. Asimismo, se determina un 99.19% en la disminución de Escherichia Coli; es decir, al inicio de la prueba se presencié >1600 E.C NMP/ 100 ml en las aguas grises y por el sistema de tratamiento se ha reducido a 13 E.C NMP/100 ml;

3. Se determinó por medio del tratamiento de aguas grises domésticas por los humedales artificiales el porcentaje de reducción contaminantes, siendo así el humedal artificial 1 con la cantidad de 6 plantas acuáticas de *Nuphar luteum*, la más eficiente donde se obtuvo un 80.03% en los análisis de los parámetros en 7 días, de la misma manera los análisis realizados en 15 días se obtienen un 61.10% de eficiencia a comparación del humedal 2; 4. Se determinó en el Humedal artificial 1 un 47.27% de agua tratada y el humedal artificial 2 un 45.46% de la remoción de la materia orgánica en el tratamiento de aguas grises domesticas por el sistema de humedales artificiales con el *Nuphar luteum*.

Egoavil (2018), realizó una investigación titulada: *Implementación de humedal artificial en el tratamiento de agua residual doméstica del proyecto Don Javier 79, Varabamba - Arequipa*, cuyo objetivo fue diseñar la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el sistema de tratamiento de agua residual doméstica del proyecto Don Javier 79, con la finalidad de optimizarlo; sumando al sistema, un tratamiento secundario que garantice el cumplimiento de los Límites máximos permisibles. La hipótesis de la investigación fue que la Implementación del Humedal Artificial mejora significativamente el tratamiento de Agua Residual Doméstica del campamento Don Javier 79. El tipo de investigación fue aplicada y el diseño fue correlacional. Los resultados obtenidos indican que la reducción de la DBO₅ fue del 98.3% y la relación del diseño tuvo un aspecto de 5: 1. Las conclusiones fueron: 1. Después de conocer el comportamiento de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del ARD (pH, temperatura, DQO, DBO₅, SST, coliformes termotolerantes, grasas y aceites), durante el periodo de 7 meses para el punto de control AG-10 (después del tratamiento), se concluye que los parámetros no exceden los LMP, excepto para el mes de setiembre para el parámetro coliformes termotolerantes, donde sí hubo excedencia debido a un incremento de personal y disminución del tiempo de retención en el sistema de tratamiento.

Flores y Huamán (2018), realizaron una investigación titulada: *Sistema de depuración de aguas residuales mediante de flujo sub superficial en la comunidad campesina de Ocopa - distrito Lircay*, cuyo objetivo fue diseñar un sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la Comunidad Campesina de Ocopa - distrito Lircay. La investigación fue del tipo aplicada con un nivel explicativo y un diseño no experimental. La hipótesis de investigación fue que la utilización de un sistema de flujo sub superficial mejora el sistema de depuración de aguas residuales en la comunidad campesina de Ocopa - distrito Lircay. Los resultados obtenidos demostraron que hubo una reducción en promedio de los agentes contaminantes en: 35.32% de sólidos suspendidos totales, 27.59% de DBO₅, 18.68% de DQO, 36.91% de aluminio, 37.72% de nitrógeno total, 34.47% de fósforo total, 32.67% de grasas y aceites, 19.59% de pH y 34.35% de coliformes totales. Las conclusiones de la investigación fueron: 1. Se ha diseñado un sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la Comunidad Campesina de Ocopa – distrito Lircay, lo cual presenta los siguientes componentes: pre-tratamiento (cámara de rejas, desarenador, canaleta Parshall, laguna de maduración y cámara de estabilización de sólidos), tratamiento (humedal artificial de flujo subsuperficial) y almacenamiento (reservorio); 2. Se ha determinado la intervención de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, los cuales intervienen de manera eficiente en la depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la Comunidad Campesina de Ocopa - distrito Lircay; 3. Se ha determinado la intervención de los parámetros climáticos, para lo cual la temperatura promedio de la Comunidad Campesina de Ocopa es de 12.44°C. condición óptima que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica, por lo que se concluye que intervienen de manera eficiente en la depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la Comunidad Campesina de Ocopa - distrito Lircay; 4. Se ha determinado la intervención de los parámetros hidráulicos, para lo cual la

Comunidad Campesina de Ocopa evacua 20.154 m³/día de agua residual, muy inferior a comparación a la granja de cerdos Santa María y el distrito de Chao - Virú, por lo tanto, afirmamos que intervienen de manera eficiente y que es viable realizar el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la Comunidad Campesina de Ocopa; 5. La implementación de un sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la Comunidad Campesina de Ocopa es recomendable, debido a que este sistema es adaptable a las condiciones fisicoquímicas, biológicas, climáticas e hidráulicos de la zona.

Gómez (2017), realizó una investigación titulada: *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*, cuyo objetivo fue evaluar los parámetros de las aguas servidas para ver el comportamiento y la potencialidad fitodepuradora de los tipos de planta descritos en el título de investigación. La investigación se desarrolló con una metodología experimental y la hipótesis de investigación fue que, empleando la especie *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* en humedales artificiales verticales se mejora significativamente el tratamiento de aguas servidas. Los resultados demostraron que, luego de siete meses de evaluación, se concluye que el humedal artificial ha mejorado significativamente el sistema de tratamiento de aguas servidas y cuya eficiencia se demuestra en la reducción del nivel de los contaminantes. La DBO₅ experimentó una reducción hasta 98.3%, DQO 82.8%, grasas y aceites 80.8%, SST 89.0%, y coliformes termotolerantes 99.0%. La conclusión del estudio fue la siguiente: 1. Luego de diseñar el humedal artificial de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas servidas cuyas dimensiones obtenidas fue de 19 m de largo x 3.8 m de ancho x 1 m de profundidad, área de 72.2 m²; se concluye que este influyó positivamente para reducir los niveles de contaminación de las aguas servidas.

Llagas y Guadalupe (2006), realizaron una investigación titulada: *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*, cuyos objetivos fueron diseñar un humedal artificial tipo Sistema de agua superficial libre y describir la formulación matemática de los procesos biológicos en el humedal artificial. El método de investigación fue con un diseño experimental para determinar el tipo de vegetación a utilizar. La hipótesis de investigación fue que de aplicar en el tratamiento de aguas residuales un humedal artificial se puede proponer el uso del agua proveniente de este sistema en el riego de áreas verdes y en el área destinada al servicio de limpieza en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Los resultados demostraron que la dimensión de las celdas para el diseño del humedal en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos está en la relación largo: ancho (4:1); relación influenciada fuertemente por el régimen hidráulico y la resistencia al flujo dentro del sistema. El flujo a través del humedal tiene que vencer la resistencia a la fricción impuesta por la vegetación y la capa de residuos, la energía para superar esta resistencia es suministrada por el caudal calculado entre la entrada y la salida del humedal. Relaciones desde 1:1 hasta 3:1 son también aceptables. Las conclusiones más importantes fueron: 1. Los modelos matemáticos analizados para los sistemas de agua superficial libre (SASL) requieren ser comprobados con datos de campo ya que son sensibles a los cambios de temperatura en los lugares donde se van a llevar a cabo; 2. El agua proveniente de este humedal será usada en los servicios de riego de las áreas verdes como: jardines, estadio universitario, áreas externas y áreas destinadas al servicio de limpieza de la ciudad universitaria, como uno de los objetivos de este proyecto.

Lovera, Quipuzco, Laureano, Becerra, & Valencia (2006), realizaron una investigación titulada: *Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash – Perú*, cuyo objetivo fue implementar y evaluar un sistema integral de manejo de

aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba mediante el uso de sistemas de humedales artificiales para tratar las aguas servidas y su reutilización en un biohuerto comunal. Los investigadores utilizaron, como metodología, un diseño experimental y como hipótesis de investigación indicaron que el tratamiento de aguas residuales mediante el uso de sistemas de humedales artificiales permitirá su reutilización en un biohuerto comunal. Los resultados de la investigación determinaron que existió una remoción en las aguas residuales tratadas del 90.26% de sólidos suspendidos, de 48% de la DBO₅, de 45,45% de fósforo total y de 62.70% de coliformes fecales. Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes: 1. A pesar de los cambios realizados por el personal técnico de la universidad para lograr un relativo mejoramiento de tratamiento, los análisis demuestran que las aguas residuales provenientes del tanque mantienen las mismas características de calidad de agua del afluente, por lo que se considera que el tanque trabaja como un pozo ciego, es decir una cámara que solamente recibe las aguas servidas de las viviendas sin ninguna función de tratamiento; 2. Considerando, que para operar el sistema de tratamiento en el humedal, es importante el trabajo que se realice en el mantenimiento del pre tratamiento, por ello se debe realizar purgas del lodo y del agua residual contenido en el tanque, con el fin de evitar problemas de colmatación en el humedal artificial; 3. El incompleto desarrollo radicular en el suelo, contribuyó a un deficiente desarrollo de bacterias alrededor de las raíces de las plantas, hecho que originó un inadecuado tratamiento aeróbico y un efecto de insolación en el humedal, necesario para mantener una cama libre de variaciones de temperatura (heladas). Se espera que cuando las plantas alcancen una cobertura total en el humedal artificial se obtengan mejores rendimientos en la remoción de la DBO₅ y del nitrógeno amoniacal; 4. El humedal artificial en Lacabamba se trabajó con una alimentación continua. Se recomienda una alimentación de manera intermitente con periodos de reposo de dos o tres días, para favorecer las condiciones aeróbicas y por lo tanto la degradación de materia orgánica y lograr mayor eficiencia de remoción.

Maldonado (2005), realizó una investigación en su tesis de maestría titulada: *Uso de wetlands para el tratamiento y reúso de aguas residuales municipales*, cuyo objetivo fue describir el uso y el funcionamiento de los sistemas naturales de depuración, para el tratamiento y el reúso de aguas residuales municipales. El investigador utilizó como metodología un diseño experimental y tuvo como hipótesis de investigación que el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales permite producir un efluente que puede ser reutilizado sin contaminar el medio ambiente. Los resultados de la investigación determinaron que el sistema tuvo una remoción del 93% de la DBO₅ y del 97% de la DQO, con respecto a la remoción de turbiedad éste varió entre 50% y 97%, asimismo la eficiencia de la remoción de sólidos suspendidos totales fue de 94%. Las conclusiones del presente estudio fueron:

1. Este sistema permite el tratamiento de aguas residuales obteniéndose como productos finales agua tratada que puede ser utilizado sin contaminar el medio ambiente. Asimismo, la totora que es la vegetación utilizada en el sistema, resulta ser un producto que puede ser comercializado lo que elevaría la actividad económica de las localidades y mejorarían la calidad ambiental de la zona;
2. El uso de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales municipales es recomendado para usarse en comunidades donde se descargan los desechos líquidos no tratados o tratados directamente a cuerpos receptores o al subsuelo, ya que se tendrá un impacto favorable al medio ambiente;
3. En un humedal, los costos de construcción están influenciados en gran medida por la distancia desde las canteras de materiales (grava y arena) hasta el sitio de ubicación de la planta.

Núñez (2016), realizó una investigación titulada: *Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar con humedales artificiales de flujo sub superficial, mediante la especie macrófita emergente Cyperus Papyrus (Papiro)*. El método de investigación fue a través de un diseño experimental y la hipótesis de investigación fue que los parámetros

fisicoquímicos y microbiológicos fueron removidos por el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. Los resultados demostraron que el sistema tuvo una eficiencia del 96% de remoción de la DBO₅ y la DQO, del 78% de nitrógeno total, 88% de fósforo total, 61% de oxígeno disuelto, 96% de turbidez, 68% de pH y 100% de coliformes totales y fecales. El objetivo fue estudiar el tratamiento de aguas residuales domésticas con la tecnología de los humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal. Las conclusiones del estudio fueron: 1. El Humedal artificial de Flujo Sub superficial Horizontal (HAFSH) demostró una efectiva remoción en todos los parámetros analizados, alcanzando eficiencias de 96% de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y de demanda química de oxígeno (DQO); 2. Los HAFSH son sistemas de fácil operación y mantenimiento; se consume energía renovable (energía solar), no requiere de personal altamente capacitado, por lo tanto, los costos son bajos; y aplicables a comunidades donde los recursos económicos son bajos; 3. Dicho sistema trabajo con la especie macrófita emergente *Cyperus Papyrus* (Papiro) debido a su alta eficiencia en la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), con un tiempo de retención de 7 días. Las medidas del humedal fueron las apropiadas para mejorar la calidad del agua residual de la vivienda familiar conformada por 5 habitantes; 4. Tanto los parámetros fisicoquímicos como microbiológicos se encuentran por debajo de los valores establecidos por los decretos supremos N° 002-2008-MINAM y la modificatoria N° 015-2015-MINAM; 5. El agua obtenida es apta para ser utilizada en el regadío de vegetales de tallo alto que en dicha investigación son los pastizales. Asimismo, el efluente se encontraba en mejores cualidades organolépticas; ya que no tenían ningún olor desagradable (putrefacto) y tampoco había proliferación de vectores tales como sancudos, mosquitos, entre otros.

Pichiule (2018), realizó una investigación titulada: *Diseño de un Humedal Artificial con la especie "Schoenoplectus Californicus" en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac, Junín*, cuyo objetivo

fue evaluar la eficiencia que tiene el diseño del humedal artificial con la especie “Schoenoplectus Californicus” en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac, Junín - 2018. La hipótesis de investigación fue que el diseño de un humedal artificial con la especie “Schoenoplectus Californicus” tiene un nivel de eficiencia significativa en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac, Junín – 2018. La investigación fue de tipo explicativo con un diseño experimental. Los resultados permitieron obtener una eficiencia significativa de absorción de, 99.60 % de coliformes totales, 98.66 % de coliformes fecales, 99.97% de sólidos totales y DBO₅, 92.98%, los que fueron semejantes a los estudios descritos por Del Carmen (2015) mostrando datos del 96% de coliformes fecales, 97% de coliformes totales, 91.85 % de DBO₅ y 96.9% de sólidos totales. Las conclusiones más importantes fueron: 1. Se determinó que el estudio de calidad de aguas residuales de la planta de tratamiento del distrito de Ahuac no pueden ser usadas para riego de vegetales y bebidas de animales, por que superan los estándares de calidad ambiental para agua. (D.S. 004-2017-MINAM) según categoría 3, y FAO (Food and Agricultura Organización of The United Nations - ONU) obteniendo como resultado bacterias heterotróficas = 11×10^7 , coliformes totales = 5×10^5 , coliformes fecales = 1×10^5 , sólidos totales = 4×10^5 , sólidos suspendidos totales = 1.6×10^5 , sólidos disueltos = 2.4×10^5 , turbidez = 77.00, pH = 7.97, DBO₅ = 46.84 y conductividad = 680, las cuales afectan directamente a un cuerpo receptor natural; 2. Se determinó que el humedal artificial con la especie “Schoenoplectus Californicus”, logró depurar el agua en los 3 primeros meses de tratamiento, disminuyendo significativamente los contaminantes físicos químicos y biológicos de las aguas residuales, esto demuestra que es una buena tecnología ecológica para disminuir la contaminación de las aguas residuales con el fin de reutilizarlas para otro uso.

Raymundo (2017), realizó una investigación titulada: *Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado la Punta - Sapallanga*, cuyo objetivo fue

proponer un modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el Centro Poblado La Punta - Sapallanga – 2017. El investigador utilizó un tipo de investigación aplicada con un diseño no experimental transversal y la hipótesis de investigación fue la implementación de un modelo de sistema de humedal artificial permite mejorar el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado La punta en Sapallanga. Los resultados obtenidos presentaron una disminución del 65.5% en sólidos suspendidos totales, 60.87% de remoción de la DBO₅, 46.67% de remoción de la DQO, 30.14% en fósforo, 48.89% en nitrógeno, 38.89% en grasas y aceites y 35.48% en coliformes totales. Las conclusiones fueron: 1. Los parámetros físicos, químicos y biológicos inciden favorablemente en el tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el barrio de Mallqui; 2. La temperatura promedio del barrio de Mallqui es de 20.4 °C. temperatura que interviene favorablemente en la degradación biológica (remoción de la DBO₅, nitrificación y desnitrificación), asimismo interviene favorablemente en el desarrollo del vegetal totora (Typha); 3. El caudal de diseño de 25.45 m³/día del barrio de Mallqui en comparación con las aguas residuales que evacuan las grandes ciudades es menor, en tal sentido el caudal que evacua el barrio de Mallqui influye favorablemente en el tratamiento mediante humedal artificial de flujo superficial. Asimismo es apropiado hacer el tratamiento mediante humedal artificial de flujo superficial para el caudal que evacua el barrio de Mallqui; 4. La propuesta del modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial presenta una etapa de pre – tratamiento compuesto por los componentes: rejilla y canal de aproximación, desarenador, canal Parshall, cámara de estabilización de sólidos, laguna de maduración, asimismo una etapa de tratamiento mediante humedal artificial de flujo superficial con las siguientes dimensiones: área superficial de 242.21 m²; longitud del humedal de 26.96 m.; ancho del humedal de 8.99 m.; altura de 0,6 m; con un tiempo de retención hidráulico de 1.71 días, y área transversal de 5.39 m²; y reservorio de geometría rectangular para acumulación; 5. La

propuesta de modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado La Punta – barrio Mallqui es adaptable, ya que los parámetros físicos, químicos, biológicos, climáticos e hidráulicos de la zona tienen similitud a los parámetros físicos, químicos, biológicos, climáticos e hidráulicos de los humedales naturales de Sapallanga, La Ribera y Chupaca.

Tito (2015), realizó una investigación titulada: *Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie Paragüitas cyperus alternifolius en humedales artificiales, urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho 2015*, cuyo objetivo fue estudiar la tecnología de los humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal. El investigador utilizó una metodología con un diseño experimental y la hipótesis de investigación fue que los humedales artificiales con la especie *Cyperus alternifolius* remueven los contaminantes orgánicos de las aguas residuales grises domésticas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: 97.66% de remoción de la turbiedad, 79.68% de sólidos suspendidos totales, 72.84% de la DBO₅ y 76.85% de la DQO. Las conclusiones más importantes fueron: 1. El humedal artificial con la especie *Cyperus alternifolius* (paragüita) logró remover los contaminantes físicos – químicos orgánicos de las aguas residuales grises municipales. Es decir, el humedal con la planta vegetal indicada presenta mayor eficiencia de remoción en los parámetros de turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Mientras que en el parámetro de sólidos suspendidos totales fue mayor la eficiencia para el humedal testigo (sin plantas); 2. El agua residual luego de ser tratada en el humedal artificial con la especie *Cyperus alternifolius*, cumple con los parámetros DQO y SST exigidos por la legislación ambiental peruana para planta de tratamiento de aguas residuales municipales; 3. El agua residual resultante del tratamiento por el humedal artificial con la especie vegetal *Cyperus alternifolius* cumple con el parámetro turbidez exigidos por la norma internacional; 4. Se puede, del mismo modo,

concluir que el humedal *Cyperus alternifolius* puede ser considerado como tratamiento secundario para las aguas residuales grises municipales.

2.2 Bases teóricas sistema multi fase de humedal sub superficial

2.2.1 Humedal sub superficial

El humedal sub superficial es una tecnología no convencional que sirve como mecanismo biológico para la depuración de los agentes contaminantes contenidos en las aguas residuales domésticas. Es un tratamiento secundario, que se usa para tratar el efluente que proviene de los pozos sépticos o de biodigestores y está compuesto por un lecho de gravas y arenas con una vegetación sobre su superficie (Mena, s.f.).

Los humedales sub superficiales se utilizan de manera complementaria en el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como municipales. Tienen como característica principal que no utilizan energía eléctrica en su funcionamiento, el mantenimiento resulta de fácil operación y su tratamiento tiene un bajo costo en comparación a la tecnología convencional (Maldonado, 2005).

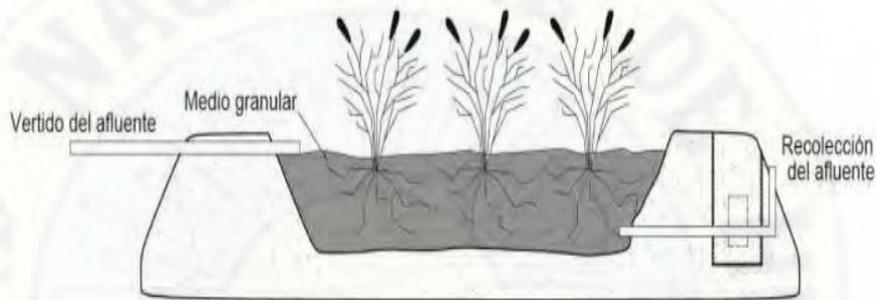
Arias y Brix citados por Sierra & López (2013) definen a los humedales sub superficiales como áreas de poca profundidad compuesta por gravas y arenas que tienen una vegetación adaptada a vivir en zonas saturadas de agua, y que tienen como función la remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas.

Lara citado por Delgadillo et al (2010, p. 38), señala que, “los humedales sub superficiales cumplen con fijar los contaminantes en la superficie del suelo del sistema y buscan optimizar los niveles de tratamiento

de las aguas residuales domésticas con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento”.

Figura 1

Sistema de funcionamiento de un humedal sub superficial



Nota. Imagen obtenida de Sierra y López (2013)

El manual para municipios eficientes elaborado por el Ministerio del Ambiente sobre los humedales sub superficiales señala que, son un sistema de tratamiento de aguas residuales de un modelo no estándar, es decir, se debe diseñar de acuerdo a cada realidad urbana; asimismo indica que solo es viable para efluentes de poblaciones pequeñas y medianas, especialmente rurales (Ministerio del Ambiente, 2009).

Mena (s.f.) afirma que, una de las características principales de los humedales sub superficiales, es que son idóneos para construirse en comunidades rurales que no tienen acceso a sistemas de alcantarillado convencionales, y por tanto sin conexión a estaciones de tratamiento y, que no necesiten de energía eléctrica para su operación.

Larriva & Gonzáles (2017, p. 21), afirman que los humedales, “son una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en comunidades pequeñas o sistemas rurales ya que, no son costosos ni requieren altos consumos energéticos, además la operación y mantenimiento de estos no requieren de personal especializado ni procesos complicados”.

Tradicionalmente este diseño se ha centrado en modelos biológicos dejando a un segundo plano los aspectos hidráulicos como las relaciones geométricas, características del flujo, tiempos de retención hidráulico, tipo de mezcla, etc., los cuales influyen en las eficiencias que pueden lograrse en el proceso biológico que ocurre en cada tipo de reactor (Larriva & Gonzáles, 2017).

La norma técnica que aprueba las opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural define a los humedales sub superficiales como:

Un tratamiento en base a la depuración del agua residual a través de plantas o fitotratamiento. Es un depósito impermeable, donde se permite el flujo de agua pretratada a través de un sustrato previamente acondicionado. El flujo de agua puede ser horizontal o vertical. El material filtrante es arena o grava. El diseño no permite el afloramiento de agua, lo que evita la presencia de mosquitos o malos olores. El efluente puede ser destinado al riego de áreas verdes o disponerse en el suelo por infiltración. Reduce considerablemente la carga bacteriana que aún queda después del tratamiento primario (R.M. N°192-2018-VIVIENDA, 2018, p. 22).

2.2.2 Tipos de humedal sub superficial

Borrero, citado por Silva y Zamora (2005), señala que, el humedal sub superficial sirve para el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas, municipales como industriales, se construye en forma de canal que contiene un medio conformado con gravas y arenas, además de una vegetación emergente. En este sistema el nivel de agua está por debajo de la superficie de

soporte, el agua que proviene del efluente del tratamiento primario de aguas fluye únicamente a través del lecho de grava formado por piedra y arena que sirve para la vegetación. Los sistemas de flujo sub superficial se clasifican en humedal de flujo tipo horizontal y humedal de flujo tipo vertical.

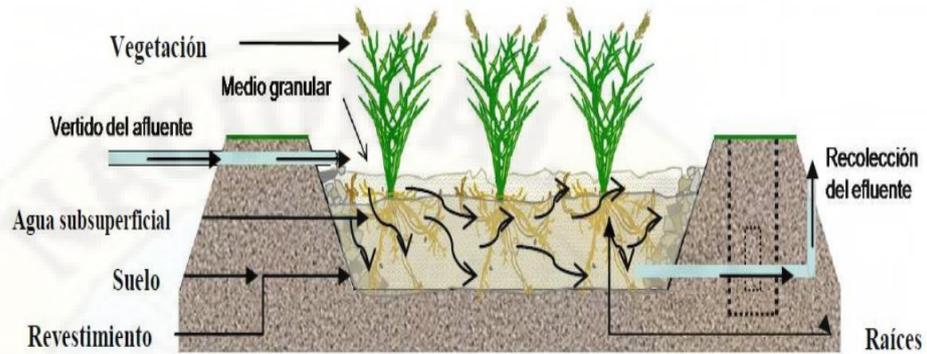
Sistemas de flujo sub superficial tipo horizontal. Las aguas residuales a tratar ingresan al sistema, de forma de cubeta impermeabilizada, a lo largo de uno de los laterales y la salida del agua depurada debe ser por el fondo y al lado opuesto al de la alimentación. En este sistema se recomienda que el canal permanezca saturado de agua todo el tiempo, de acuerdo al tiempo de retención hidráulico calculado para el diseño del sistema (Mena, 2014).

Sistemas de flujo sub superficial tipo vertical. En este sistema la entrada del agua residual se realiza mediante una forma distribuida a lo largo de la superficie del humedal y la salida se realiza a lo largo del fondo. En este tipo de humedal se logra un mayor contacto entre el agua residual y el aire que queda dentro de los poros, por tanto, el nivel del agua siempre debe permanecer bajo, de este modo se obtienen mejores rendimientos de remoción de contaminantes (Mena, 2014).

Sistemas de flujo sub superficial (SFS). Está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado; la vegetación emergente es la misma del sistema de flujo libre. El nivel del agua está por debajo de la superficie de soporte, el agua fluye únicamente a través del lecho de grava que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho (Silva y Zamora, 2005).

Figura 2

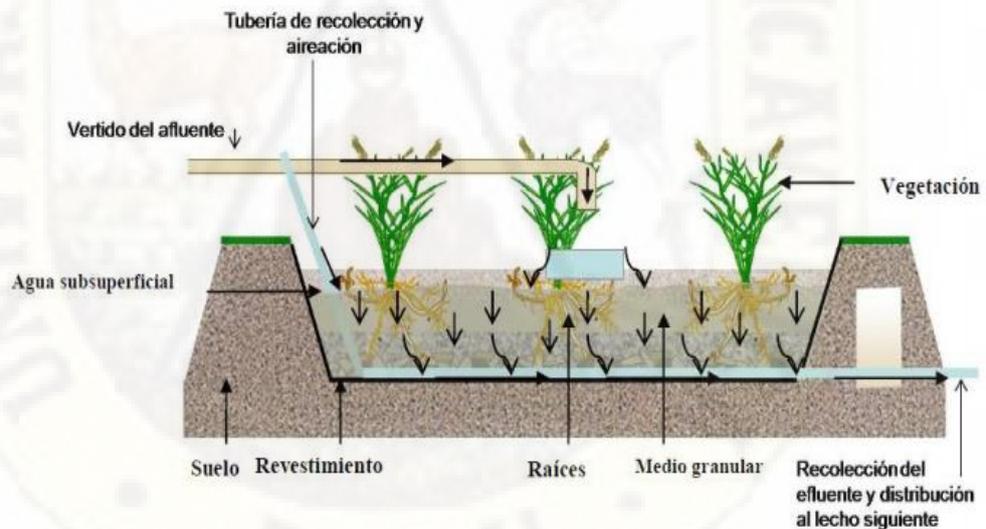
Humedal artificial de flujo sub superficial horizontal



Nota. Imagen de humedal horizontal obtenida de Rabat (2016)

Figura 3

Humedal artificial de flujo sub superficial vertical



Nota. Imagen de humedal horizontal obtenida de Rabat (2016)

Arias y Brix citados por Sierra y López (2013) indican, que existen algunos valores típicos de parámetros para el diseño de humedales sub superficiales, pero que no son obligatorios, no obstante, brindan información de las condiciones normales de diseño.

Tabla 1*Parámetros típicos de diseño de un humedal*

Tipo de flujo	Horizontal	Vertical
Carga orgánica afluyente	<150DBO ₅	<112DBO ₅
Carga hidráulica	< 5 cm d ⁻¹	< 5 cm d ⁻¹
Tiempo de retención hidráulica	> 5 días	1-2 días
Área específica	De 5 a 20 m ²	De 1 a 5 m ²
Relación largo ancho	3:1	3:1
Profundidad	< 0.60 cm	< 0.60 cm
Tipo de relleno	Arena y gravas	Arena y gravas
Vegetación	variable	variable

Nota. Datos obtenidos de Arias y Brix citados por Sierra y López (2013)

Sistema multi fase de humedal sub superficial. Un sistema multi fase o híbrido está conformado por los dos tipos de humedal sub superficial que existen para la depuración de aguas residuales domésticas, tanto el de flujo horizontal como el vertical. (Mena, s.f.).

En este sistema multi fase se incorporan dos o más compartimientos para obtener un porcentaje de remoción alto en diferentes contaminantes. Aprovecha los efectos de depuración que ofrece tanto el sistema de flujo sub superficial horizontal como el vertical. Se pueden dimensionar con una superficie de 2.5m²/hab-eq (Rabat, 2016).

Sánchez, citado por Rabat (2016) afirma que, aunque este sistema multi fase es más caro en su construcción y tiene una mayor complicación en su operación, resulta más eficiente para la eliminación de la DBO₅, nitratos y otros contaminantes, asimismo en países desarrollados se ha experimentado

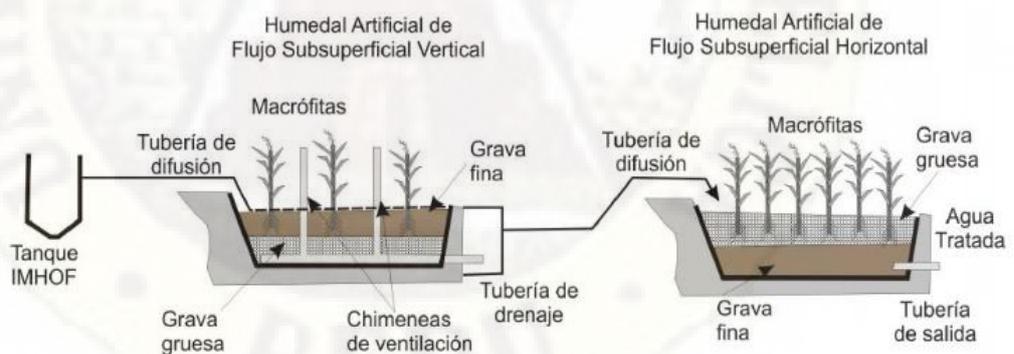
con el sistema multi fase por los resultados óptimos en la depuración de amonio.

Mena (s.f.) sobre el sistema multi fase de humedal sub superficial, señala que, es una combinación de los beneficios que ofrecen los dos sistemas sub superficiales tanto los horizontales como los verticales. Por un lado en el sistema horizontal, al tener menor contacto agua – aire (por estar saturado el lecho del agua), se producen procesos anóxicos que genera desnitrificación y anaerobios que genera la reducción del sulfato.

Por otro lado con el sistema vertical, debido al mayor contacto aire – agua en las zonas insaturadas del lecho, predominan los procesos aerobios (respiración aerobia, nitrificación); por lo tanto con esta alternancia se obtiene la eliminación de una mayor cantidad de contaminantes (Mena, s.f.).

Figura 4

Sistema multi fase de humedal sub superficial



Nota. Modelo de funcionamiento de un sistema multifase, obtenido de Rabat (2016)

Se ha comprobado que mediante la aplicación de un humedal de flujo sub superficial horizontal se obtiene de manera eficiente la remoción de DBO_5 y SST, no obstante no resulta eficiente en la remoción de nitratos y nitrógeno. Por ello se recomienda complementar el tratamiento secundario de las aguas

residuales con un humedal de flujo sub superficial vertical que tiene una capacidad mayor de transferencia de oxígeno (Organización de las Naciones Unidas - Habitat, 2008).

2.2.3 Componentes del sistema multi fase de humedal sub superficial

El agua residual. Las aguas residuales domésticas son las que provienen del sistema interno de cada edificación y que provienen del abastecimiento de agua. El fondo del sistema debe estar formado por una capa impermeable, con el objeto de prevenir la filtración del agua en tratamiento, por ello se recomienda utilizar una geo membrana plástica que sirva como impermeabilizante (Delgadillo, et al, 2010).

Sustratos, sedimentos y restos de vegetación. Un sistema multi fase de humedal sub superficial tiene como componente un sustrato conformado por la arena, piedra, piedra grande y materiales orgánicos. La vegetación a través de las raíces forma sedimentos que se acumulan al interior del sistema y se convierten en un factor para la alta eficiencia de este sistema (Montiel, 2015).

El sustrato debe contar con un alto factor de permeabilidad que permita el flujo del agua residual a través del sistema, por ello se recomienda la utilización de un suelo tipo granular (Delgadillo et al, 2010).

Vegetación. La vegetación en este sistema está conformada por plantas como juncos, carrizos y en general con cualquier especie que sean tolerables a la saturación. “El objetivo de la vegetación es suministrar oxígeno a la zona radicular. Las raíces son las estructuras responsables de depurar las aguas residuales ya que asimila y degrada la carga orgánica contaminante con el apoyo de los microorganismos” (Tito, 2014, p. 27).

Von Münch (2009) recomienda usar especies locales o nativas, de preferencia utilizar especies que crecen a orillas de los ríos ya que sus raíces están adaptadas a crecer en condiciones saturadas. Finalmente señala que son idóneas las plantas con un sistema extenso de raíces y rizoma pues soportan fuertes cargas y períodos cortos de sequía.

Microorganismos. Los microorganismos están referidos a “las bacterias, hongos y protozoarios, esta biomasa que forman una biopelícula alrededor de las partículas del lecho, asimismo señala que el crecimiento de los mismos está directamente relacionado con las transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico” (Mena, 2014, p. 43).

2.2.4 Funcionamiento del sistema multi fase de humedal sub superficial

El sistema multi fase aprovecha las diferentes características que están presentes en los humedales sub superficiales, tanto de flujo sub superficial vertical y de flujo sub superficial horizontal. La combinación trata de aprovechar las diferentes condiciones oxidativas que están presentes en los humedales, mientras que en el sistema vertical predominan los procesos aerobios en los de sistema horizontal predominan los sistemas anaerobios (Sierra & López, 2013).

Lara & Vera (2005) señalan que, los humedales sub superficiales funcionan como reactores biológicos cuyo rendimiento se describe por la cinética de primer orden de flujo pistón. Muñoz (s.f.) sobre este tipo de reactor indica que el tiempo de retención en el sistema multi fase se define como el tiempo entre la entrada y la salida del reactor, donde no hay mezclado longitudinal y calculado de la siguiente manera:

$$t = V/Q \tag{1}$$

Donde,

- t = tiempo de retención hidráulica
- V = volumen del reactor, m³
- Q = gasto del reactor, m³/día

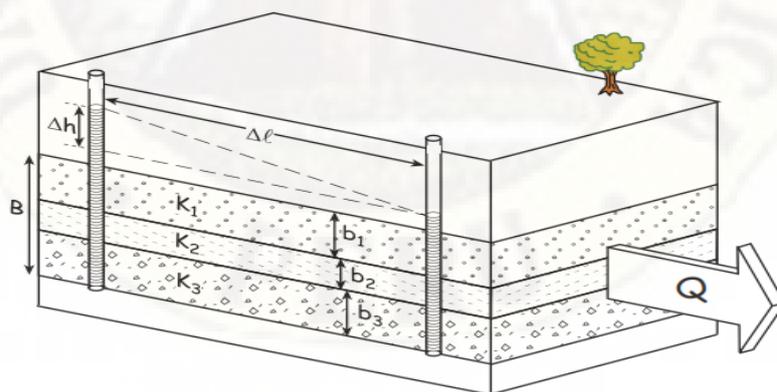
Ramalho (1996) señala que, en el reactor de flujo pistón, las partículas de fluido atraviesan la vasija sin mezclarse y por ello se descargan en la misma frecuencia en que entran.

Para el funcionamiento de humedales sub superficiales también es necesario diseñar el dimensionamiento hidráulico utilizando la ley de Darcy para garantizar una gradiente hidráulica suficiente para el lecho del filtro (Von Münch, 2009).

Así, la permeabilidad o conductividad hidráulica es “la resistencia que ofrece el suelo, en el caso de humedales construidos las arenas y gravas, al flujo de agua” (Sánchez, s.f., p. 35).

Figura 5

Flujo de agua en capas paralelas



Nota. Modelamiento del flujo de agua en el suelo, obtenido de Sanchez (s.f.)

En relación al comportamiento de los humedales construidos de flujo sub superficial tipo horizontal, Sánchez (s.f.) afirma que, tomando como base

la ley de Darcy, si el flujo es paralelo a las capas (como la figura 6) la permeabilidad equivalente (K_h) se calcula con la siguiente expresión:

$$K_h = \frac{(\sum K_i \cdot b_i)}{B} \quad (2)$$

Donde:

K_h = conductividad hidráulica horizontal equivalente

K_i = conductividad hidráulica de cada una de las capas

b_i = espesor de cada una de las capas

B = espesor total, suma de todos los espesores

Esta fórmula equivale a decir que la transmisividad equivalente del conjunto ($K_h \times B$) es igual a la suma de las transmisividades de todas las capas.

Los rendimientos de la depuración que se obtienen con el funcionamiento de los humedales sub superficiales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2

Rendimientos de depuración de Humedales sub superficiales

Parámetro	% reducción Humedal sub superficial Horizontal	% reducción Humedal sub superficial Vertical
Sólidos en suspensión	90-95	90-95
DBO ₅	85-95	90-95
DQO	80-90	80-90
Nitrógeno Total	20-40	60-70
Fósforo Total	20-30	20-30

Nota. Datos de los rendimientos de depuración de humedales por su tipo, obtenido de Rabat (adaptado de Salas, 2007).

2.2.5 Diseño del sistema multi fase de humedal sub superficial

Diseño hidráulico según el estado del arte: Lara & Vera (2005), afirman que no existe un criterio único para el diseño de un humedal de flujo sub superficial, los modelos matemáticos existentes han calculado el diseño buscando eficiencias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno, fósforo, sólidos totales y coliformes fecales.

Espinoza (2014), describe una ecuación de diseño para el dimensionamiento de humedales construidos de flujo sub superficial horizontal y vertical, con base a la remoción a DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno). Es aconsejable que previo al diseño, la porosidad del medio filtrante sea mida en el laboratorio para determinar el tipo de sustrato a utilizar.

Tabla 3

Ecuación de diseño para humedal sub superficial horizontal y vertical

Autor / referencia	Remoción de DBO ₅
Reed et al	$A_s = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt(y)(n)} \quad (3)$

Donde:

ln Ce: Concentración de DBO₅, N, P Y SST en el efluente, (mg/L)

ln Co: Concentración de DBO₅, N, P Y SST en el afluente, (mg/L)

As: Área superficial del humedal, (m²)

Kt: Constante de primer orden dependiente de la temperatura, (d⁻¹)

n=e: Porosidad promedio del sistema, en fracción decimal. 0.65 a 0.75

y: Profundidad promedio del sistema, (m)

Q: Caudal (m³/d)

Cálculo de K_T según Reed et al.

$$K_{20} = 1,104 \text{ d}^{-1} \quad (4)$$

$$K_T = K_{20} (1,06)^{T-20} \text{ (Para remoción de DBO}_5\text{)} \quad (5)$$

$$K_T = 1,104 (1,06)^{T-20}$$

$$K_T = 0.927$$

Tabla 4*Características del medio para sistemas de flujo sub superficial*

Tipo de medio	Tamaño del grano, mm	Porosidad (η)	Conductividad hidráulica (K_s), m/d	K_{20}
Arena media	1	0,42	420	1,84
Arena gruesa	2	0,39	480	1,35
Gravilla arenosa	8	0,35	500	0,86

Nota. Tipos de sustrato en la conformación del humedal de flujo sub superficial, obtenido de Espinoza (2014)

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios: conductividad hidráulica, granulometría y flujo sumergido para todas las condiciones de caudales. En el caso de la fase horizontal el valor de la altura del humedal es 0.60 y el valor de porosidad n es 0.30; en el caso de la fase vertical el valor de la altura es 0.80 y el valor de porosidad n es 0.40 (Organización de las Naciones Unidas - Habitat, 2008).

Diseño hidráulico según la RM N° 192-2018-VIVIENDA: Desde el mes de mayo del 2018, el organismo regulador de las políticas de saneamiento en el Perú ha incluido a los sistemas sub superficiales como tratamiento complementario de aguas residuales domésticas. El diseño se efectúa con las siguientes fórmulas

$$\text{Cálculo del caudal: } Q = \text{Dotación} \times \text{Dens.} \times 80\% \quad (6)$$

Donde:

Q : Caudal

Dot : dotación de agua (l/hab.d)

$Dens$: densidad poblacional (hab/viv)

Cálculo de la carga orgánica: DBO_5 (ingreso) x caudal

$$K_T = 0.678 (1,06)^{T-20} \text{ (Para remoción de } DBO_5)$$

$$K_T = 0.678 (1,06)^{T-20}$$

$$K_T = 0.51$$

Cálculo del área superficial:
$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{Kt(y)(n)} \quad (3)$$

Donde:

In Ce: Concentración de DBO₅, N., P. y SST en el efluente, (mg/L)

In Co: Concentración de DBO₅, N., P., y SST en el afluente, (mg/L)

As: Área superficial del humedal, (m²)

Kt: Constante de primer orden dependiente de la temperatura, (d⁻¹)

n=e: Porosidad promedio del sistema, en fracción decimal. 0.65 a 0.75

y: Profundidad promedio del sistema, (m)

Q: Caudal (m³/d)

El cálculo del período de retención se obtiene multiplicando el Volumen del humedal por el caudal de descarga.

La aplicación de este sistema, según señala la normativa en el Perú está diseñado como tratamiento complementario de efluentes provenientes del sistema de tanque séptico mejorado o de las aguas grises que provienen del sistema de lavatorio multiusos y de la ducha.

Este dispositivo legal recomienda que, el sistema no sea utilizado para el tratamiento de aguas negras que provienen directamente del inodoro, sino que deberá pretratarse en tanques sépticos mejorados; de ser necesario debe instalarse una trampa de grasas previo al ingreso de aguas al humedal sub superficial (RM 192-2018-VIVIENDA).

Es importante que, de aplicarse este sistema, el componente social del proyecto debe capacitar a las familias para que se realicen buenas prácticas de higiene y limpieza evitando que los restos orgánicos que provienen de los alimentos ingresen al humedal. Asimismo debe evitarse que otro tipo de aguas ingresen al medio filtrante que puedan afectar el proceso de tratamiento de las aguas residuales domésticas (RM 192-2018-VIVIENDA).

Diseño estructural: La Agencia de protección ambiental (1993) sobre los aspectos constructivos, establece que se debe seleccionar el fondo del lecho, sugiriendo un máximo de 60 cm; tipo de estructura y tamaño (se recomienda usar roca dura e insoluble de 2-5 pulgadas de diámetro).

Ras citado por Espinoza (2014, p. 23) establece los aspectos constructivos de un humedal sub superficial horizontal y vertical:

- Los humedales construidos de flujo sub superficial deben localizarse aguas debajo de un tanque séptico.
- La conductividad utilizada para el diseño nunca puede ser mayor que la del medio de soporte. Se debe reducir dicha conductividad en un orden de magnitud para tener en cuenta los efectos de atascamiento asociados a la retención de sólidos en los humedales.
- Profundidad. Se recomienda que la profundidad media del lecho sea 0,6 m y que la profundidad en la entrada no debe ser menor de 0,3 m. Con profundidades mayores a 0,6 m, las raíces más profundas y los rizomas empiezan a debilitarse. Se recomienda que los lechos se construyan con al menos 0,5 m. de cabeza sobre la superficie del lecho.
- Se recomienda no usar la pendiente de fondo para ganar cabeza pues se corre el riesgo de dejar la entrada seca cuando haya condiciones de bajo caudal. Usar máximo 1% de pendiente.
- Usar piedra entre 50 y 100 mm. para una longitud de 0,6 m alrededor del influente distribuidor y de las tuberías colectoras del efluente para reducir el taponamiento.
- Usar solo sustrato lavado para eliminar los granos finos que puedan taponar los poros del sustrato y, posiblemente, causen flujo superficial.
- Construir la berma al menos 150 mm por encima del sustrato y al menos 150 mm por encima de la superficie de la tierra.
- Ancho mínimo de la berma = 0.60 m
- Tiempo de llenado del lecho con agua = 1 - 2 días

De acuerdo a lo investigado se determinó las partidas que forman parte de la construcción de un humedal artificial de flujo sub superficial tipo horizontal y vertical son las siguientes:

Tabla 5

Lista de partidas

N°	Partida
01.00	Trabajos preliminares.
01.01	Trazo, nivel y replanteo.
02.00	Movimiento de tierras.
02.01	Excavaciones manuales
02.02	Relleno con material propio.
03.00	Concreto simple
03.01	Construcción de solados $f'c= 110 \text{ Kg/cm}^2$ en taludes.
04.00	Impermeabilizante con geomembrana.
04.01	Suministro e instalación de geomembrana.
04.02	Corte en instalación.
05.00	Muro de sostenimiento en canal hidráulico.
06.00	Construcción de cajas de registro .45 x .45
07.00	Suministro e instalación de válvulas de control de PVC 2".
08.00	Suministro e instalación de tubería PVC 2".
08.01	Instalación en el afluente
08.02	Instalación en el efluente.
09.00	Suministro y colocación de medio granular.
09.01	Colocación de grava de río en zona de afluente y efluente 2.5".
09.02	Colocación de grava de río 1"
09.03	Colocación de arena gruesa
10.00	Implantación de vegetación.

Nota. Partidas constructivas de un humedal sub superficial tipo horizontal

Un sistema multi fase de humedal sub superficial tiene dentro de su composición estructural una superficie de vegetación que sirve como medio filtrante para la remoción de los contaminantes. Ras, citado por Espinoza, (2014, p. 45) establece que, “la elección dependerá del tipo de residuos a obtener, así como de la radiación solar y la temperatura de la zona donde se ubicará el sistema. Las raíces deben estar siempre en contacto con el agua residual a tratar”.

Von Munch (2009), señala que, la instalación de plantas macrófitas deben ser típicas de humedales naturales y riberas de ríos no sumergidos de la localidad de investigación y cumplen una función de proporcionar el ambiente necesario para la fijación microbiana, el crecimiento y la transferencia de oxígeno a la zona de raíz y rizomas.

Mena (2014), señala que, las plantas deben ser trasplantadas y debe colocarse 6 unidades por cada metro cuadrado de humedal artificial construido, para evitar la saturación de raíces a causa de altas densidades de siembra que puedan hacer colapsar el sistema; recomienda la utilización de la totora y debe evitarse la siembra en los extremos del canal hidráulico.

2.3 Bases teóricas tratamiento de aguas residuales domésticas

2.3.1 Tratamiento de aguas residuales domésticas

La norma OS.090 del Reglamento nacional de edificaciones del Perú, regula el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo para las zonas urbanas. En el caso de las zonas rurales dispone la norma IS.020 que regula la utilización de tanques sépticos como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales que no cuentan con redes de captación de aguas residuales.

El objeto del tratamiento de las aguas residuales es mejorar la calidad del mismo para cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o las normas de reutilización (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Romero, citado por Tito (2015), afirma que, las aguas residuales son aguas ya utilizadas mediante una actividad humana que contienen contaminantes perjudicando el medio ambiente en especial al recurso hídrico.

El Reglamento nacional de edificaciones del Perú define las aguas residuales como el “Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión” (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016, p. 190). Sobre el agua residual doméstica señala que es el “Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana” (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016, p. 190).

El objetivo de esta investigación es identificar una solución al deficiente tratamiento de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires, en la región Piura, por tanto, es menester tomar en cuenta lo regulado en la RM N° 192-2018-VIVIENDA que aprobó las opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural.

2.3.2 Características de las aguas residuales domésticas

Características físicas

Temperatura: Las aguas residuales domésticas liberan energía, lo que las hace distintas a las aguas no contaminadas, por tanto tienen una temperatura más alta, dependiendo además del lugar geográfico de ubicación.

Sólidos: Los sólidos están conformados por los contaminantes presentes en el agua, “de acuerdo a la asociación que tengan con el medio líquido se pueden encontrar en forma suspendida, en dispersión coloidal y en solución total. Existe una clasificación por su tamaño y condición en sólidos suspendidos y sólidos disueltos” (Saavedra, 2017, p. 33).

Turbiedad: Es el parámetro físico que mide la transparencia de cierto volumen de agua, esta transparencia señala Rigola citado por Tito (2015, p. 45) “depende del contenido de partículas en suspensión, así de esta forma cuando el agua está sucia presenta sólidos en suspensión en consecuencia aumenta la turbidez, su medida se expresa por unidades nefelométricas de turbidez (NTU)”.

Color y olor: Con estos parámetros se evalúa la condición del agua residual del desague, siendo esta fresca o séptica. Metcalf & Eddy, citados por Saavedra (2017, p. 67), afirman que “el agua residual reciente es de color gris con un olor relativamente desagradable. A medida que se descompone la materia orgánica los niveles de oxígeno se reducen y el agua se vuelve negra y el olor se vuelve ofensivo”.

Características químicas

Materia orgánica: Moret (2014, p. 22) señala que este parámetro adquiere importancia debido a que “la desoxigenación genera la muerte de los seres aerobios en los cuerpos de agua receptores”. Las formas de denominación más conocidas son la DBO₅ y la DQO.

DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días). Indica la cantidad de oxígeno disuelto que se consume en un agua residual durante 5 días a 20°C y reproduce el consumo de oxígeno que se ocasionaría con ese vertido en el medio natural.

DQO (Demanda química de oxígeno). Indica la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente toda la materia orgánica contenida en la muestra de agua. Los valores de DQO de un agua residual son, por lo general, mayores que la DBO₅ porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente.

Materia inorgánica: Moret (2014, p. 51) señala que la materia inorgánica es “el oxígeno disuelto (OD) que indica el grado de contaminación del agua. La cantidad presente de esta materia se rige por la solubilidad del gas; la presión del gas en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua”.

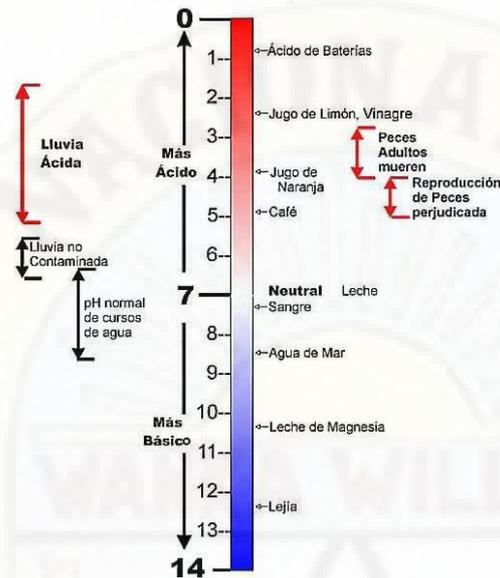
Nitrógeno y fósforo: Saavedra (2017, p. 35) señala que “en el agua residual, el nitrógeno total comprende al nitrógeno orgánico y a las formas de nitrógeno inorgánico que incluyen al nitrógeno amoniacal, al amonio y al amoniaco, a los nitritos y a los nitratos”.

En cuanto al fósforo, este se encuentra en su mayoría bajo la forma de fosfatos. El fósforo total comprende a los fosfatos orgánicos y a los fosfatos inorgánicos. Los fosfatos orgánicos provienen de los desechos fisiológicos. Los fosfatos inorgánicos provienen principalmente de los detergentes y otros productos químicos del hogar.

pH: El pH es una unidad de medida que representa “la concentración del ion hidrógeno. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos. El efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales” (Moret, 2014, p. 33).

Figura 6

Escala de valores de pH



Nota. Los valores de pH deben encontrarse entre el 6 y el 8 según la información obtenida en <http://www.idrc.ca/aquatox/aquagifs/pHsp-99.jpg>

Características biológicas

Bacterias: Romero, citado por Moret (2014, p. 20) sobre las bacterias indica que, “consumen el oxígeno procedente de los sólidos orgánicos; otras (aerobias) que necesitan oxígeno del agua para poder alimentarse y respirar, a éstas les sirve el oxígeno libre del agua (molecular) proveniente del oxígeno disuelto (OD)”

Coliformes fecales: Romero, citado por Moret (2014, p. 21), sobre los coliformes indica que “son microorganismos que se encuentran en los excrementos humanos en proporciones muy grandes. Su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de la ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos”

2.3.3 Niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas

Los niveles de tratamiento de aguas residuales en el Perú para zonas urbanas y rurales, se dividen en tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Tratamiento preliminar: El tratamiento preliminar o pre tratamiento tiene como objetivo “la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con el fin de facilitar el tratamiento posterior, así como proteger las instalaciones y el funcionamiento de los procesos del tratamiento”. (Ministerio del Ambiente, 2009, p.15).

Tratamiento primario: El reglamento nacional de edificaciones (2016, p. 93) define que el objetivo de este tratamiento es: “la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los procesos para este nivel pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación”. La norma IS.020 define a los tanques sépticos como un sistema de tratamiento primario pero que necesita de un tratamiento complementario para disminuir los riesgos de contaminación y daños a la salud pública (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Tratamiento secundario: La norma de diseño en el Perú considera como tratamiento secundario “los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de la DBO_5 soluble mayor a 80%,” (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016, p. 97). En el caso de zonas rurales, el sistema secundario lo conforman el campo de percolación y los pozos de absorción.

Tratamiento terciario: Masters & Ela, citados por Saavedra (2017) señalan que el tratamiento terciario se implementa para eliminar

contaminantes no removidos por el tratamiento primario o secundario. Ambos niveles no son suficientes para extraer nutrientes, inorgánicos disueltos (sales, metales), o sustancias orgánicas biológicamente resistentes (refractarias) (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

2.3.4 Tratamiento de aguas residuales domésticas en el ámbito rural en el Perú

Las aguas residuales domésticas que se generan en los centros poblados rurales requieren el tratamiento apropiado, previo a su reúso o disposición final, con la finalidad de proteger el ambiente y la salud de la población. El Ministerio del Ambiente del Perú, a través de políticas públicas trata de “plantear la mejor combinación de opciones tecnológicas, que permitan el tratamiento de las aguas contaminadas, minimizando el uso de recursos disponibles, con el mayor beneficio ambiental y al menor costo económico” (Ministerio del Ambiente, 2009, p. 12).

En tal sentido, la RM N° 192-2018-VIVIENDA regula las opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural para la disposición sanitaria de excretas a través de las unidades básicas de saneamiento, que son sistemas de disposición sanitaria de excretas con o sin arrastre hidráulico para la eliminación de aguas residuales. En el Perú la norma técnica aprobada en la RM N° 192-208-VIVIENDA que modificó la RM N° 173-2016- VIVIENDA incorpora desde el año 2018 a los humedales sub superficiales como tratamiento complementario de las aguas residuales domésticas.

Así también, este dispositivo legal que regula las opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento clasifica las unidades básicas de saneamiento en tres tipos con las siguientes denominaciones y aplicaciones:

Tabla 6

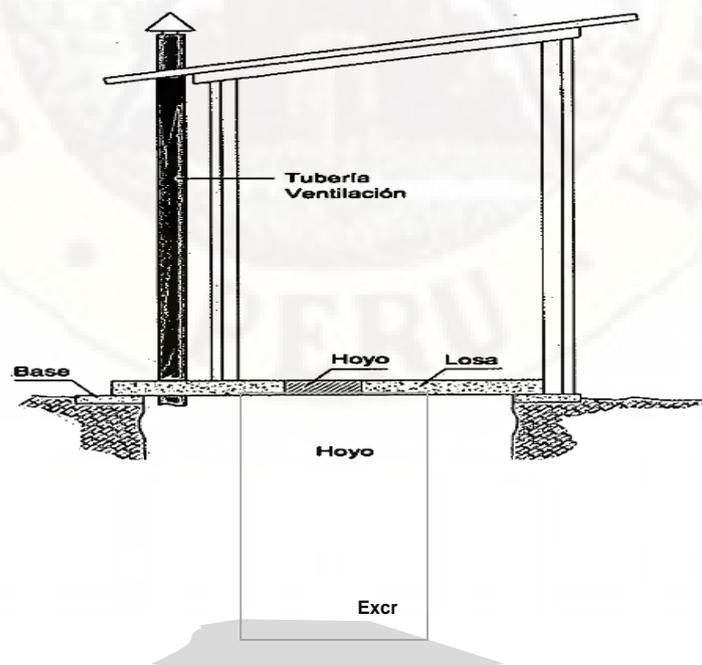
Unidad básica de saneamiento de hoyo seco ventilado

Tipo de unidad básica de saneamiento	Definición	Aplicación
Unidad básica de saneamiento de hoyo seco ventilado	Disposición de excretas sin arrastre hidráulico. El confinamiento de excretas, orinas y papel se ubican en un hoyo bajo una losa y caseta. Cuando el hoyo esté lleno por el uso, se debe acondicionar y trasladar toda la caseta de la UBS. Cuenta con un tubo de ventilación de 2" conectado al hoyo seco.	Cuando el nivel freático se ubica a 4 o metros medidos desde la superficie. Se construye en zonas no inundables. Las aguas grises (ducha y lavadero) se conducen a una zona de infiltración. Las excretas y orinas se acumulan en un hoyo seco

Nota. Datos obtenidos de la RM N° 192-2018-VIVIENDA.

Figura 7

Unidad básica de saneamiento de hoyo seco ventilado



Nota. Imagen obtenida de la RM N° 192-2018-VIVIENDA

Tabla 7

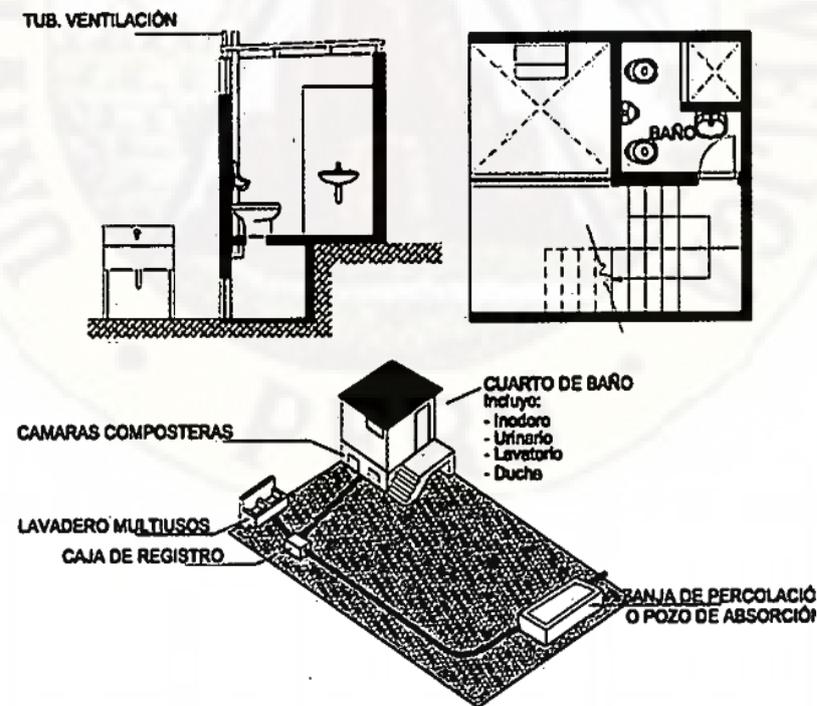
Unidad básica de saneamiento de cámara compostera

Tipo de unidad de saneamiento	Tipo de cámara de compostera	Definición	Aplicación
Unidad básica de saneamiento	doble cámara de compostera	Disposición de excretas sin arrastre hidráulico. Permite el almacenamiento de las excretas y se eliminan los organismos patógenos por ausencia de humedad, alta temperatura y ausencia de oxígeno. Tiene una taza especial para almacenar orinas.	Cuando el nivel freático se ubica a 4 o metros medidos desde la superficie. Debe contarse con disponibilidad de terreno. Las aguas grises, de permitir la permeabilidad del terreno se disponen en un pozo de absorción o una zanja de percolación.

Nota. Datos adaptados de la RM N° 192-2018-VIVIENDA)

Figura 8

Unidad básica de saneamiento de cámara compostera



Nota. Imagen obtenida de la RM N° 192-2018-VIVIENDA

Tabla 8

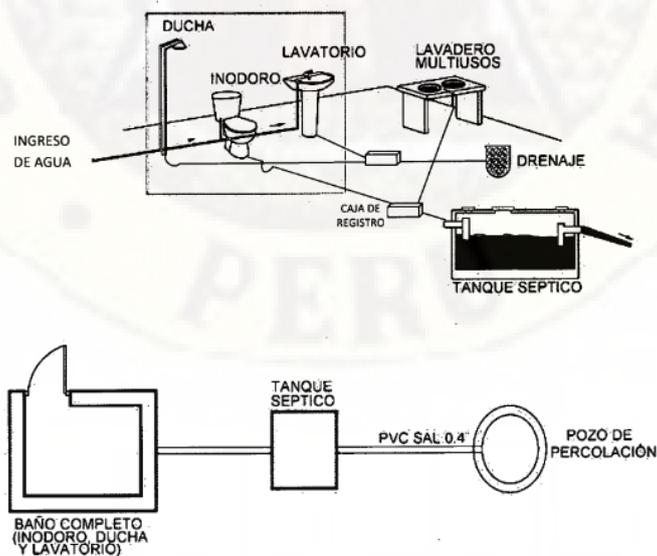
Unidad básica de saneamiento con tanque séptico

Tipo de unidad básica de saneamiento	Definición	Aplicación
Tipo de unidad básica de saneamiento con arrastre hidráulico y con tanque séptico y con tanque séptico mejorado	Disposición de excretas con arrastre hidráulico. Los efluentes y lodos se disponen en un tanque séptico, luego del cual se trasladan los efluentes a un pozo de percolación, zanjas de infiltración o humedal sub superficial. Puede diseñarse con tanque séptico mejorado o bidogestor prefabricado. Cuenta con inodoro, lavatorio y ducha, asimismo tiene un lavatorio multiusos.	Cuando el suelo tenga permeabilidad se utilizará pozo de absorción. No se podrá construir donde exista pozos de agua para consumo humano. Las zanjas de infiltración deberán ubicarse a 3 metros del muro exterior de la vivienda.

Nota. Datos adaptados de la RM N° 192-2018-VIVIENDA)

Figura 9

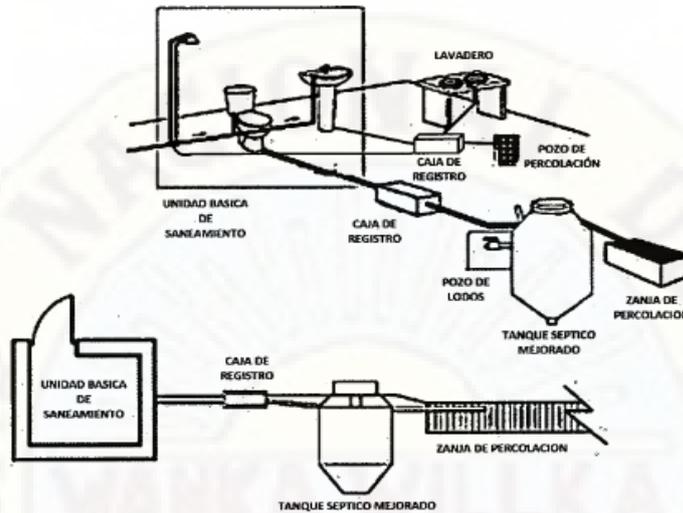
Unidad básica de saneamiento con sistema de tanque séptico



Nota. RM N° 192-2018-VIVIENDA

Figura 10

Unidad básica de saneamiento con tanque séptico mejorado

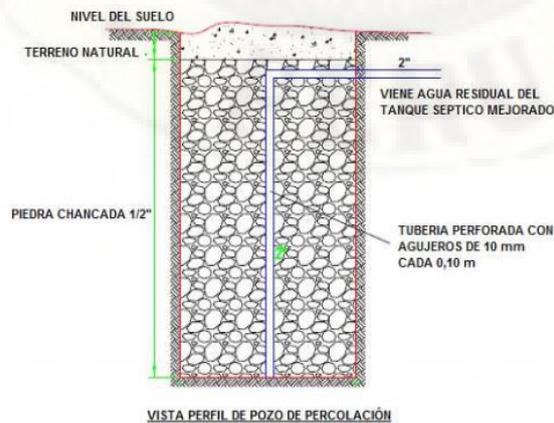


Nota. RM N° 192-2018-VIVIENDA

El tratamiento complementario de las aguas residuales en las unidades básicas de saneamiento se realiza a través de los pozos de absorción, que son hoyos en el suelo de 1.00 mt de diámetro y una profundidad mínima de 2.00 mt con paredes de mampostería con juntas laterales separadas. Pueden instalarse más de un pozo en cada unidad.

Figura 11

Pozo de absorción

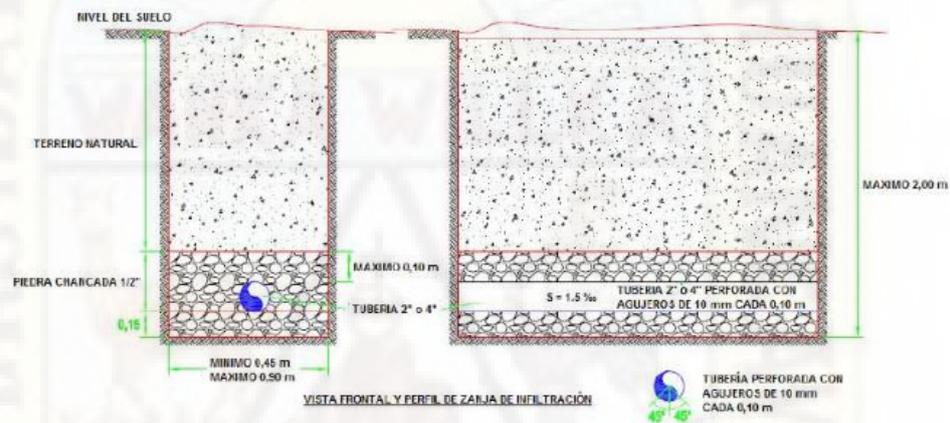


Nota. RM N° 192-2018-VIVIENDA

El otro sistema de disposición complementaria es la zanja de percolación que tiene una profundidad de 0.60m y una longitud máxima de 30.00 mt. Tanto el pozo de absorción como la zanja de percolación se pueden utilizar cuando el test de permeabilidad cumple la infiltración de aguas de acuerdo a la normativa, de lo contrario no pueden utilizarse y debe optarse por otro sistema de unidad básica de saneamiento.

Figura 12

Zanja de percolación



Nota. RM N° 192-2018-VIVIENDA

2.3.5 Normas de calidad del agua residual tratada en el Perú

En el Perú la ley de recursos hídricos, regula, entre otros, el vertimiento de agua residual a los cuerpos de agua o a la superficie; señala que la autorización para el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo de agua debe realizarse cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua y cumpliendo los Límites Máximos Permisibles.

Cepis, citado por Mena (2014), afirma que el agua residual tratada se convierte en un efluente esencial para los cultivos, porque en algunos casos no se utiliza agroquímicos. Agrega que estas aguas contienen en promedio cinco gramos de nitrógeno por cada gramo de fósforo, además de

oligoelementos que son fundamentales para la actividad agrícola, además la materia orgánica de esta agua mejora la textura del suelo, no obstante, para el reúso el agua residual debe contener estándares de calidad ambiental normado en la regulación nacional.

En el Perú, los ministerios de Vivienda, del Ambiente y de Agricultura han expedido una serie de disposiciones para el tratamiento de aguas residuales, como la norma que aprueba los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Perú. D.S. N° 003-2010-MINAM, 2010) que ha sido tomado en cuenta en esta investigación.

Tabla 9

Límites máximos permisibles para efluentes de aguas residuales domésticas

Parámetros	Unidad de medida	LMP para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	100
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	200
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. Datos obtenidos del D.S. 003-2010-MINAM

Para la toma de muestras del agua residual se debe cumplir con el protocolo normado en la R.M. 273-2013-VIVIENDA que aprueba el monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Perú. R.M. N° 273-2013-VIVIENDA, 2013).

Para el caso de reutilizar el agua residual domésticas en las viviendas rurales en actividades de riego de vegetales, en biohuertos dentro de la vivienda, en el riego de áreas verdes y plantas ornamentales, o para el caso de bebida de animales se debe cumplir con los estándares de calidad ambiental (ECA) regulados por el D. S. N° 004-2017-MINAM, según el siguiente detalle:

Tabla 10

Estándares de calidad ambiental para reuso de agua residual doméstica en riego de vegetales o bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0.1	0.1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero	100 (a)	100 (a)
	Escala Pt/Co		
Conductividad	(uS/cm)	2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2	0.5
Fenoles	mg/L	0.002	0.01
Fluoruros	mg/L	1	**
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10	10
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	> 4	> 5
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5-8.5	6.5-8.4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000/2000	1000

Nota. Datos adaptados del D.S.004-2017-MINAM

2.4 Bases teóricas para viviendas rurales

2.4.1 Ámbito rural

El ámbito rural puede entenderse como el territorio en el que se desarrollan modos únicos de ocupación del espacio físico y del suelo que tienen características propias en el sentido social, así como en sus costumbres. La densidad poblacional es baja, en comparación a los núcleos urbanos, lo que determina un predominio de los paisajes agrícolas o vegetales (Cortés, s.f.).

Kayser, citado por Cortés (s.f.) afirma que, otra característica del espacio rural, está determinado por las actividades económicas que desarrolla, relacionado directamente con la agricultura, el pastoreo y la crianza de animales en la ganadería. Los espacios colectivos son limitados y aun cuando las viviendas se ubican de manera dispersa existe un estrecho conocimiento personal entre los vecinos, creando círculos sociales ligados estrechamente con el medio ecológico, bajo el esquema de la identidad campesina.

Para establecer la definición de ruralidad en el Perú, es pertinente remitirse a lo establecido por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, que define a las poblaciones rurales de manera cuantitativa como aquellas que están conformadas por menos de 2 mil habitantes y que tengan menos de 100 viviendas agrupadas contiguamente o que teniendo 100 o más viviendas, éstas se encuentren diseminadas o dispersas sin formar núcleos con manzanas y calles (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

2.4.2 Viviendas rurales en la costa del Perú

La vivienda rural es un espacio construido por un sector interno (donde se desarrollan actividades de habitación) y un sector externo (ligado a actividades complementarias de agricultura y ganadería) ubicado en el ámbito rural de los países. Por las actividades agropecuarias propias de la familia, la

vivienda rural forma parte de un ecosistema natural que conserva o deteriora (Sánchez & Jiménez, 2010).

La vivienda rural de la costa del Perú tiene como característica que se ubica dentro de la parcela o superficie agrícola de producción, y las familias tienen como complemento ingresos económicos que le permiten cubrir con los costos de los servicios de alumbrado, agua y alcantarillado.

La vivienda rural en la costa norte del Perú se clasifica como vivienda tradicional o transicional. En la vivienda tradicional los materiales de construcción predominantes son de la zona como Guayaquil y adobe, está compuesta de habitaciones tanto para vivienda como para las funciones de almacén de productos agropecuarios. El servicio higiénico se ubica fuera de la edificación principal y el sistema de disposición de las aguas residuales se efectúa mediante letrinas o pozos ciegos.

En el caso de las viviendas rurales transicionales, es notorio el uso de materiales como el concreto y el ladrillo, la composición de la vivienda se define por ambientes destinados para la cocina y descanso, el servicio higiénico se ubica al interior de la edificación y la zona de almacén se ubica en los exteriores de la vivienda. El sistema de disposición de los efluentes del agua residual se realiza mediante sistemas con arrastre hidráulico con tanque sépticos o biodigestores (Sánchez & Jiménez, 2010).

2.5 Formulación de hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

2.5.2 Hipótesis específicas

1. La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.
2. La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.
3. La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

2.6 Definición de términos

Aguas. Líquido transparente, incoloro, inodoro, e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos (Real academia española, s.f.).

Aguas residuales. Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Aguas residuales domésticas. Agua de origen doméstica, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Coliformes fecales. Microorganismos que se encuentran en los excrementos humanos en proporciones muy grandes (Romero, citado por Moret, 2014).

Demanda bioquímica de oxígeno. Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C) (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Demanda química de oxígeno. Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Eficiencia. Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado (Real academia española, s.f.).

Fase. Cada uno de los distintos estados sucesivos de un fenómeno natural o histórico, o de una doctrina o de un negocio, etc. (Real academia española, s.f.).

Hidráulica. Conducir y aprovechar las aguas o construir obras para la conducción de aguas (Real academia española, s.f.).

Humedal construido. Canal hidráulico en donde se tiene lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer

un mejoramiento ambiental (Agencia de protección ambiental, citado por Tito, 2015).

Humedal sub superficial. Canal hidráulico de poca profundidad rellena de material sustrato y plantado con vegetación resistente a condiciones de saturación que sirve para remover los contaminantes del agua residual (Organización de las Naciones Unidas - Habitat, 2008).

Implementación. Acción de implementar. Poner en funcionamiento o aplicar métodos o medidas para llevar algo a cabo.

Multi. Significa muchos (Real academia española, s.f.).

pH: El pH es una unidad de medida que representa “la concentración del ion hidrógeno. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos. El efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales” (Metcalf, citado por Moret, 2014, p. 33).

Reutilización. Volver a utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines (Real academia española, s.f.).

Reutilización de aguas residuales domésticas: utilización de aguas residuales domésticas debidamente tratadas para un propósito específico (Perú. Reglamento nacional de edificaciones, 2016).

Sistema. Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí (Real academia española, s.f.).

Sólidos: Los sólidos están conformados por los contaminantes presentes en el agua, “de acuerdo a la asociación que tengan con el medio líquido se pueden

encontrar en forma suspendida, en dispersión coloidal y en solución total” (Saavedra, 2017, p. 33).

Temperatura: Las aguas residuales domésticas liberan energía, lo que las hace distintas a las aguas no contaminadas, por tanto tienen una temperatura más alta, dependiendo además del lugar geográfico de ubicación (Saavedra, 2017, p. 25).

Tratamiento: acción de tratar (Real academia española, s.f.).

Turbiedad: Es el parámetro físico que mide la transparencia de cierto volumen de agua, esta transparencia “depende del contenido de partículas en suspensión, así de esta forma cuando el agua está sucia presenta sólidos en suspensión en consecuencia aumenta la turbidez, su medida se expresa por unidades nefelométricas de turbidez (NTU)” (Rigola, citado por Tito, 2015, p. 45).

2.7 Identificación de variables

a. Variable independiente (X)

X: Sistema multi fase de humedal sub superficial.

Dimensiones:

X₁ Diseño hidráulico del sistema:

X₂ Diseño estructural del sistema.

Indicadores:

X_{1.1} Caudal.

X_{1.2} Área superficial.

X_{1.3} Ancho.

X_{1.4} Largo.

X_{1.5} Temperatura.

X_{1.6} Tiempo de retención hidráulico.

X_{2.1} Profundidad del sistema.

X_{2.2} Sustrato.

X_{2,3} Vegetación.

b. Variable dependiente (Y)

Y: Tratamiento complementario de aguas residuales domésticas.

Dimensiones:

- Y₁: Propiedades físicas
- Y₂: Propiedades químicas.
- Y₃: Propiedades biológicas.

Indicadores

- Y_{1,1}: Turbiedad.
- Y_{1,2}: Temperatura.
- Y_{1,3}: pH.
- Y_{2,1}: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).
- Y_{2,2}: Demanda química de oxígeno (DQO).
- Y_{3,1}: Coliformes termotolerantes.

2.8 Operacionalización de variables

Tabla 11

Definición operativa de variable e indicadores

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN	
X.: SISTEMA MULTI FASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL	El sistema multifase de humedal sub superficial es una tecnología no convencional para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El dimensionamiento hidráulico y sus características estructurales dependen de la calidad del efluente y condiciones del sitio (Mena, 2014).	El sistema multifase funciona en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tiene características hidráulicas como el caudal, área superficial, ancho, largo y tiempo de retención hidráulico y características estructurales como el sustrato y la vegetación cuyos valores se obtienen a través de una ficha de recolección de datos.	X ₁ Diseño hidráulico del sistema	X _{1,1} Caudal	m ³ /día	
				X _{1,2} Área superficial	m ²	
				X _{1,3} Ancho	ml	
				X _{1,4} Largo	ml	
				X _{1,5} Temperatura	°C	
				X _{1,6} Tiempo de retención hidráulico	Días	
Y.: TRATAMIENTO COMPLEMENTARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	Las aguas residuales domésticas se generan en las viviendas; provienen del servicio higiénico, de la cocina y del lavadero de ropa y tienen propiedades físicas, químicas y biológicas con concentración de contaminantes (Oteng-Peprah, Agbesi Acheampong y Devries, 2018).	Las aguas residuales domésticas se generan en las viviendas y provienen del servicio higiénico, cocina y lavadero de ropa; tienen propiedades físicas como el pH, temperatura, turbiedad, propiedades químicas como la DBO ₅ y la DQO y propiedades biológicas como los coliformes termotolerantes cuyos valores se registran en una ficha de reporte de datos.	Y ₁ Propiedades físicas	X ₂ Diseño estructural del sistema	X _{2,1} Profundidad del sistema	ml
				X _{2,2} Sustrato	mm	
				X _{2,3} Vegetación	tipo	
			Y ₂ Propiedades químicas	Y _{1,1} Temperatura	°C	
				Y _{1,2} Turbiedad	UNT	
				Y _{1,3} pH	Unidades de pH	
Y ₃ Propiedades biológicas	Y _{2,1} Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L				
	Y _{2,2} Demanda química de oxígeno	mg/L				
	Y _{3,1} Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml				

CAPÍTULO III

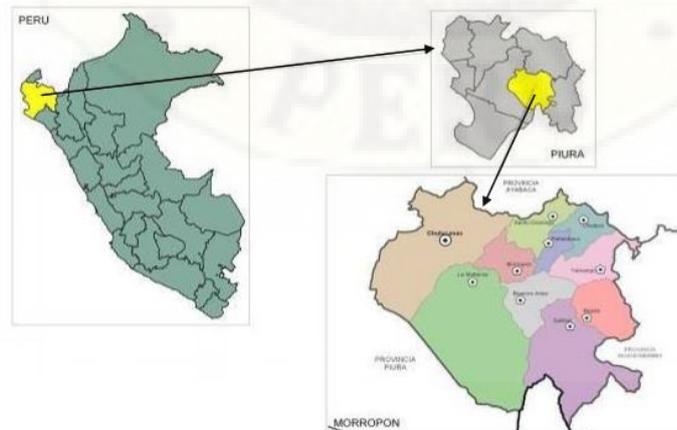
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Ámbito de estudio

La presente investigación tuvo como ámbito de estudio las viviendas rurales del sector San Sebastián ubicado en el distrito de Buenos Aires, provincia de Morropón, región Piura. Este caserío está compuesto por diecinueve viviendas rurales, de las cuales diecisiete viviendas cuentan con unidades básicas de saneamiento como sistema de tratamiento de aguas residuales. De este grupo de diecisiete viviendas, en once de ellas el sistema de tratamiento cuenta con pozo séptico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Figura 13

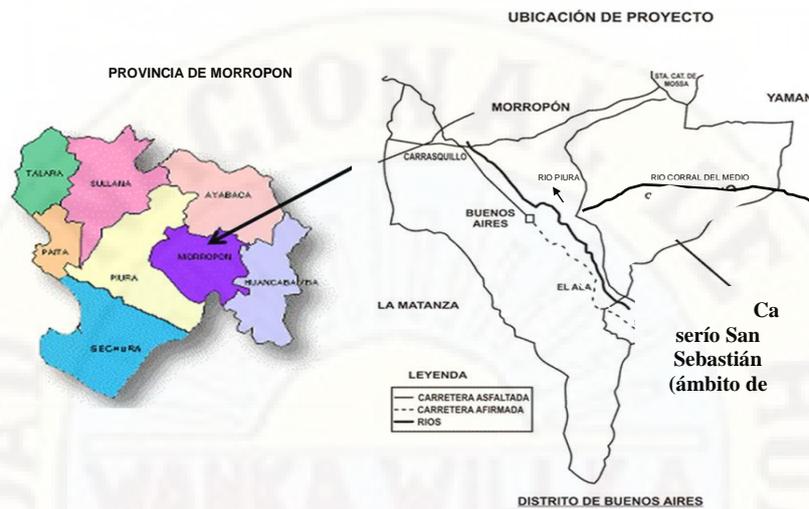
Localización del ámbito de estudio.



Nota. Imagen tomada desde el portal web de la Municipalidad Provincial de Morropón.

Figura 14

Localización del estudio en el distrito de Buenos Aires



Nota. Imagen tomada desde el portal web de la Municipalidad Provincial de Morropón.

3.2 Tipo de la investigación

La presente investigación por su finalidad fue de tipo aplicada. Sánchez y Reyes (1998), manifiestan que las investigaciones aplicadas se caracterizan por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ellas se derivan. La aplicación aplicada busca conocer para hacer, para actuar, para construir para modificar.

El presente estudio, a través de la implementación del sistema multifase de humedales sub superficiales buscó aplicar el conocimiento teórico para solucionar y/o controlar una situación de la realidad, que fue el deficiente tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, en la provincia de Morropón en la región Piura durante el periodo 2020.

3.3 Nivel de investigación

La presente investigación, por la profundidad del conocimiento que se llegó, se situó en el nivel explicativo, porque el objetivo fue determinar el efecto que produce la aplicación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas.

A decir de Vara (2015), las investigaciones de nivel explicativo buscan explicar por qué ocurre un fenómeno, bajo qué condiciones se presenta. En este nivel de explicación las investigaciones no solo descubren qué es lo que causa un determinado fenómeno, sino también buscan aclarar por qué lo causa.

Así, la presente investigación se situó en un nivel explicativo porque su objetivo fue explicar cómo se pueden reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas (efecto) a través de la aplicación de un sistema multi fase conformado por humedales sub superficiales (causa) en una vivienda rural del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, en la provincia de Morropón en la región Piura durante el periodo 2020.

3.4 Método de investigación

La presente investigación se sustenta en los siguientes métodos:

Método científico. Es el método que se utilizó en esta investigación como procedimiento de indagación para tratar un problema. Los pasos de esta metodología fueron: formulación de problema de investigación y su respectiva fundamentación y objetivos, planteamiento de hipótesis, comprobación de las hipótesis, discusión de resultados e identificación de las conclusiones.

Método experimental. El proceso de investigación del presente trabajo se realizó a través del método experimental, organizando deliberadamente condiciones de acuerdo a un plan previo con el fin de investigar las relaciones

causa – efecto exponiendo a un grupo experimental a la acción de una variable experimental contrastando los resultados del pre test con el post test.

La causa fue el sistema multifase de humedal sub superficial y se buscó conocer el efecto en el tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en una vivienda rural del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, en la provincia de Morropón en la región Piura durante el periodo 2020.

3.5 Diseño de investigación

Para la consecución de los objetivos planteados, la presente investigación utilizó el diseño experimental, porque se manipuló la variable independiente (sistema multi fase de humedal sub superficial) para evaluar los efectos que generó sobre la variable dependiente (tratamiento complementario de aguas residuales domésticas).

Vara (2015) señala que en los diseños experimentales se manipulan deliberadamente una o más variables independientes para estudiar sus efectos, agrega que, es un procedimiento riguroso usado para comprobar hipótesis causales mediante la manipulación de variables independientes.

Dentro de los diseños experimentales se utilizó un preexperimento con diseño de pre prueba – post prueba, que se caracterizó por seleccionar al azar muestras de aguas residuales domésticas en una vivienda rural y se le aplicó la pre prueba previa al tratamiento experimental, después se administró el tratamiento y finalmente se aplicó una prueba posterior (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Sobre los diseños pre experimentales Sánchez y Reyes (1998) señalan que tiene tres pasos a seguir: una medición previa de la variable dependiente a ser estudiada (pre test), aplicar la variable independiente o experimental X a los

sujetos, y, finalmente realizar una nueva medición de la variable dependiente (post test), por lo tanto, el diseño experimental tuvo el siguiente esquema:

GE O₁ X O₂

Donde:

GE = Grupo experimental.

X = Sistema multi fase de humedal sub superficial.

O₁ = Observación pre prueba en grupo experimental.

O₂ = Observación post prueba en grupo experimental

El grupo experimental (GE) estuvo formado por un sistema multi fase de humedal sub superficial que siguió la secuencia horizontal - vertical y se aplicó sobre los efluentes que provienen del tratamiento primario (tanque séptico) para medir la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas de una vivienda rural del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, en la provincia de Morropón en la región Piura durante el periodo 2020.

3.6 Población, muestra y muestreo

La población es el conjunto de todos los casos que tienen en común una serie de especificaciones. La población debe situarse claramente por sus características de contenido, lugar y tiempo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

En el presente estudio de investigación la población estuvo conformada por las aguas residuales domésticas que han recibido un tratamiento primario a través de tanques sépticos o biodigestores generadas en las once viviendas rurales del sector San Sebastián ubicadas en el distrito de Buenos Aires – Morropón – Piura durante el año 2020. La delimitación de la población siguió los criterios de inclusión y exclusión, recomendados por Vara (2015) y fueron:

Tabla 12

Criterios de inclusión y exclusión de la población

Descripción	Criterios de inclusión y exclusión
- Tipo de agua residual	Doméstica.
- Nivel de tratamiento previo	Pre tratamiento o tratamiento primario a través de tanque séptico o biodigestor (tanque séptico mejorado).
- Tipo de vivienda	Vivienda rural con unidad básica de saneamiento con tanque séptico.
- Ubicación	Sector San Sebastián del Distrito de Buenos Aires – Morropón – Piura.
- Período	Año 2020

Nota. Criterios para determinar la población adaptado de Pasos para la elaboración de proyectos de investigación científica (Valderrama, 2015).

Muestra. La muestra es un subconjunto de la población. Es representativo porque refleja fielmente las características de la población de estudio (Valderrama, 2015).

La muestra en la presente investigación fue el agua residual doméstica generada en una vivienda rural del distrito de Buenos Aires, Morropón en la región Piura durante el año 2020 proveniente del tanque séptico o biodigestor de una unidad básica de saneamiento.

Muestreo. Se hizo uso del muestreo intencional orientado por las características de la investigación. Este muestreo por criterio o intencional se realiza sobre la base de conocimiento y criterio del investigador y se basa primordialmente porque la población tiene características comunes (Vara, 2015). El muestreo del agua residual doméstica se realizó siguiendo el plan de monitoreo para la toma de muestras de aguas residuales domésticas aprobado por la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA emitido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas para la recolección de datos fueron:

Fuentes primarias:

- a. La observación. Se empleó esta técnica que consistió en observar atentamente el caso, se tomó información del experimento y se registró para su posterior análisis (Vara, 2015).
- b. Técnica específica propia de la disciplina. Se siguió el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, para determinar los puntos de monitoreo, la etiqueta de las muestras, cadena de custodia y reporte de resultados del monitoreo afluente / efluente de las aguas residuales domésticas, que es la variable dependiente.

Fuentes secundarias

- a. Datos secundarios. Implicó la revisión de documentos e investigaciones experimentales sobre la variable independiente, que gocen de suficiente nivel de pertinencia, objetividad, validez y confiabilidad; asimismo, en donde se hayan obtenido resultados eficientes en la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Los instrumentos para la recolección de datos fueron:

Para la variable independiente

- a. Fichas de recolección de datos para el sistema multi fase de humedal sub superficial, que se derivó de la revisión de datos secundarios, a través de la selección de unidades de análisis.
- b. Matriz de categorización y organización.

Para la variable dependiente

- a. Fichas de recolección de datos para los puntos de monitoreo.

- b. Fichas de reporte de resultados de muestras adaptado del protocolo de monitoreo del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.
- c. Materiales y equipos de campo para análisis de DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes. Se emplearon los siguientes materiales:

- a. Un cooler
- b. Un frasco plástico de 500 ml
- c. Un frasco plástico de 250 ml
- d. Un frasco plástico de 50 ml
- e. Dos frascos plásticos de 100 ml
- f. Un frasco de vidrio plástico de 250 ml
- g. Guantes
- h. Balde de 4 litros

Las muestras se determinaron en el afluente y efluente del sistema multi fase, previéndose el uso de equipo de protección indicado en el protocolo de muestreo.

- d. Materiales y equipos de campo para análisis de temperatura, turbiedad y pH. Se emplearon los siguientes materiales:

- a. Seis vasos precitados de 100 ml
- b. Dos vasos precitados de 250 ml
- c. Agua destilada
- d. Turbidímetro HANNA

Las muestras se determinaron en el afluente y efluente del sistema multi fase, previéndose el uso de equipo de protección indicado en el protocolo de muestreo.

- e. Se usó un cooler adecuado para transportar las muestras del experimento tomadas en campo al laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional de Piura para el análisis correspondiente.
- f. Se empleó el siguiente software:
 - a. Microsoft Excel para el registro de datos.

- b. Autocad 2016 para el dibujo de la ingeniería de detalle del diseño del sistema multi fase de humedales sub superficiales.
- c. Excell para los datos estadísticos.

Los instrumentos para la recolección de datos fueron validados por el jefe de laboratorio de control de calidad de la facultad de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional de Piura Ing Arquímedes Pintado Ticliahuanca.

3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se llevó a cabo mediante:

1. La consistencia de datos. Esta técnica permitió depurar los datos innecesarios o inexactos (Valderrama, 2015).
2. La clasificación de la información. Esta técnica se efectuó con la finalidad de agrupar datos de las variables independiente y dependiente (Valderrama, 2015).
3. La tabulación de datos. Esta técnica se efectuó agrupando datos en categorías y dimensiones hasta completar el total de la muestra.

El procedimiento para el procesamiento de datos para la variable independiente fue de la siguiente manera:

1. Se revisaron las tesis sobre humedales sub superficiales en la base de datos de las páginas web <http://site.ebrary.com/lib/bibliounhsp/home.action> y <https://dialnet.unirioja.es/>; proporcionadas por la Universidad nacional de Huancavelica de donde se seleccionó tres unidades de análisis.
2. Se practicó la revisión documental, con el objeto de identificar cómo es el funcionamiento de un humedal artificial de flujo sub superficial, cuáles son sus características hidráulicas y estructurales, qué modelos matemáticos se han experimentado con resultados positivos y cuáles son las formas de diseñar el sistema multi fase de humedal sub superficial,

utilizándose para estos fines una guía de revisión documental (Vara, 2015).

3. Se elaboró unas guías documentales considerando los siguientes datos: autor, localidad, título, año, diseño de investigación, tipo de humedal construido, mecanismo de funcionamiento y proceso constructivo (Vara, 2015).
4. Finalmente, se elaboró una matriz de organización y categorización de datos, donde se muestran los resultados para elaborar el diseño y la implementación del sistema multi fase de humedal sub superficial.

El procedimiento para el procesamiento de datos para la variable dependiente fue de la siguiente manera:

1. Se seleccionó una vivienda rural ubicada en el sector San Sebastián el distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura que cuente con una unidad básica de saneamiento construido con tanque séptico.
2. Se seleccionó dentro de la vivienda la ubicación y se implementó el sistema multi fase de humedal sub superficial, que consistió en la construcción de dos humedales sub superficiales uno del tipo horizontal y otro de tipo vertical.
3. Los tratamientos fueron de la siguiente manera: Se construyó una salida desde el tratamiento primario con fosa séptica, que se conectó al sistema en el orden de flujo horizontal – flujo vertical.
4. Para el cálculo del caudal se utilizó el valor indicado en la Norma Técnica de Diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú que estable un caudal $Q=0.2564$ m³/día.
5. Para la toma de muestras del agua residual se siguió el protocolo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú para esta disciplina antes del tratamiento (pretest) y después del tratamiento (postest).

6. Para los siguientes análisis se llevó el siguiente procedimiento:
- a. DBO₅. Se tomó la muestra en un frasco de plástico de 250 ml y se llenó el agua residual hasta el límite. Se guardó en el cooler y se envió al laboratorio. Los reactivos utilizados son: (KH₂PO₄ + NH₄Cl); CaCl₂; FeCl₃6H₂O; y, MgSO₄7H₂O.
Se diluyeron los reactivos en 1 litro de agua destilada obteniendo el agua dilución. Se introdujo 1 ml de agua de la muestra en 3 botellas de vidrio y se rellenó con la dilución y se midió con el oxímetro, obteniendo un OD inicial. Se incubó por 5 días a 20°C en oscuridad.
Luego de 5 días se vuelve a medir el OD final y se determinó el OD consumido con la siguiente fórmula: $(OD_i - OD_f) / V_{muestra}$) x 300 ml.
 - b. DQO. Se tomó la muestra en un frasco de plástico de 50 ml y se llenó el agua residual hasta el límite. Se guardó en el cooler y se envió al laboratorio.
A la muestra se le añadió una solución de digestión: 50 ml de agua destilada, 0.50 gr. de K₂Cr₂O₇, 8 ml de H₂SO₄ y 1.5 gr. de HgSO₄. Se disolvió y se enfrió a temperatura ambiente.
Se añadió como reactivo ácido sulfúrico. La proporción para la muestra en el vaso de digestión fue la siguiente: Muestra (2.5 ml.); Solución de digestión (1.5 ml.) y Reactivo ácido sulfúrico (3.5 ml.) siendo el volumen total 7.5 ml.
 - c. Coliformes termotolerantes. Se tomará la muestra en un frasco de vidrio de 250 ml y se llenará el agua residual hasta el límite. Se guardará en el cooler y se enviará al laboratorio.
7. Los valores de indicadores de la variable dependiente fueron analizados en el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional de Piura.
8. El análisis de temperatura, turbidez y pH se realizó de la siguiente manera:

- a. Turbidez. Se colocó una muestra de agua residual doméstica en un vaso precitado de 100 ml y con el equipo turbidímetro se obtuvo el resultado medido en UNT (unidades nefelométricas de turbidez) de este parámetro de manera automática.
 - b. Temperatura y pH. Se colocó una muestra de agua residual doméstica en un vaso precitado de 100 ml y con el equipo wáter thermometer se obtuvo el resultado medido en °C de la temperatura y del pH de manera automática.
9. Los resultados de los indicadores de la variable dependiente fueron digitalizados en el ordenador utilizando el programa Ms Office Excel con el fin de registrar los resultados y graficar estos parámetros.
 10. Finalmente, la interpretación de los resultados se analizó mediante el programa estadístico Excell.
 11. Para la toma de muestras, análisis e interpretación se contó con el apoyo del Ing. Arquímedes Pintado Ticliahuanca, del laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Piura y de la estudiante Lucero Belén Arellano Chapilliquén de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad nacional de Piura.

3.9 Descripción de la prueba de hipótesis

En la presente investigación se analizó la hipótesis mediante el desarrollo de las pruebas estadísticas. El Estadístico utilizado para la prueba de hipótesis fue la “distribución t de Student”, ya que se evaluó si los resultados de la pre prueba y post prueba difirieron entre sí de manera significativa respecto a sus medias.

La contrastación de la hipótesis con los resultados antes y después del tratamiento se realizó mediante el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis distribución t de Student pareadas ya que es un modelo pre

experimental post tratamiento. El cálculo del estadístico t se realizó por la ecuación siguiente:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

Donde \bar{X}_1 y \bar{X}_2 son las medias de cada par de observaciones. El cálculo de la desviación estándar de la diferencia se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

Donde “di” es la diferencia entre dos mediciones consecutivas para cada sujeto; “d” es la media de las diferencias; n es la cantidad de pares de observaciones

Los grados de libertad fueron calculados de la siguiente manera:

$$gl = n - 1$$

La contrastación de las hipótesis específicas estuvo dada así:

Hipótesis específica 1

H₀ = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, NO producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

H_A = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

Hipótesis específica 2

H₀ = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, NO producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

H_A = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

Hipótesis específica 3

H₀ = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, NO producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

H_A = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

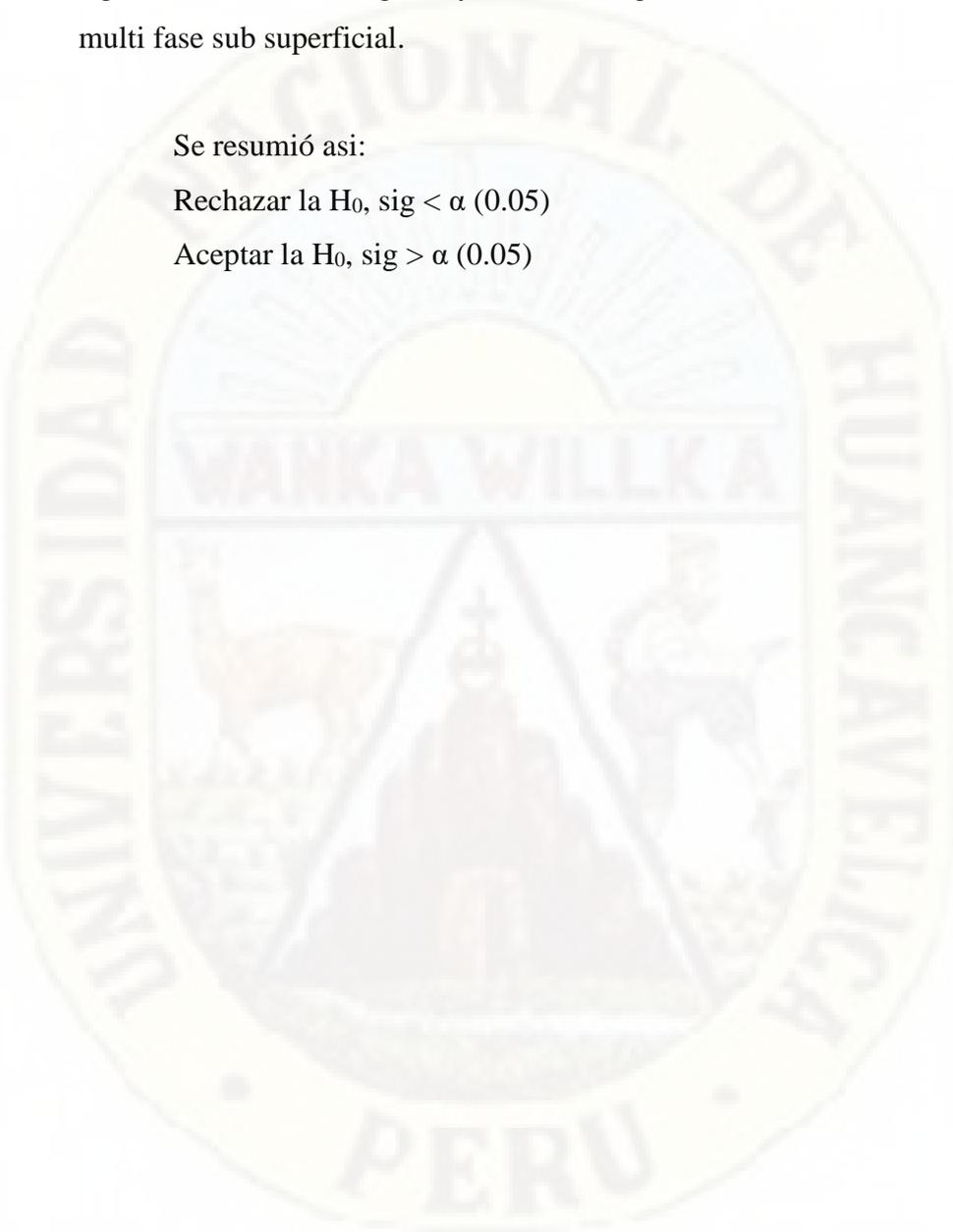
Las condiciones respecto a H₀, se detalla a continuación: Se rechaza la H₀ si el P_{calculado} (sig) es menor que el p-valor (0.05), indicando que existe una

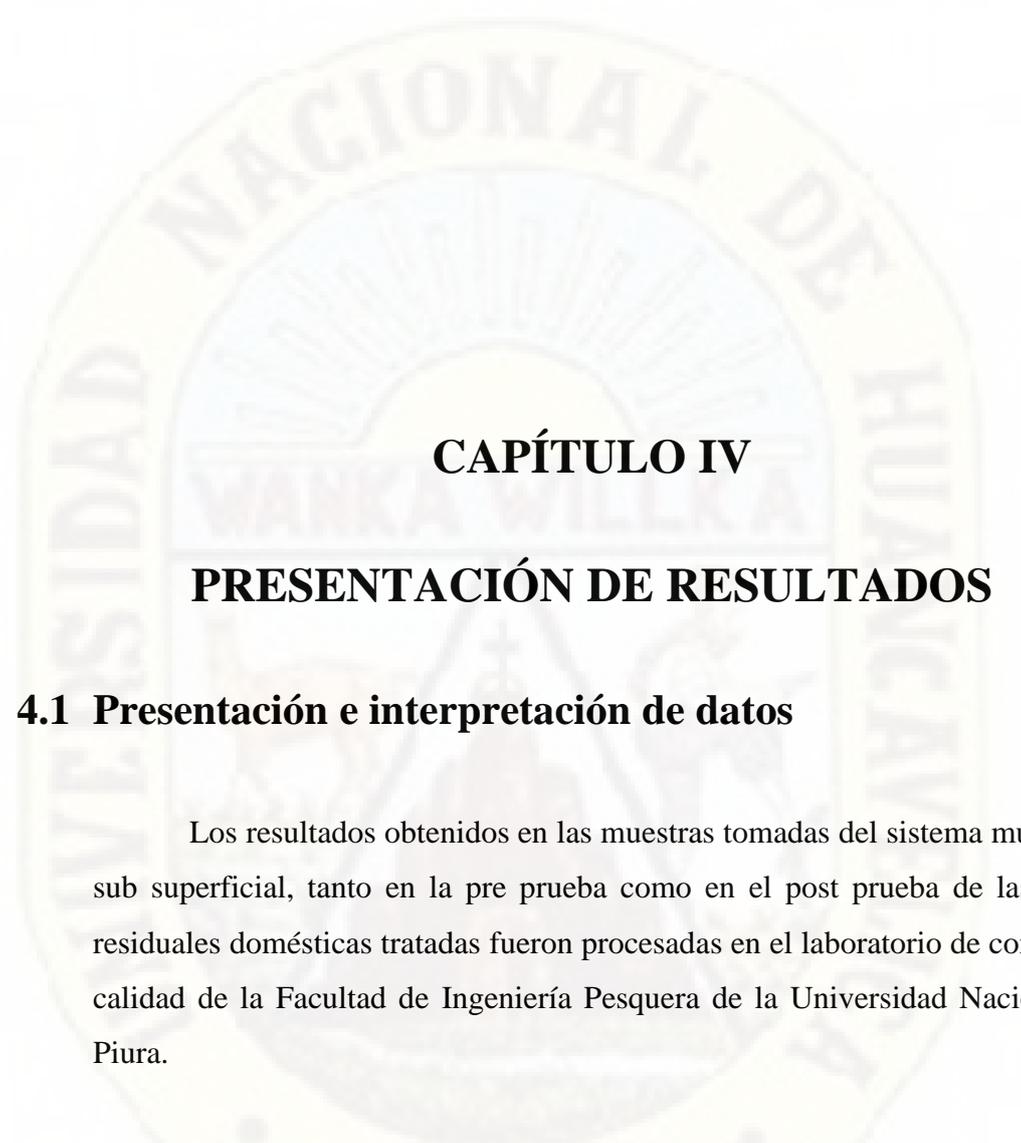
diferencia significativa entre el ingreso y salida del agua residual doméstica del sistema sub superficial; pero si se acepta la H_0 , indica que no existe diferencia significativa entre el ingreso y salida del agua residual doméstica del sistema multi fase sub superficial.

Se resumió así:

Rechazar la H_0 , $\text{sig} < \alpha$ (0.05)

Aceptar la H_0 , $\text{sig} > \alpha$ (0.05)





CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación e interpretación de datos

Los resultados obtenidos en las muestras tomadas del sistema multi fase sub superficial, tanto en la pre prueba como en el post prueba de las aguas residuales domésticas tratadas fueron procesadas en el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional de Piura.

Los tratamientos fueron de la siguiente manera: Se construyó una salida desde el tratamiento primario con fosa séptica de la unidad básica de saneamiento que se conectó al sistema en el orden de flujo horizontal – flujo vertical, donde previo al tratamiento se tomó una muestra (pre test) que se denominó “ingreso” y después del tratamiento se obtuvo como resultado el valor de “salida” (post test).

A continuación, se presenta el modelamiento matemático utilizado en el sistema multi fase con los valores del caudal de diseño, área superficial, longitud, ancho, temperatura para el diseño, profundidad para el sistema, y tipo de sustrato utilizado. Asimismo, se muestran los planos del sistema (anexo 10) y el registro fotográfico del proceso constructivo.

4.1.1 Modelamiento matemático del sistema multifase

Para el modelamiento matemático del sistema multi fase se utilizaron las fórmulas citadas por Espinoza (2014):

$$Kt = k_{20} (1,06)^{(t-20)} \quad (9)$$

$$A_s = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt(y)(n)} \quad (10)$$

$$TRH = \frac{A_s * y * n}{Q} \quad (11)$$

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{3}} \quad (12)$$

Los valores para el diseño hidráulico fueron los siguientes:

Estimación del caudal

Se utilizó el caudal de diseño indicado en la Norma Técnica de Diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú aprobado mediante RM N° 192-2018-VIVIENDA que establece $Q=0.2564 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Cálculo del área superficial

Para este cálculo se utilizó la fórmula de Reed et al, citado por Espinoza (2014):

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{Kt(y)(n)} \quad (3)$$

Donde los valores son los siguientes:

Q (caudal de diseño) = 0.2564 m³/día

Ln Co (Concentración efluente) = 5.01

Ln Ce (Concentración efluente) = 3.68

Kt (constante de temperatura) = 0.83

y (altura del sistema) = 0.60

n (porosidad) = 0.30

As = 1.980 m²

c. Cálculo del Tiempo de retención hidráulica

Se utilizó la fórmula de Reed et al:

$$TRH = \frac{A_s * y * n}{Q} \quad (11)$$

Donde los valores fueron:

As (Area superficial) = 1.980 m²

y (altura del sistema) = 0.60 m

n (porosidad) = 0.3

Q (caudal de diseño) = 0.25 m³/día

TRH = 1.43 días

d. Cálculo de la relación ancho: largo

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{3}} \quad (12)$$

Los valores fueron:

As (Area superficial) = 1.980 m²

b (ancho del sistema) = 0.81 m.

L (longitud del sistema) = 3b = 2.44 m

Medidas del sistema: 0.80 m x 2.40 m x 0.60 m (profundidad)

Medidas del sistema multifase

1. Sistema sub superficial horizontal: 0.80 m x 1.60 m x 0.60 m

2. Sistema sub superficial vertical: 0.80 m x 0.80 m x 0.60 m

El diseño y los planos del sistema multifase se adjuntan en este informe en el anexo 8.

4.1.2 Procedimiento de construcción

Como aporte de esta investigación, se preparó el procedimiento de construcción del sistema multifase, a fin de que pueda ser construido por cada familia donde se aplique este tratamiento.

- Este sistema multifase sólo puede aplicarse como tratamiento secundario y debe localizarse aguas debajo de un tanque séptico o biodigestor en las unidades básicas de saneamiento.
- Profundidad. Se recomienda que la profundidad media del sistema multifase sea 0,6 m y que la profundidad en la entrada no debe ser menor de 0,3 m. (con profundidades mayores a 0,6 m, las raíces más profundas de las plantas del multisistema y los rizomas empiezan a debilitarse).
- Usar máximo 1% de pendiente (tanto en el sistema horizontal como el vertical)
- Usar piedra de 2" en la zona de entrada al sistema para evitar taponamiento (en ambos sistemas)
- Usar piedra de 3/4" (sistema horizontal) y 1/2" a 3/4" (sistema vertical) (ver detalle en planos en anexo 5) como sustrato; en ambos casos debe ser lavado para eliminar los granos finos que puedan taponar el sistema y, posiblemente, causen flujo superficial.
- Construir una berma al menos de una hilada de ladrillo artesanal.
- Al inicio de la construcción se recomienda llenar el sistema multifase con agua potable para verificar que el ingreso y salida de aguas residuales cumpla con el tiempo de retención hidráulico diseñado (2 días mínimo).

Las partidas para la construcción del sistema multifase son las siguientes:

Tabla 13

Lista de partidas del sistema multifase

N°	Partida
01	Trabajos preliminares Trazo, nivel y replanteo
02	Movimiento de tierras. Excavaciones manuales.
03	Impermeabilizante con plástico doble color azul.
04	Construcción de cajas de registro .45 x .45
05	Suministro e instalación de tubería PVC 2”.
06	Instalación en el ingreso al sistema
07	Instalación en la salida del sistema.
08	Suministro y colocación de medio granular.
09	Colocación de arena gruesa y borde c/ladrillo
10	Implantación de vegetación.

Nota. Partidas para la construcción de un sistema multifase de humedales.

Trabajos preliminares. - Se debe escoger la ubicación dentro de la vivienda y se traza los 2 sistemas, tanto el horizontal (fase 1) y el vertical (fase 2). Se humedeció el fondo del terreno natural previo al inicio de los trabajos. Se consideró una pendiente del terreno del 1%.

Figura 15

Fotos de trabajos preliminares



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Movimiento de tierras. El sistema debe ubicarse después del tanque séptico y el trazo debe incluir las medidas adicionales para los ingresos y salidas a cada sistema (0.40 ml en el ingreso y 0.20 ml en la salida del sistema 1) (0.15 ml en el ingreso y 0.20 en la salida del sistema 2). Se debe verificar las medidas de cada sistema: Horizontal 0.80 ml. x 1.60 ml. x 0.60 ml.; Vertical 0.80 ml. x 0.80 ml. x 0.60 ml. Se procedió a humedecer ambas excavaciones previo a la colocación del plástico color azul y se verificó que las medidas correspondan a los planos del sistema multifase.

Figura 16

Fotos de movimiento de tierras



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Impermeabilizante con plástico color azul. Como impermeabilizante, para que el agua residual doméstica en tratamiento no se infiltre al suelo se utilizó plástico color azul doblado. La colocación se hizo tomando el plástico y doblándolo hasta que quedó de doble fondo. Se tuvo particular cuidado en no deteriorar el plástico y que sobren entre 10 y 15 cms. sobre el borde del perímetro de cada sistema, tanto horizontal como vertical. Después de la colocación de este impermeabilizante se colocó el sustrato previamente lavado para evitar que la suciedad sature el sistema multifase

Figura 17

Fotos de impermeabilización



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Caja de registro. Se utilizó una caja de 0.60 ml. x 0.30 ml. prefabricada y se colocó a 0.80 ml de distancia. Esta caja sirvió para el registro previo del tanque séptico. Se conectó al sistema mediante una tubería PVC de 2". En la caja de registro se realizó la toma de muestras antes de entrar al sistema multifase.

Se tuvo cuidado en controlar los niveles de ingreso del agua residual pre tratada y la pendiente de la tubería de PVC de 2" no fue menor al 1%

Figura 18

Fotos de caja de registro



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Suministro e instalación de tubería PVC. La tubería fue de PVC de 2” y se instaló de acuerdo a lo especificado en los planos del sistema multifase, Los orificios que distribuyeron el agua que ingresa al sistema se realizaron cada 15 cms. en la cabecera del sistema. En este sector se tuvo cuidado que el sustrato no taponee dichos orificios. En la parte final del sistema los orificios se realizaron en la dirección del flujo del agua residual doméstica en tratamiento y se colocó un tubo de ventilación de PVC de 2” para controlar los niveles, asimismo sirvió para ventilar el sistema y evaluar si se generan malos olores.

Figura 19

Fotos de instalación de tubería PVC 2”



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Instalación en el ingreso al sistema. La tubería PVC de 2” en el ingreso al sistema multifase se instaló en forma de T, con orificios para el

ingreso al sistema elaborados cada 15 cms con taladro manual. Esta tubería de ingreso se conectó desde la caja de registro y en este sector se colocó piedra grande de 2” a 3” para que evitar la saturación y se produzca un flujo libre del agua residual doméstica a tratar.

El ingreso se hizo al sistema de flujo sub superficial tipo horizontal con las medidas indicadas en el trazo preliminar. Se tuvo cuidado en colocar la tubería de PVC de 2” con una pendiente no menor a 1%.

Figura 20

Instalación en el ingreso del sistema



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Instalación en la salida del sistema. En la salida del sistema se colocó la tubería PVC de 2" en forma de T y con un tubo de ventilación de PVC de 2" con un sombrero de ventilación en la parte final del sistema. Esta tubería sirvió para controlar niveles del agua residual. Los orificios para la salida fueron preparados con un taladro manual y se realizaron cada 15 cms. Asimismo a efectos de que el agua residual tratada se dirija hacia la arqueta de salida se colocó piedra con un tamaño no menor de 2". Para la preparación del sistema y la toma de muestras del agua residual doméstica en tratamiento se contó con el apoyo de la estudiante de Ingeniería Química Lucero Belén Arellano Chapilliquén.

Figura 21

Fotos de instalación de salida del sistema



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Suministro y colocación del medio granular. En la fase 1 del sistema multifase que fue de tipo horizontal se colocó piedra granular de 2" a 0.40 cms de la entrada al sistema. Luego se colocó a lo largo del sistema de fase 1 piedra de 3/4" a 1" a una altura de 0.40 m. desde el fondo del sistema; posteriormente en la parte superior se colocó arena gruesa a una altura de 0.20 ml. Todo el sustrato fue previamente lavado.

En la fase 2 que fue el humedal sub superficial de tipo vertical se colocó piedra de 3/4" a 0.20 ml en el fondo del sistema; posteriormente se colocó piedra de 1/2" con una altura de 0.20 ml. y en la parte superior se colocó arena gruesa a 0.20 ml. y en este sector se plantó la vegetación local.

Figura 22

Fotos de suministro de medio granular



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Colocación de arena gruesa. Este sustrato se colocó en la parte final de ambas fases (tanto horizontal como vertical) de acuerdo a lo indicado en los planos del sistema multifase adjuntos como anexo en esta investigación. En este nivel de sustrato se coloca la vegetación local que cumple las funciones de depuración de la materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas. Se humedeció el sistema multifase previo al inicio de los tratamientos para verificar su correcto funcionamiento. Se colocó un borde con ladrillo artesanal para controlar los niveles, asimismo se verificó a través de las tuberías de ventilación que el sistema funcione de manera correcta previo al inicio de su operación.

Figura 23

Fotos de colocación de arena gruesa



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

Implantación de la vegetación. La vegetación seleccionada debe colocarse sobre la arena gruesa. Se seleccionó la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) que se encontró en la ribera del río Piura en condiciones naturales. En la presente investigación se utilizó esta especie, pero según los antecedentes de estudio es posible utilizar cualquier tipo de vegetación local que pueda sobrevivir en condiciones de saturación y sobre medio granular.

En la imagen se puede observar que la vegetación fue seleccionada de la ribera del río, que crece en condiciones de saturación y se colocó sobre la parte superior del sistema.

Figura 24

Implantación de la vegetación



Nota. Procedimiento de construcción del sistema multifase

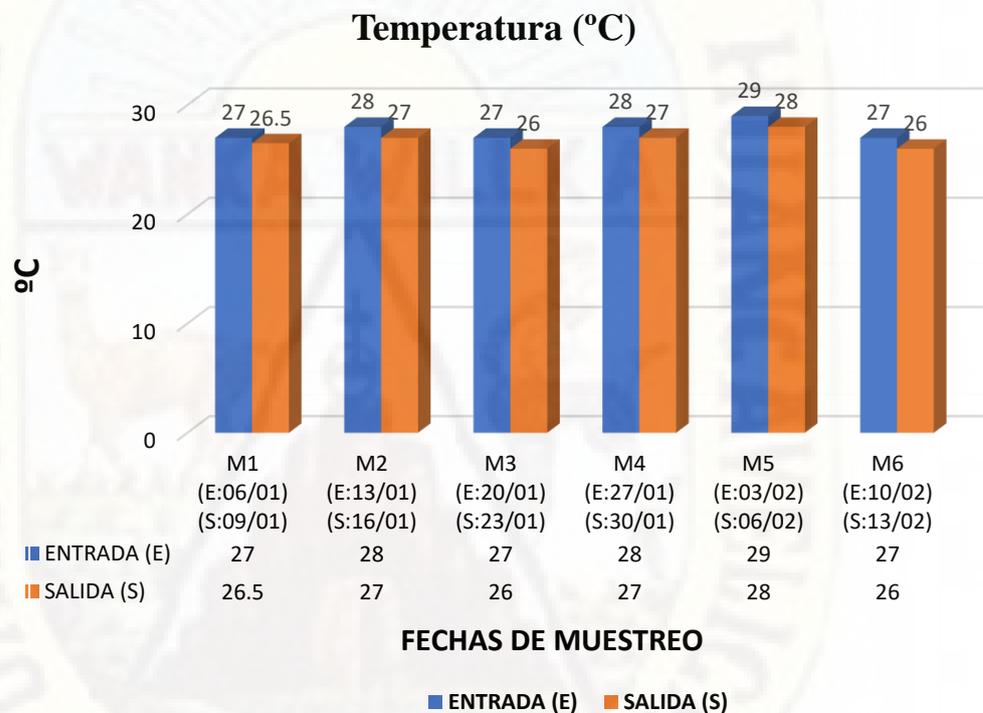
4.2 Resultados de los parámetros

4.2.1 Resultados de propiedades físicas

a. Resultados de parámetro temperatura

Figura 25

Evaluación de la temperatura en la entrada y salida del sistema multifase



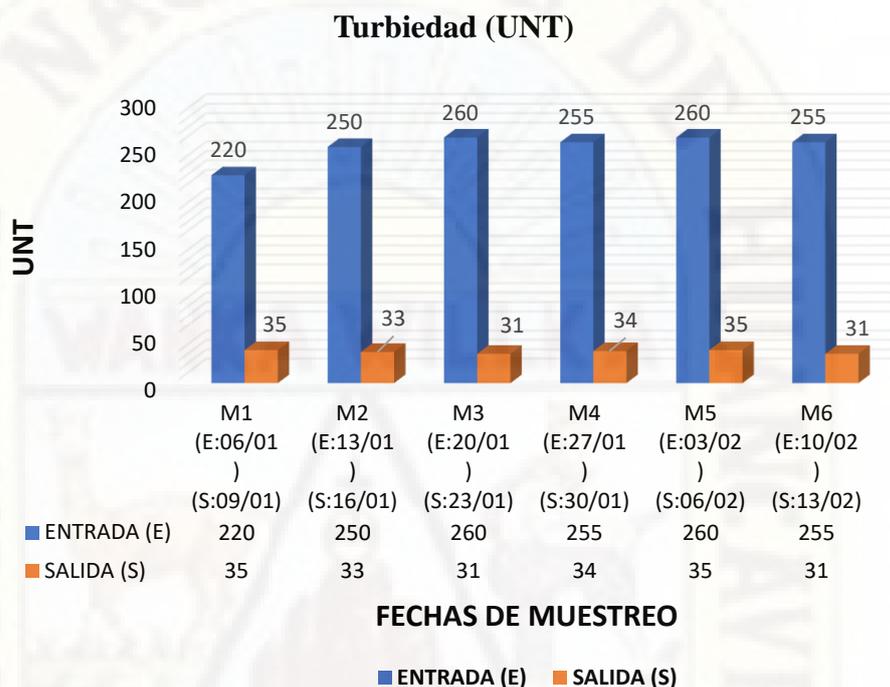
Nota. En la figura 25, se verificó un total de seis muestras para las aguas de entrada y salida del sistema multifase sub superficial. Las fechas de ingreso de la primera muestra fue el día 06/01 y de la última muestra fue el día 10/02. En el nivel de entrada al sistema multifase se obtuvo como promedio 27.6 °C. El valor mínimo de entrada fue 27 °C, y el valor máximo fue de 29 °C.

En el nivel de salida del sistema multifase se obtuvo como promedio 26.75 °C. El valor mínimo encontrado fue de 26 °C, y el valor máximo fue de 28 °C.

b. Resultados de parámetro turbiedad

Figura 26

Evaluación de la turbiedad en la entrada y salida del sistema multifase



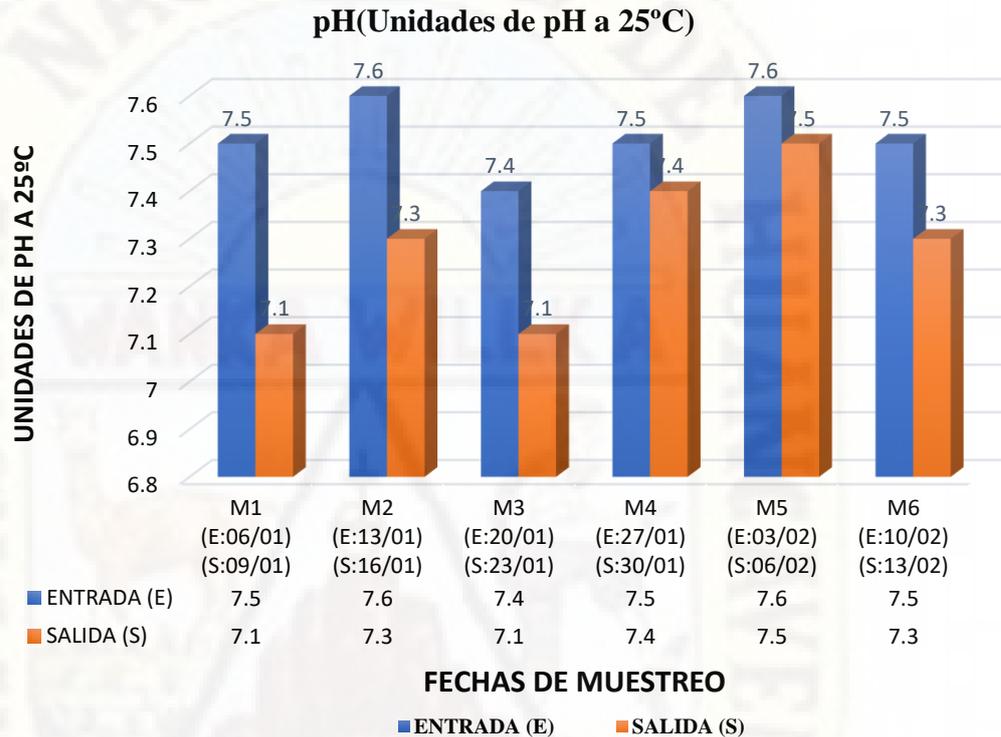
Nota. En la figura 26, se verifica la evaluación del parámetro turbiedad en la entrada y salida del sistema multifase. En total se obtuvieron seis muestras para las aguas de entrada y salida del sistema multifase sub superficial. En el nivel de entrada del sistema multifase se obtuvo como promedio 250 UNT. El valor mínimo de entrada fue 220 UNT, y el valor máximo fue de 260 UNT.

En el nivel de salida del sistema multifase se obtuvo como promedio 33.16 UNT. El valor mínimo encontrado fue de 31 UNT, y el valor máximo fue 35 UNT.

c. Resultados de pH

Figura 27

Evaluación de pH en la entrada y salida del sistema multifase



Nota. La evaluación del pH a la entrada y salida del sistema se muestra en la figura 27 para un total de seis muestras para las aguas tratadas en la entrada y salida del sistema sub superficial. En el nivel de entrada del sistema multifase el valor mínimo de entrada fue 7.4 unidades de pH a 25°C, y se registró en la tercera muestra. El valor máximo fue 7.6 unidades de pH a 25°C.

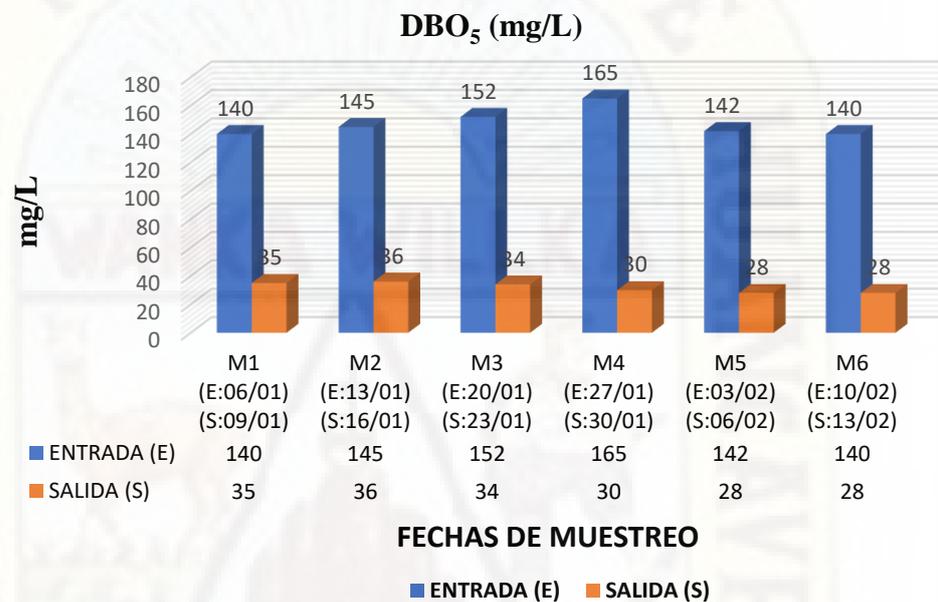
En el nivel de salida del sistema multifase el valor mínimo de entrada fue 7.1 unidades de pH a 25°C, y el valor máximo fue 7.5 unidades de pH a 25°C.

4.2.2 Resultados de propiedades químicas

a. Resultados de demanda bioquímica de oxígeno DBO₅

Figura 28

Evaluación de DBO₅ en la entrada y salida del sistema multifase



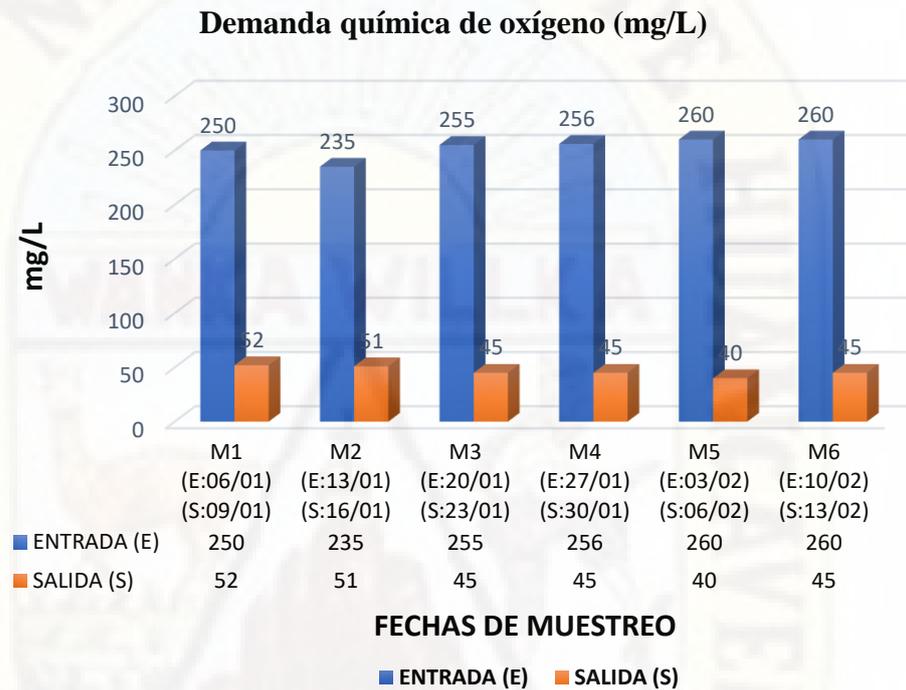
Nota. En los resultados de la evaluación de la eficiencia de la DBO₅ que se muestran en la figura 28, se verifica un total de seis muestras para las aguas de entrada y salida del sistema sub superficial. En el nivel de entrada del sistema multifase se obtuvo como promedio 147.33 mg/L. El valor mínimo de entrada fue 140 mg/L, y el valor máximo fue de 165 mg/L.

En el nivel de salida del sistema multifase se obtuvo como promedio 31.83 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 28 mg/L, y el valor máximo fue de 36 mg/L.

b. Resultados demanda química de oxígeno DQO

Figura 29

Evaluación de la DQO en la entrada y salida del sistema multifase



Nota. Los resultados de la evaluación de la demanda química de oxígeno que se muestran en la figura 29, indican un total de 6 muestras para las aguas de entrada y salida del sistema sub superficial. En el nivel de entrada del sistema multifase se obtuvo como promedio 252.66 mg/L. El valor mínimo de entrada fue 235 mg/L, y el valor máximo fue de 260 mg/L.

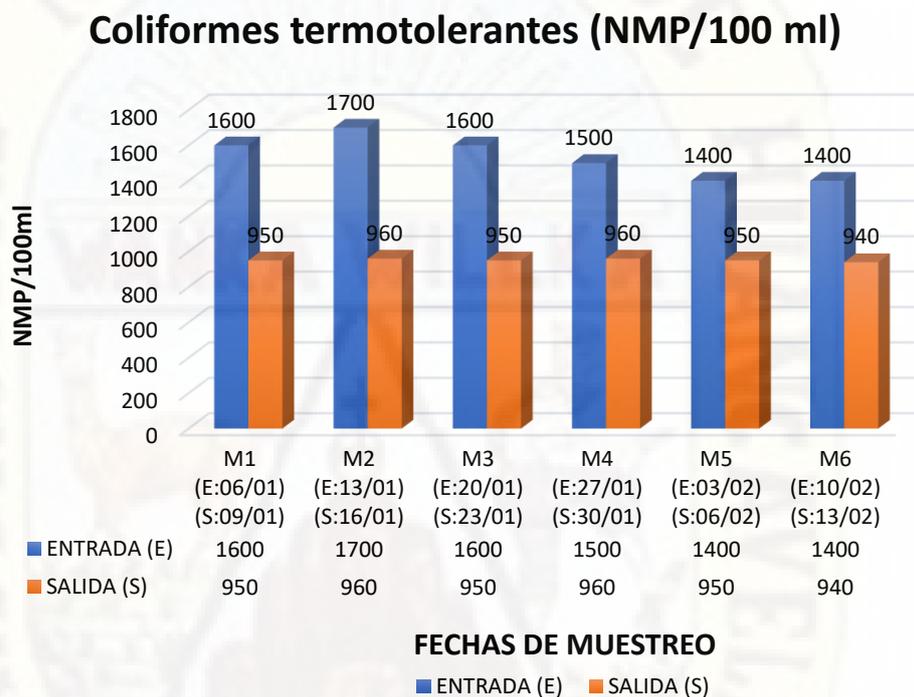
En el nivel de salida del sistema multifase se obtuvo como promedio 46.33 mg/L. El valor mínimo encontrado fue de 40 mg/L, y el valor máximo fue de 52 mg/L.

4.2.3 Resultados de propiedades biológicas

a. Resultados de parámetro coliformes termotolerantes

Figura 30

Evaluación de los coliformes termotolerantes en la entrada y salida del sistema multifase



Nota. Los resultados de la evaluación del tratamiento de los coliformes termotolerantes se muestran en la figura 30, se verifica un total de 6 muestras para las aguas de entrada y salida del sistema multi fase sub superficial. En el nivel de entrada del sistema multifase se obtuvo como promedio 1533.33nmp/100ml (número más probable en 100ml). El valor mínimo de entrada fue 1400 nmp/100ml, y el valor máximo fue de 1700 nmp/100ml.

En el nivel de salida del sistema multifase se obtuvo como promedio 951.66 nmp/100ml. El valor mínimo encontrado fue de 940 nmp/100 ml, y el valor máximo fue de 960 nmp/100ml.

4.3 Resultados de la eficiencia de remoción de los parámetros

En esta sección se presentan los resultados de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos (turbiedad), químicos (DBO₅ Y DQO) y biológicos (coliformes termotolerantes) del sistema multifase. El porcentaje de capacidad de remoción para cada parámetro se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

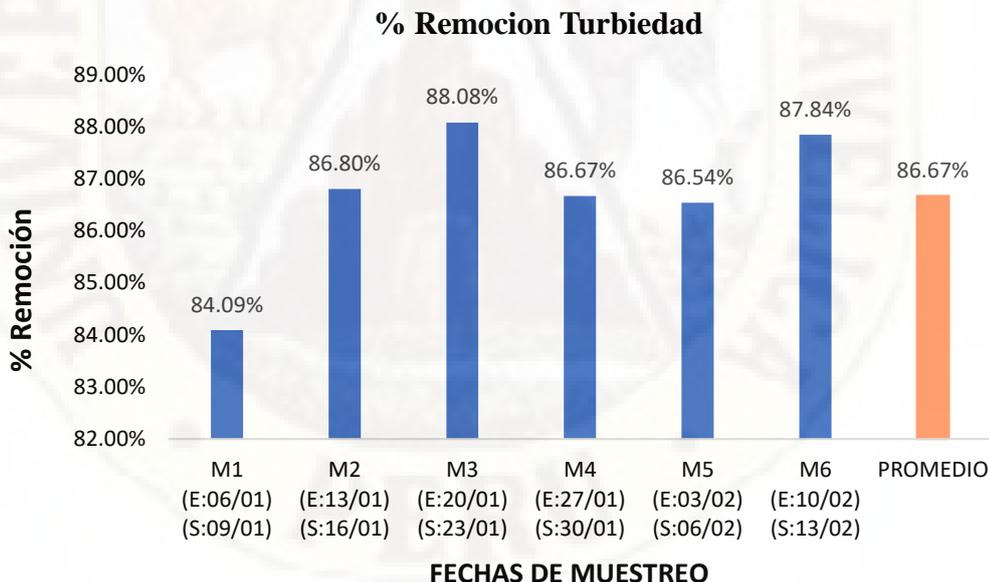
$$\% \text{ Remoción} = \frac{(\text{Concentración entrada} - \text{Concentración salida})}{\text{Concentración entrada}} \times 100$$

4.3.1 Resultados de propiedades físicas.

a. Resultados de parámetro turbiedad

Figura 31

Remoción de la turbiedad post test del sistema multifase



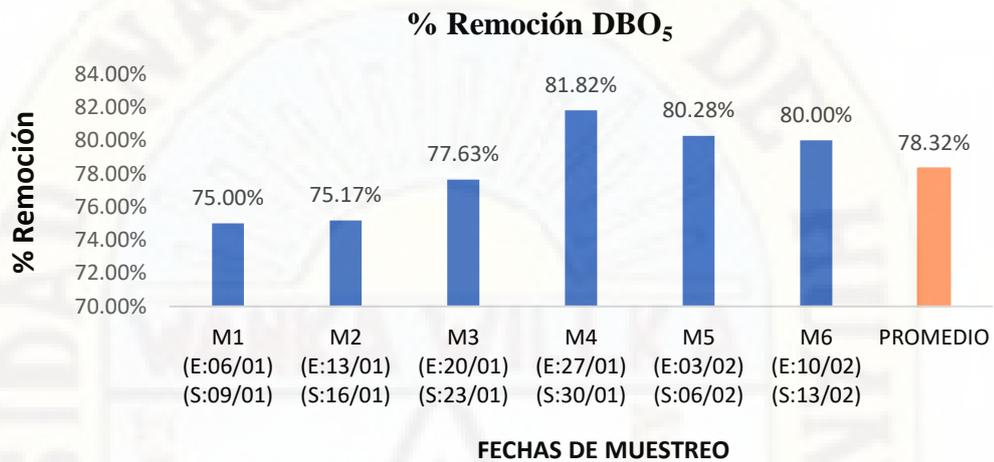
Nota. En la figura 31 se observa que, en el parámetro Turbiedad el porcentaje de remoción en la muestra 1 fue de 84.09% y el valor más alto de remoción fue en la muestra 3 con 88.08%. El valor promedio obtenido fue de 86.67% de eficiencia en su remoción.

4.3.2 Resultados de propiedades químicas

a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Figura 32

Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno post test del sistema multifase

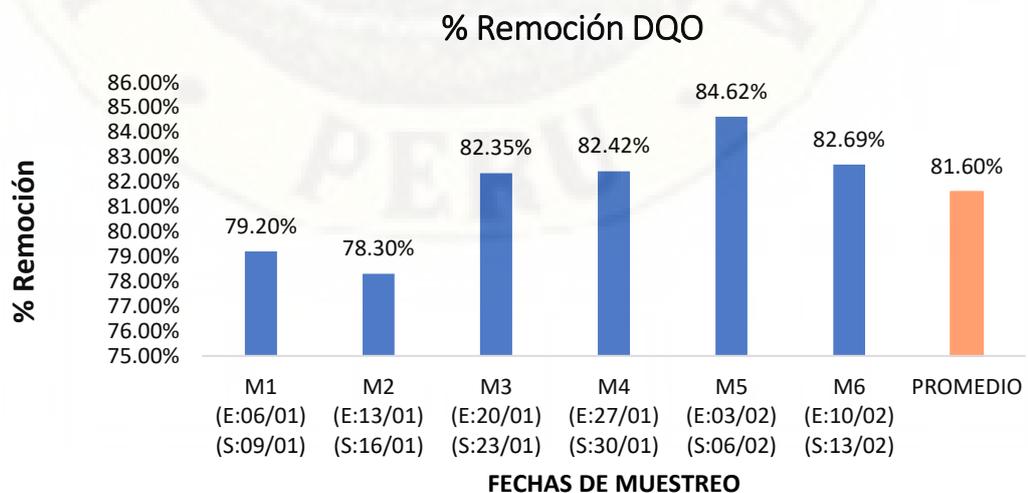


Nota. El porcentaje de remoción de eficiencia de la DBO₅ del sistema multifase, tuvo un valor promedio de 78.32 %. En la muestra 1 se registró 75% de eficiencia en la remoción, y el valor más alto fue en la muestra 4 con 81.82%.

b. Demanda química de Oxígeno (DQO)

Figura 33

Porcentaje de remoción DQO



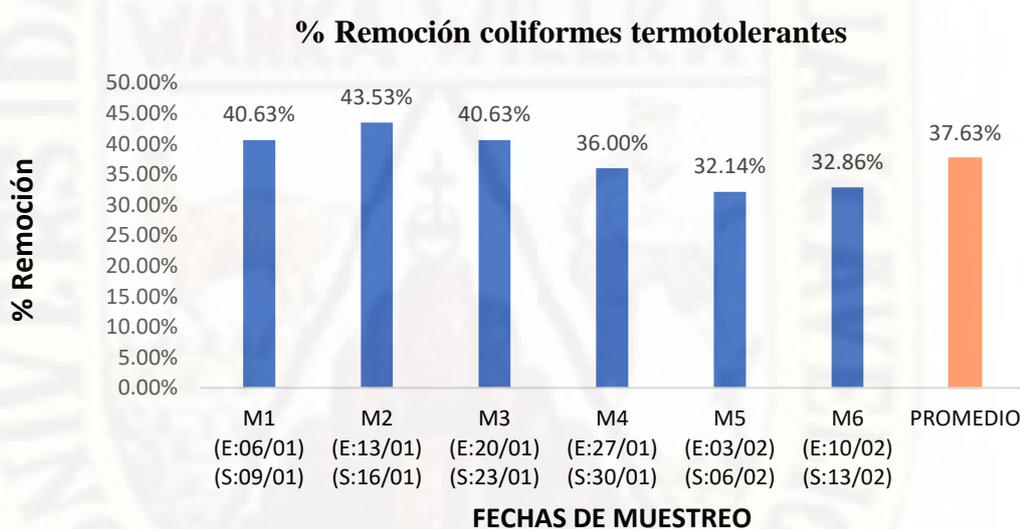
Nota. El porcentaje de remoción de eficiencia de la DQO del sistema multifase, tuvo un valor promedio de 81.60 %. En la muestra 1 el porcentaje de eficiencia alcanzó el 79.20% y el valor más alto se registró en la muestra 5 con 84.62% de eficiencia.

4.3.3 Resultados de propiedades biológicas

a. Resultados de parámetro de coliformes termotolerantes

Figura 34

Remoción de coliformes termotolerantes post test del sistema multifase



Nota. El porcentaje de remoción de eficiencia en el parámetro Coliformes termotolerantes del sistema multifase, tuvo un valor promedio de 37.63 %. En la muestra 1 el porcentaje de eficiencia alcanzó el 40.63% y el valor más alto se registró en la muestra 2 con 43.53% de eficiencia.

El valor más bajo de eficiencia se registró en la muestra 5 con 32.14% de eficiencia de remoción.

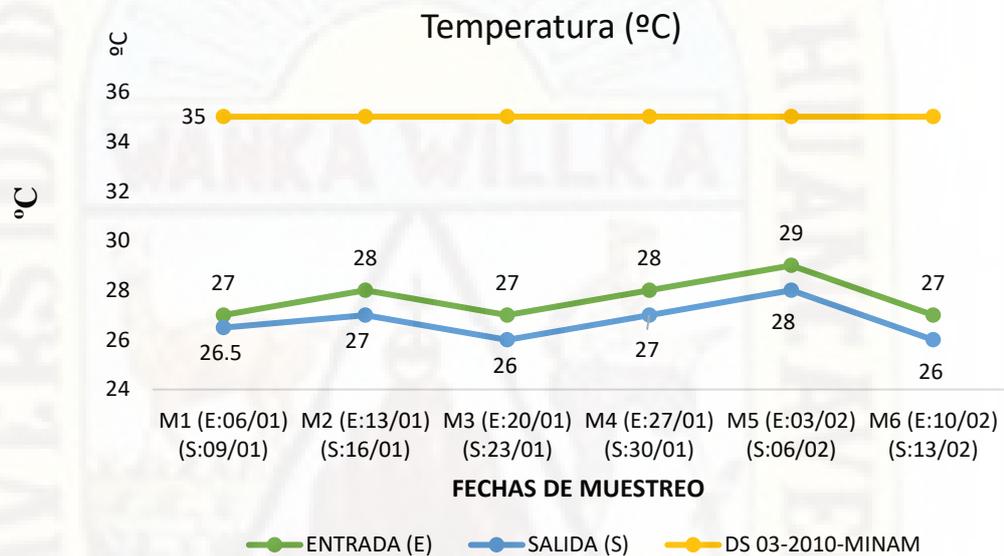
4.4 Contrastación de parámetros con los límites máximos permisibles

4.4.1 Contrastación de propiedades físicas

a. Resultado de parámetro Temperatura

Figura 35

Contrastación de resultados de la temperatura con límites máximos permisibles



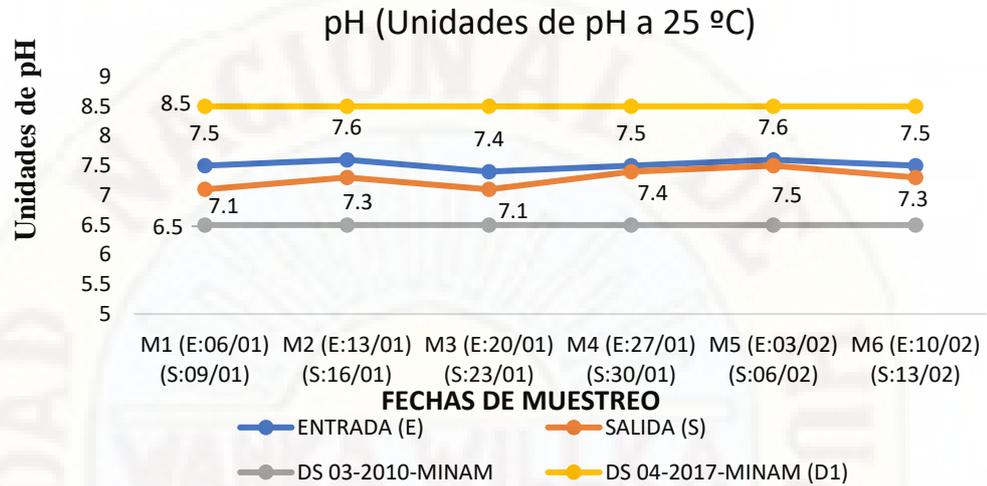
Nota. En la figura 35, se verifica un total de 6 muestras para las aguas de salida del sistema sub superficial. El límite máximo permisible para el parámetro temperatura según la normativa aprobada con D.S. 03-2010-MINAM señala que la temperatura máxima es 35°C.

En el nivel de salida del sistema multifase se obtuvo como promedio 26.75°C. El valor máximo de temperatura fue de 29°C y el valor mínimo fue 26°C. En la entrada del agua residual al sistema la temperatura también registró datos debajo del nivel establecido en la normativa. Asimismo, la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del sistema fue menor a 3 °C, lo que permite cumplir con el DS 04-2017-MINAM.

b. Resultados de parámetro pH

Figura 36

Contrastación de resultados pH con límites máximos permisibles



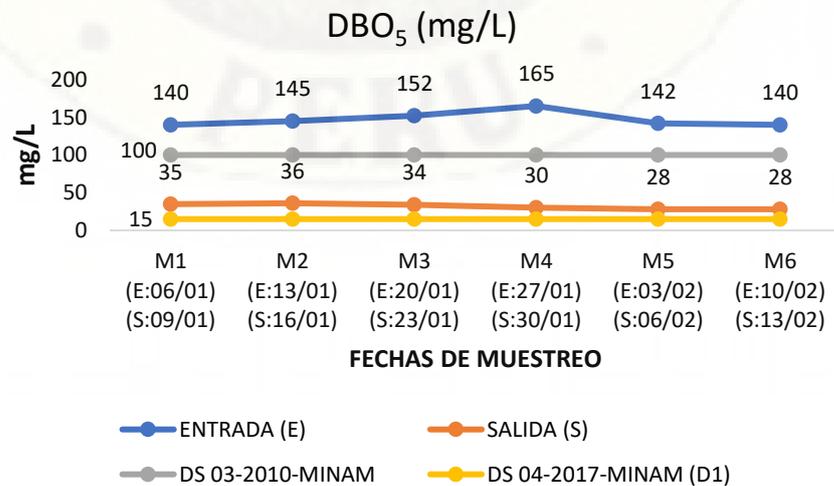
Nota. En la figura 36 se observan los valores de las 6 muestras. El valor máximo de pH en la entrada al sistema fue 7.6 unidades de pH a 25°C y el valor mínimo fue 7.4 unidades de pH a 25°C. En la salida el valor mínimo fue 7.1 unidades de pH a 25°C.

4.4.2 Contrastación de propiedades químicas

a. Resultados de parámetro demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Figura 37

Contrastación de resultados de la DBO₅ con límites máximos permisibles

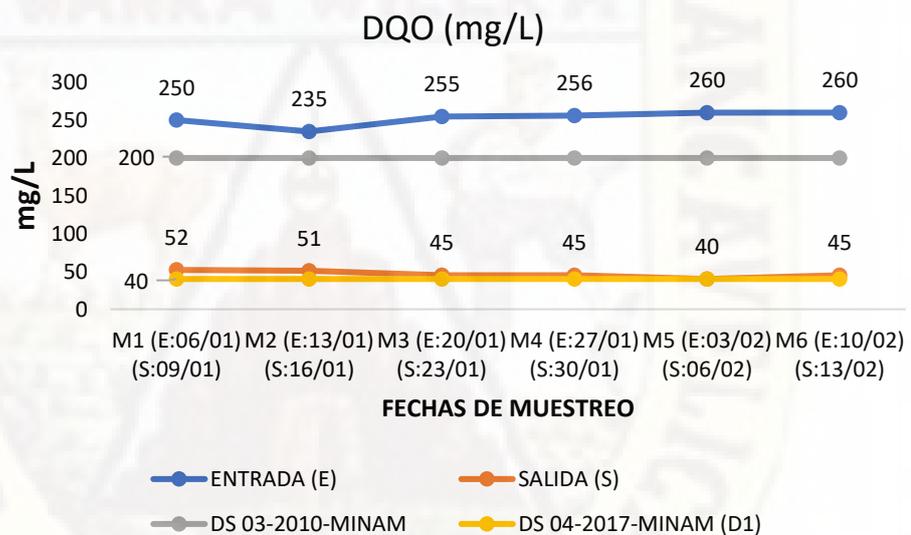


Nota. En la figura 37 se verifica un total de 6 muestras para las aguas de salida del sistema multifase. En el nivel de salida del sistema sub superficial se obtuvo como promedio 31.83 mg/L. En todas las muestras de salida los valores encontrados no cumplen con la normativa aprobada con D.S. 04-2017-MINAM categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales; sin embargo, si cumplen con la normativa aprobada con D.S. 03-2010-MINAM que señala que el límite máximo permisible es de 100 mg/L.

b. Resultados de parámetro demanda química de oxígeno (DQO)

Figura 38

Contrastación de resultados de la DQO con límites máximos permisibles



Nota. En la figura 38 se observa que el límite máximo permisible para este parámetro establecido en el DS 03-2010-MINAM es de 200 mg/L y en las muestras los valores fueron, desde 40 mg/L hasta 52 Mg/L.

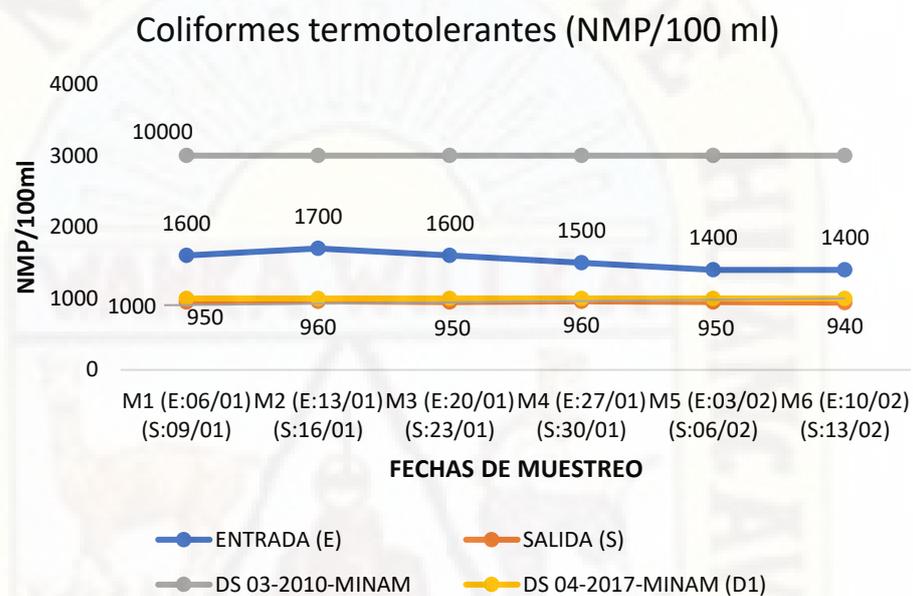
Para el caso de los LMP establecidos en el DS 04-2017-MINAM, para el reuso del agua residual tratada, sólo en la muestra 5 (M5) se cumplió con el parámetro. En las muestras 1,2,3,4 y 6 no se cumple con estos límites.

4.4.3 Contratación de propiedades biológicas

a. Resultados de parámetro coliformes termotolerantes

Figura 39

Contratación de resultados de los coliformes termotolerantes con límites máximos permisibles



Nota. En la figura 39 se verifica un total de 6 muestras para las aguas de salida del sistema multifase. El límite máximo permisible para el parámetro DQO según la normativa aprobada con D.S. 03-2010-MINAM es de 10.000 NMP/100ml. En todas las muestras el valor ingresado al sistema multifase es menor a lo expresado en la normativa.

En el nivel de salida del sistema multifase se obtuvo como promedio 951.66 NMP/100ml. En todas las muestras se cumple con la normativa aprobada con D.S. 04-2017-MINAM categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales.

El valor mínimo obtenido en la salida del sistema multifase es 940 NMP/100ml y el valor máximo es 960 NMP/100ml. En todos los casos, se cumple con el límite máximo permisible establecido en la normativa.

4.5 Proceso de prueba de hipótesis

La contrastación de la hipótesis con los resultados del tratamiento se realizó mediante la aplicación del procedimiento estadístico de prueba de hipótesis T-student - diferencia de medias. Previamente se analizaron los datos mediante el Test Shapiro – Wilk, verificándose que los datos obtenidos presentaron una distribución normal tal como se verifican en las pruebas adjuntas en el Anexo 11.

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

Donde \bar{X}_1 y \bar{X}_2 son las medias de cada muestra; S_1^2 y S_2^2 son las varianzas de las muestras; n_1 y n_2 son los tamaños de las muestras.

Hipótesis específica 1: La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

Formulación de hipótesis estadística 1:

H₀ = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, NO producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

H_A = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

Hipótesis específica 2: La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

Formulación de hipótesis estadística 2:

H₀ = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, NO producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

H_A = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

Hipótesis específica 3: La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

Formulación de hipótesis estadística 3:

H₀ = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, NO producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

H_A = La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura.

Las condiciones respecto a H₀, se detalla a continuación: Se rechaza la H₀ si el P_{calculado} (sig) es menor que el p-valor (0.05), indicando que existe una diferencia significativa entre la entrada y salida del agua residual doméstica del sistema sub superficial; pero si se acepta la H₀, indica que no existe diferencia significativa entre la entrada y salida del agua residual doméstica del sistema multifase.

4.5.1 Hipótesis específica 1 – Propiedades físicas

Prueba de hipótesis del parámetro temperatura

Se utilizó la herramienta estadística Excel – Análisis de datos – Prueba “T” para medias de dos muestras emparejadas y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 14

Prueba de Hipótesis – Temperatura

	<i>ENTRADA</i>	<i>SALIDA</i>
Media	27.6666667	26.75
Varianza	0.66666667	0.575
Observaciones	6	6
Coefficiente de correlación de Pearson	0.96908742	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	11	
<u>P(T<=t) una cola</u>	<u>0.000054026</u>	
Valor crítico de t (una cola)	2.01504837	

Nota. Se observó que el valor de “p” en el parámetro de Temperatura es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia favorable y significativa entre el nivel de ingreso y salida de agua residual doméstica en el sistema multifase.

Prueba de hipótesis del parámetro turbiedad

Se utilizó la herramienta estadística Excell – Análisis de datos - Prueba “T” para medias de dos muestras emparejadas y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 15

Prueba de hipótesis – Turbiedad

	<i>ENTRADA</i>	<i>SALIDA</i>
Media	256.6667	33.3333
Varianza	8.3333	4.3333
Observaciones	3.0000	3.0000
Coefficiente de correlación de Pearson	0.6934	
Diferencia hipotética de las medias	0.0000	
Grados de libertad	2.0000	
Estadístico t	185.8246	
<u>P(T<=t) una cola</u>	<u>0.00001447</u>	
Valor crítico de t (una cola)	2.9200	

Nota. Se observó que el valor de “p” en el parámetro de Turbiedad es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia favorable y significativa entre el nivel de ingreso y salida de agua residual doméstica en el sistema multifase.

Prueba de hipótesis del parámetro pH (unidades de pH a 25°C)

Se utilizó la herramienta estadística Excell – Análisis de datos - Prueba “T” para medias de dos muestras emparejadas y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16

Prueba de hipótesis - pH

	<i>ENTRADA</i>	<i>SALIDA</i>
Media	7.51666667	7.28333333
Varianza	0.00566667	0.02566667
Observaciones	6	6
Coefficiente de correlación de Pearson	0.69098749	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	4.71939904	
<u>P(T<=t) una cola</u>	<u>0.00262272</u>	
Valor crítico de t (una cola)	2.01504837	

Nota. Se pudo observar que el valor de “p” es menor a 0.05, por lo que se determinó por lo que se determinó que existe diferencia favorable y significativa entre el nivel de ingreso y salida de agua residual doméstica en el sistema multifase.

Por lo tanto, con los resultados de los parámetros físicos encontrados, en los que los valores de “p” son menores a 0.05 se cumple con la siguiente premisa:

Rechazar la H₀, $p < \alpha$ (0.05)

En tal sentido se **rechaza** la H₀, concluyendo que la implementación del sistema multi fase de humedal sub superficial **SI** produce un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

4.5.2 Hipótesis específica 2 – Propiedades químicas

Prueba de hipótesis de la DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno)

Se utilizó la herramienta estadística Excell – Análisis de datos - Prueba “T” para medias de dos muestras emparejadas y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 17*Prueba de Hipótesis - DBO₅*

	<i>ENTRADA</i>	<i>SALIDA</i>
Media	147.333333	31.833333
Varianza	95.066667	12.966667
Observaciones	6.000000	6.000000
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.037976	
Diferencia hipotética de las medias	0.000000	
Grados de libertad	5.000000	
Estadístico t	26.889566	
<u>P(T<=t) una cola</u>	<u>0.000001</u>	
Valor crítico de t (una cola)	2.015048	

Nota. Se pudo observar que el valor de “p” es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia favorable y significativa entre el nivel de ingreso y salida de agua residual doméstica en el sistema multifase.

Prueba de hipótesis de la DQO (Demanda química de oxígeno)

Se utilizó la herramienta estadística Excell – Análisis de datos - Prueba “T” para medias de dos muestras emparejadas:

Tabla 18*Prueba de Hipótesis – DQO*

	<i>ENTRADA</i>	<i>SALIDA</i>
Media	252.67	46.33
Varianza	88.67	19.87
Observaciones	6.00	6.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.77	
Diferencia hipotética de las medias	0.00	
Grados de libertad	5.00	
Estadístico t	38.42	
<u>P(T<=t) una cola</u>	<u>0.00000011</u>	
Valor crítico de t (una cola)	2.02	

Nota. Se pudo observar que el valor de “p” es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia favorable y significativa entre el nivel de ingreso y salida de agua residual doméstica en el sistema multifase.

Por lo tanto, con los resultados de los parámetros químicos encontrados, en los que los valores de “p” son menores a 0.05 se cumple con la siguiente premisa:

Rechazar la H_0 , $p < \alpha$ (0.05)

En tal sentido se **rechaza** la H_0 , concluyendo que la implementación del sistema multi fase de humedal sub superficial **SI** produce un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

4.5.3 Hipótesis específica 3 – Propiedades biológicas

Prueba de hipótesis Coliformes termotolerantes

Se utilizó la herramienta estadística Excell – Análisis de datos - Prueba “T” para medias de dos muestras emparejadas y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 19

Prueba de Hipótesis - Coliformes termotolerantes

	ENTRADA	SALIDA
Media	1533.3333	951.6667
Varianza	14666.6667	56.6667
Observaciones	6.0000	6.0000
Coefficiente de correlación de Pearson	0.5850	
Diferencia hipotética de las medias	0.0000	
Grados de libertad	5.0000	
Estadístico t	12.1921	
<u>P(T<=t) una cola</u>	<u>0.0000328</u>	
Valor crítico de t (una cola)	2.0150	

Nota. Se pudo observar que el valor de “p” es menor a 0.05, por lo que se determinó que existe diferencia favorable y significativa entre el nivel de ingreso y salida de agua residual doméstica en el sistema multifase.

Por lo tanto, con los resultados de los parámetros biológicos encontrados, en los que los valores de “p” son menores a 0.05 se cumple con la siguiente premisa:

Rechazar la H_0 , $p < \alpha$ (0.05)

En tal sentido se **rechaza** la H_0 , concluyendo que la implementación del sistema multi fase de humedal sub superficial **SI** produce un efecto favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.

4.6 Discusión de resultados

Variable Sistema multifase de humedal sub superficial

Los resultados obtenidos en la investigación muestran que la aplicación del sistema multifase de humedal sub superficial mostró una alta eficiencia en la remoción de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual doméstica tratada. El dimensionamiento hidráulico y las características estructurales se determinaron con el modelo matemático formulado por Reed et al, citado por Espinoza (2014). El sistema multifase fue conceptualizado para operar en viviendas en donde las aguas residuales domésticas se disponen en la misma vivienda luego de pasar por un tanque séptico descargándose a pozos de percolación similar al diseño de Arellano (2017); el cálculo de las características de diseño como el caudal, el área superficial y las medidas de largo, ancho y profundidad del sistema coincide con el planteamiento de Núñez (2016), y se utilizaron los dos tipos de humedales, tanto en el de tipo sub superficial vertical como el de tipo horizontal.

Se debe considerar, que en el marco teórico establecido en la normativa vigente del Perú, sobre la utilización de este tipo de sistemas, no existen

antecedentes de la utilización de un sistema multifase de flujo sub superficial, que haga uso del tipo horizontal + tipo vertical, por lo que es necesario seguir realizando experimentos, ya que los resultados obtenidos pueden considerarse un aporte a lo dispuesto en la RM N° 192-2018-VIVIENDA (2018) que regula las opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural, especialmente en localidades de la costa norte que cuentan con suelos con baja permeabilidad y en donde las unidades básicas de saneamiento han dejado de utilizarse.

Asimismo, sobre las consideraciones constructivas, en el sistema multifase se ha utilizado sustratos compuesto por gravas de dimensión de $\frac{3}{4}$ " a 1" coincidiendo con lo utilizado por Tito (2015), verificando que dicha granulometría impide que el sistema se sature. En las zonas del afluente y efluente del sistema se utilizó piedra grande de 2" con el objeto de que no se produzca saturación y se implementó el uso de arena gruesa para favorecer el crecimiento de la vegetación. Para la función de depuración se utilizó vegetación proveniente de la localidad de investigación, específicamente la que crece en el río Piura en condiciones de saturación, coincidiendo con lo indicado por Lara y Vera (2005) que recomiendan utilizar vegetación local, que tenga adaptación a los medios de soporte, de fácil mantenimiento, que tenga resistencia a la concentración de contaminantes, tolerancia a la exposición prolongada de los rayos de sol y que tengan una raíz de profundidad entre 0.40 m. y 0.60 m. Esta selección de vegetación local también ha sido indicada por Von Münch (2009) que, recomienda usar especies locales o nativas, de preferencia las que crecen a orillas de los ríos ya que sus raíces están adaptadas a crecer en condiciones saturadas, siendo idóneas las plantas con un sistema extenso de raíces y rizoma pues soportan fuertes cargas y períodos cortos de sequía.

El diseño del sistema tuvo la capacidad de procesar el tratamiento de 0.25 m³/día de aguas residuales domésticas en un área superficial de 1.28 m² en el módulo de tipo sub superficial horizontal y de 0.64 m² en el módulo de tipo sub superficial vertical durante un tiempo de retención hidráulico de dos días. Los módulos fueron acoplados en serie y en escala real, también es conocido como sistema híbrido. Esta propuesta es similar a la utilizada por Gutierrez, et al (2009) que investigó el tratamiento de aguas residuales por medio de la instalación secuencial de humedales artificiales, donde realizó pruebas en humedales contruidos con tanques en serie para retención de contaminantes.

Por su parte, es de indicar que se hace necesario realizar una eficiente operación y mantenimiento del sistema, a efectos de que se logre un correcto funcionamiento durante todo el año, especialmente en épocas con presencia de lluvias, tal como señala Calsina y Guerra (2017). Asimismo, se hace necesario realizar una educación ambiental en los habitantes de las viviendas donde se aplique el sistema multifase, a fin de que conozcan esta tecnología sostenible, que realicen un correcto mantenimiento y que se tome conciencia que una deficiente disposición de aguas residuales produce una contaminación de las aguas subterráneas y de los cuerpos de agua que sirven para el riego y para el consumo humano.

Finalmente, se concluye que el sistema multifase de humedal sub superficial resulta ser una tecnología viable como tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, especialmente en áreas rurales que experimenten climas tropicales, donde existan terrenos de gran extensión, con costos menores de construcción, operación y mantenimiento; sin embargo, también es preciso indicar que los rendimientos pueden ser estacionales, en respuesta a las condiciones ambientales (período de lluvias o sequías).

Variable tratamiento complementario de aguas residuales domésticas.

El nivel del efecto en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas fue positivo tanto en las propiedades físicas, químicas y biológicas. En el caso de la propiedad física se obtuvo un valor promedio de remoción en el parámetro Turbiedad de 86.67%, porcentaje que resultó menor a lo obtenido por Nuñez (2016) que obtuvo una eficiencia de remoción de 96.34%, sobre este extremo, es posible inferir que existió influencia en el proceso de maduración de la vegetación, que fue de 3 meses, lo cual no permitió obtener un valor más alto de remoción, sin embargo el valor obtenido en este parámetro, nos permite colegir que, en cuanto la vegetación implantada logre desarrollar raíces con mayor longitud, los valores de remoción serán superiores.

El valor de pH se mantuvo entre 7.1 y 7.5 unidades de pH a 25°C similar a lo obtenido por Arellano (2017) que fue de 7.5 unidades de pH a 25°C. Estos datos evidencian que la implementación del sistema multifase permite obtener valores neutros del pH, asimismo, tomando en cuenta el efecto logrado en este parámetro se puede afirmar que en el sistema multifase se produjo una regulación del pH.

Por otra parte, mediante un proceso experimental y análisis en laboratorio se obtuvieron los resultados referidos a las propiedades químicas. Los valores encontrados en la remoción de los parámetros de DBO₅ y DQO fueron de 78.32% y 81.60%, cuyos valores son menores a lo obtenido en la investigación de Arellano (2017) que obtuvo 97.5% y 96.58% respectivamente de remoción en la DBO₅ y DQO. Sobre estos parámetros, se debe indicar que, en el caso de las unidades básicas de saneamiento que cuentan con un sistema de tratamiento primario como biodigestor o pozo séptico, la carga orgánica ingresa con valores reducidos al sistema multifase, de este modo se obtienen valores positivos de remoción. En el caso de la diferencia de remoción con los valores obtenidos por Arellano (2017), es posible deducir que existe influencia

en los hábitos de uso de los miembros de la familia, así como en el número de habitantes de la vivienda, hechos que pueden alterar la concentración de contaminantes, ya que los aportes son discontinuos y se somete a una gran variabilidad en la carga a lo largo del tiempo.

La investigación realizada por Montiel (2014) demostró que un correcto diseño de un sistema de humedales requiere que se establezca el nivel de reducción de contaminantes de la DBO₅. La presente investigación ha demostrado que especificando en el diseño un ingreso de carga de 150 mg/L para obtener una reducción a 15 mg/L nos permite obtener resultados positivos y si bien es cierto el proceso de remoción en cuanto al DBO₅ fue satisfactoria en términos de concentración, a pesar de que los rendimientos porcentuales están por debajo de los valores esperados, se busca, que en cuanto el sistema multifase se estabilice, con la vegetación en edad madura y con la generación de microorganismos en ambos módulos (Lara y Vera, 2005) los valores sean mayores. Se recomienda que, en los experimentos posteriores, las muestras se tomen en fechas con diferencias superiores a los 20 días para analizar diferentes cargas orgánicas del afluente. Así también, se recomienda monitorear el sistema para comprobar que las tendencias actuales obtenidas se mantengan, a fin de evaluar el potencial del sistema.

Los resultados de la investigación, han sido expuestos a análisis y comparación con los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (2010), concluyendo que, los valores obtenidos en los parámetros de la DBO₅ y DQO de esta investigación puede disponerse directamente al suelo o cuerpos de agua los efluentes del sistema multifase, ya que cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa del Perú.

Por otro lado, en el caso de reutilizar el agua residual domésticas en las viviendas rurales en actividades de riego de vegetales, en biohuertos dentro de la vivienda, en el riego de áreas verdes y plantas ornamentales, o para el caso de bebida de animales se debe cumplir con los estándares de calidad ambiental (ECA) regulados por el D. S. N° 004-2017-MINAM (2017). Sobre este extremo, el valor promedio obtenido en el parámetro químico DBO₅ es de 31.83 mg/L, dato que se encuentra por encima del valor establecido en la normativa, que señala 15 mg/L, igual sentido en la Demanda química de oxígeno, en donde se obtuvo 46.33 mg/L, siendo que la normativa señala como valor máximo 40 mg/L, por lo que se determina que no es posible reutilizar el efluente obtenido. Debido a esta situación, se recomienda experimentar de manera independiente los afluentes, es decir, diferenciar las aguas que entran al sistema multifase entre las aguas residuales que provienen de ducha, cocina y lavatorios, con aquellas que provienen de inodoros con lavatorios de ropa, con el objeto de evaluar el potencial del sistema para la reutilización de los efluentes.

En la dimensión de propiedad biológica el porcentaje promedio de remoción de los coliformes termotolerantes fue de 37.63% similar al valor obtenido por Cruz (2018) que obtuvo un porcentaje de remoción promedio de 42.50%. Sobre este parámetro, tal como se señaló en los parámetros químicos analizados, la utilización de biodigestores y/o pozo séptico como componente de las unidades básicas de saneamiento cumplen con la primera etapa de reducción de contaminantes. El valor promedio de ingreso de este parámetro fue de 1530 NMP/100 ml, que resulta menor al límite máximo permisible señalado en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (2010) que indica 10,000 NMP/100 ml.

En tal sentido, en relación al parámetro biológico de coliformes termotolerantes el valor encontrado cumple con los límites señalados en las normativas aprobadas por el DS 03-2010-MINAM y por el DS 04-217-MINAM. Este resultado se debe esencialmente a que el tratamiento primario desarrollado en el tanque séptico contribuye a la reducción de este parámetro previo a su

ingreso al sistema. El valor promedio obtenido del efluente fue de 951.66 NMP/100ml, cuyo dato es menor al valor aprobado en el DS 04-217-MINAM que regula el estándar de calidad ambiental para el reúso en riego de vegetales o bebida de animales y que señala 1000 NMP/100ml; no obstante, no es posible utilizarse para dichas actividades de reúso, toda vez que, adicionalmente, se deben cumplir con los límites máximos establecidos para los otros parámetros físicos y químicos del agua residual tratada.

Finalmente, como resultado de la investigación se ha encontrado que una disposición incorrecta de las aguas residuales domésticas producidas en las viviendas genera una contaminación en los cuerpos de agua y dado que éstos se constituyen en fuente de abastecimiento de las comunidades rurales, el cuidado de su calidad es un requisito indispensable para el desarrollo sustentable de estos centros poblacionales, por ello es importante la implementación de estos sistemas multifase de humedales sub superficiales como tratamiento complementario de las aguas residuales provenientes de los tanques sépticos y/o biodigestores de las unidades básicas de saneamiento a fin de garantizar que la calidad de los efluentes tratados cumplan con las condiciones de descarga establecidos en la legislación ambiental del Perú.

CONCLUSIONES

1. El efecto de la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, es favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura, periodo 2020, en tal sentido es factible su implementación en zonas que no cuenten con sistemas de saneamiento.
2. El efecto de la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, es favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura, periodo 2020.
3. El efecto de la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, es favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura, periodo 2020, por tanto, es permisible disponer sobre el suelo o sobre cuerpos de agua.
4. El efecto de la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, es favorable y significativo en el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura, periodo 2020. Los valores de remoción de coliformes termotolerantes se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa nacional.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a las conclusiones se recomienda incluir esta implementación como parte del diseño de unidades básicas de saneamiento ubicados en zonas con suelos con baja permeabilidad, ya que la remoción de contaminantes cumple con lo indicado en el DS 03-2010-MINAM.
2. De acuerdo al diseño hidráulico y constructivo utilizado en esta investigación, se recomienda a las autoridades locales tomar en cuenta las medidas y especificaciones técnicas del presente estudio para aplicarse en sistemas de saneamiento ya construidos, en viviendas rurales con clima cálido tropical que permitan poner en funcionamiento UBS abandonados y/o no utilizados.
3. Se requiere de un mantenimiento periódico del sistema multifase, por lo que se recomienda verificar su funcionamiento y evitar la colmatación, asimismo se recomienda realizar el corte y poda de la vegetación periódicamente.
4. Se recomienda realizar investigaciones utilizando el sistema multifase de manera inversa (fase1 tipo vertical + fase 2 tipo horizontal) y realizar observaciones en época de lluvias y en meses de temperatura más baja a efectos de determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de protección ambiental. (1993). *Guía para el diseño y construcción de un humedal artificial construido con flujos sub superficiales*. Washington.
- Aguirre, C., & Marroquín, J. (s.f.). *Las PATANG como solución para las aguas residuales del sector rural del municipio de Cajamarca*. (Tesis de Licenciatura - Universidad de Ibagué). Colombia.
- Andreo, P. (2014). *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas*. (Tesis doctoral - Univesridad de Murcia). Murcia, España.
- Arellano, S. (2017). *Humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual doméstica en el caserío Ternique - Piura*. (Tesis de licenciatura - Universidad César Vallejo). Perú.
- Arias, C., & Brix, H. (s.f.). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 17-24.
- Baron, L. (2009). *Aguas residuales*. Madrid: El Cid Editor.
- Bayas, L. (2018). *Diseño de Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones rurales de sierra norte de Ecuador: Aplicación a la parroquia Lita*. (Tesis de maestría - Universidad Politécnica de Valencia). España.
- Belmonte, C. (2018). *Análisis del ciclo de vida de un humedal construido para el tratamiento y reutilización de aguas residuales domésticas en la zona rural de Jaén, Perú*. (Tesis de maestría - Universidad Politécnica de Cataluña). España.
- Caballero, J., & Osorio, R. (2018). *Tratamiento de aguas residuales usando *Rhizophora mangle* (mangle rojo) para la remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal artificial dfe flujo vertical*. (Tesis de licenciatura - Universidad de Cartagena). Colombia.
- Calsina, M., & Guerra, C. (2017). *Diseño de un sistema de tratamiento terciario de aguas residuales domésticas con tecnología intermedia en viviendas unifamiliares de la ciudad de Juliaca*. Revista Científica Andina - science & Humanities, 40.

- Carvacho, C., & Fuentes, T. (2007). *Diagnóstico del funcionamiento de los sistemas de alcantarillado de aguas residuales domésticas, en las viviendas sociales de la comuna de Lampa, región Metropolitana*. (Tesis de titulación para obtener el título de Ingeniero). Chile.
- Castañeda, A., & Flores, H. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México*. Paakat - Revista de tecnología y sociedad, 3-4.
- Castro, D., Cruz, Y., & Flores, M. (2017). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales sub superficiales con macrófita *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante) en la urbanización Los Tulipanes - Chosica, Lima. Perú*. Revista de investigación Ciencia, Tecnología y desarrollo. Lima. Perú.
- Castro, Y., Cruz, M., Pérez, W., & Condori, C. (2018). *Eficiencia de tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV con la especie *Zantedeschia aethiopica* en Viquez – Lurigancho (Perú)*. Revista de investigación Ciencia, Tecnología y desarrollo. Lima. Perú.
- Cordero, A. (2008). *Estadística experimental*. Huancayo: Grapex Perú.
- Cortés, C. (s.f.). *Definición de espacio rural, ruralidad y desarrollo rural*.
- Cruz, L. (2018). *Tratamiento de aguas grises domésticas por el sistema de humedales artificiales con el *nuphar luteum* en el AH La Rivera– Carabayllo, 2018*. (Tesis de licenciatura - Universidad César Vallejo). Perú.
- D.S. N° 01-2010-AG - *Reglamento de la ley 29338, Ley de recursos hídricos* . (2010). Diario oficial El Peruano, 24 de marzo del 2010.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Antequera.
- Egoavil, G. (2018). *Implementación de humedal artificial en el tratamiento de agua residual doméstica del proyecto Don javier 79, yarabamba - Arequipa*. (Tesis de licenciatura - Universidad nacional Federico Villareal). Perú.
- Espinoza, C. (2014). *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30,000 habitantes* . (Tesis de maestría - Escuela colombiana de ingeniería). Bogotá, Colombia.

- Facultad de ciencias químicas, U. V. (s.f.). *Humedales artificiales*. Veracruz. Obtenido de <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv2/unidad-2-analisis-de-la-clasificacion-de-biorreactores-y-su-aplicacion/reactor>
- Flores, R., & Huaman, M. (2018). *Sistema de depuración de aguas residuales mediante de flujo sub superficial en la comunidad campesina de Ocopa - distrito Larcaj*. (Tesis de licenciatura - Universidad Nacional de Huancavelica). Perú.
- Gomez, Y. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*. (Tesis de licenciatura - Universidad Agraria La Molina). Peru.
- Granados, M. (2018). *Estudio de factibilidad de la implementación de Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en Toquilla*. (Tesis de grado - Universidad Libre de Colombia). Colombia.
- Gutierrez, A., Ortiz, M., sanchez, E., & Ortega, M. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por medio de la instalación secuencial de humedales artificiales*. Mexico.
- Haro, M., & Aponte, N. (2010). *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular*. (Tesis de licenciatura - Univesridad nacional Autónoma de México). México D.F.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw - Hill.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Informe técnico "Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento"*. Perú.
- Lara, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. (Tesis de maestría - Universidad Politénica de Cataluña). Barcelona.
- Lara, J., & Vera, I. (2005). *Implantación y evolución de un humedal artificial de flujo subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia*. Ingeniería y Universidad, 47-63.

- Larriva, J., & Gonzáles, O. (2017). *Modelación hidráulica de humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal*. Revista de ingeniería hidráulica y ambiental.
- Llagas, W., & Guadalupe, E. (2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Revista del instituto de investigaciones FIGMMG, 85-96.
- López, E., & Rodríguez, M. (2016). *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial como tratamiento de aguas residual doméstica en la vereda Bajos de Yerbabuena en el municipio de Chía, Cundinamarca*. (Tesis de licenciatura - Universidad de La Salle). Colombia.
- López, I., & Borzacconi, L. (2009). *Introducción al diseño de reactores*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=kOvqsxO8hCg>
- Lovera, D., Quipuzco, L., Laureano, G., Becerra, C., & Valencia, N. (2006). *Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash-Perú, usando tecnologías de humedales artificiales*. Revista del instituto de investigaciones FIGMMG, 32-43.
- Maldonado, V. (2005). *Uso de wetlands para el tratamiento y reuso de aguas residuales domésticas*. (Tesis de maestría - Universidad Nacional de Ingeniería). Lima, Perú.
- Mena. (s.f.). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos*. Obtenido de http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643_JMena.pdf
- Mena, P. (2014). *Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal (HAFSSH) en el colegio comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de san fernando, municipio de Pasto, Colombia*. (Tesis de maestría - Universidad de Buenos Aires). Buenos Aires, Argentina.
- Menchaca, S., & Lozada, R. (2017). *Tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales: Una propuesta para las zonas rurales*. UVServa.

- Ministerio de Salud, .. (2018). *Las enfermedades diarreicas en el Perú*. Boletín epidemiológico.
- Ministerio de Salud (2019). *Las enfermedades diarreicas en el Perú*. Boletín epidemiológico.
- Ministerio del Ambiente (2009). *Manual para municipios ecoeficientes*. Lima: Enotria. Obtenido de http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf
- Miranda, J. (2011). *Modelo demostrativo de tratamiento de aguas residuales para enseñanza a nivel escolar*. Lima.
- Moncada, A. (2016). *Análisis del desempeño y operación de humedales construidos de flujo sub superficial vertical para el tratamiento de agua residual doméstica en países tropicales*. (Tesis de licenciatura - Universidad Católica de Manizales) . Manizales - Caldas.
- Montiel, P. (2014). *Humedal Artificial*. (Tesis de licenciatura - Universidad Nacional Autónoma de México). México D.F., México.
- Morato, J., Subirana, A., & Gris, A. (2006). *Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530105>
- Moreno, A. (s.f.). *Cinética química*. Obtenido de Instituto de química - UNAM: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CINETICAQUIMICAActualizado_19881.pdf
- Moret, I. (2014). *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas*. Tesis de licenciatura - Universidad de Piura, Piura.
- Municipalidad provincial de Chulucanas, (2016). *Mejoramiento y aplicación de los servicios de agua potable y letrinas en los caseríos Charanal bajo y Nuevo Progreso del distrito de Chulucanas, Morropón, Piura*. Municipalidad provincial de Chulucanas.
- Municipalidad provincial de Chulucanas, (2014). *Diagnóstico ambiental de la provincia de Morropón*. Chulucanas - Morropón. Obtenido de

- http://www.munichulucanas.gob.pe/jdownloads/documentos_de_gestion/diagnostico_ambiental_de_la_provincia_de_morropon.pdf
- Muñoz, C. (s.f.). *Fundamentos de diseño de reactores*. 25-33. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/capitulo3.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Plan Nacional de Saneamiento 2017-2021*. Perú.
- Núñez, R. (2016). *Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales*. (Tesis de licenciatura - Univesridad Peruana Unión). Lima.
- Organización de las Naciones Unidas - Habitat. (2008). *Manual de humedales artificiales*. Katmandú.
- Pérez, M. (2009). *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango*. (Tesis doctoral - Instituto Politécnico Nacional). México.
- Pérez, M., Domínguez, E., Gonzáles, Y., & Jiménez, T. (2014). *Diseño de un humedal sub superficial vertical para la depuración de las aguas residuales de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas*. Villa Clara.
- Perú. D.S. N° 003-2010-MINAM. (2010). *Diario oficial El Peruano, 16 de marzo del 2010*.
- Perú. D.S. N° 004-2017-MINAM. (2017). *Diario oficial El Peruano, 06 de junio del 2017*.
- Perú. Ley N° 28611 - Ley general del ambiente. (2005). *Diario oficial El Peruano, 13 de octubre del 2005*.
- Perú. Ley N°29338 - Ley de recursos hídricos. (2009). *Diario oficial El Peruano, 30 de marzo del 2009*.
- Perú. R.M. 176-2010-VIVIENDA. (2010). *Diario oficial El Peruano, 05 de Noviembre del 2010*.
- Perú. R.M. N° 273-2013-VIVIENDA. (2013). *Diario oficial El Peruano, 24 de octubre del 2013*.
- Perú. R.M. N°192-2018-VIVIENDA, *Diario oficial El Peruano, 2 de octubre del 2018*.

- Perú. *Reglamento nacional de edificaciones*. (2016). Lima: Macro.
- Pichiule, Y. (2018). *Diseño de un Humedal Artificial con la Especie "Schoenoplectus Californicus" en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac, Junín*. (Tesis de licenciatura - Universidad Cesar Vallejo). Perú.
- Rabat, J. (2016). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración* (Tesis de maestría - Universidad de Alicante). Alicante.
- Ramallo, S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté S.A.
- Raymundo, J. (2017). *Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado la Punta - Sapallanga*. (Tesis de licenciatura - Universidad Nacional del Centro del Perú). Perú.
- Real academia española. (s.f.). Obtenido de <http://www.rae.es/>
- Rodriguez, J., García, C., & García, J. (2016). *Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia*. Colombia.
- Romaña, J. (2014). *Los límites de la Ley de Darcy*. (Tesis de maestría - Universidad Nacional de Colombia). Medellín.
- Rosado, B. (2019). *Diseño de un humedal artificial para la depuración de aguas residuales domésticas en el paraje La Secadora del municipio de Constanza, Republica Dominicana*. (Tesis de maestría - Universidad Politécnica de Valencia). España.
- Saavedra, B. (2017). *Aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP*. Tesis de licenciatura - Universidad de Piura, Piura.
- Sánchez, C., & Jiménez, E. (2010). *La vivienda rural*. Su complejidad y estudio desde diversas disciplinas. *Revista Luna Azul*.
- Sánchez, F. (s.f.). *Ley de darcy. Conductividad hidráulica. 1-9*. España. Obtenido de http://hidrologia.usal.es/temas/Ley_Darcy.pdf
- Sánchez, H., & Reyes, C. (1998). *Metodología y diseños en la investigación científica*. Lima: Mantaro.
- Sierra, O., & López, G. (2013). *Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales*. *Kuxulkab - revista de divulgación*, 47-55.

- Silva, A., & Zamora, H. (2005). *Humedales artificiales*. (Trabajo de grado - Universidad de Colombia). Manizales, Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1106/1/angelasofiasilvahernandariozamora.2005.pdf>
- Soto, J. (2016). *Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del río Segura*. (Tesis de maestría - Universidad Politécnica de Valencia). Valencia, España.
- Tito, R. (2015). *Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie paraguaita Cyperus alternifolius en humedales artificiales, Urbanización Zárate - San Juan de Lurigancho 2015*. Tesis de licenciatura - Universidad César vallejo, Lima.
- Valderrama, S. (2015). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima: San Marcos .
- Vara, A. (2015). *7 pasos para elaborar una tesis*. Lima: Macro.
- Vidal, G., & Hormazábal, S. (2018). *Humedales construidos. Diseño y operación*. Chile.
- Von Münch, E. (2009). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales en países de desarrollo. Alemania*. Obtenido de <http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/Manual%20Humedal.pdf>
- Winpenny, J., & Heinz, I. (2013). *Reutilización del agua en agricultura: ¿Beneficio para todos?* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura .
- Zapata, M. (2011). *Mejora de gestión de la calidad del agua en las cuencas piloto. Tratamiento de aguas residuales*, (págs. 1-31). Lima.
- Zurita, F., Castellanos, O., & Rodríguez, A. (2011). *El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México*. México.

ANEXOS

1. Anexo 1. Matriz de consistencia
2. Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos variable independiente
3. Anexo 3. Instrumento de recolección de datos variable dependiente
4. Anexo 4. Base de datos de la variable independiente
5. Anexo 5. Base de datos de la variable dependiente
6. Anexo 6. Validación de instrumento: R.M. N° 273-2013-VIVIENDA
7. Anexo 7. Certificados de laboratorio
8. Anexo 8. Planos del sistema multifase
9. Anexo 9. Certificado de originalidad UNICHECK
10. Anexo 10. Evidencias fotográficas
11. Anexo 11. Prueba de normalidad de datos

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MULTI FASE DE HUMEDALES SUB SUPERFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS				
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGIA
<p>Problema general</p> <p>¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>1. ¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>1. Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en su</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento de aguas residuales domésticas en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>1. La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el</p>	<p>Variable X:</p> <p>Sistema multi fase de humedales sub superficiales</p> <p>Dimensiones:</p> <p>1. Diseño hidráulico: Caudal, área superficial, ancho, largo, temperatura, tiempo de retención hidráulico.</p> <p>2. Diseño estructural: Profundidad del sistema, sustrato, vegetación.</p>	<p>Investigación</p> <p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental: Diseño de pretest, posttest y grupo de control.</p> <p style="text-align: center;">GE O₁ X O₂</p> <p>Población y muestra:</p> <p>Población: La población de estudio está conformada por el agua residual doméstica que proviene de una vivienda rural del distrito de Buenos Aires, Morropón-Piura.</p> <p>Muestra – Unidad de análisis: Muestreo probabilístico de agua residual doméstica de acuerdo al</p>

<p>domésticas, en su propiedad física, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?</p> <p>2. ¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en su propiedad química, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?</p> <p>3. ¿Qué efectos produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en su propiedad biológica, en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020?</p>	<p>propiedad física en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.</p> <p>2. Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en su propiedad química en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.</p> <p>3. Determinar los efectos que produce la implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en su propiedad biológica en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires, Morropón – Piura, 2020.2. Instrumentos de recolección de datos para la variable dependiente</p>	<p>tratamiento de aguas residuales domésticas en su propiedad física en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.</p> <p>2. La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial, producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento de aguas residuales domésticas en su propiedad química en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.</p> <p>3. La implementación de un sistema multi fase de humedal sub superficial producirá un efecto favorable y significativo en el tratamiento de aguas residuales domésticas en su propiedad biológica en las viviendas rurales del sector San Sebastián del distrito de Buenos Aires Morropón – Piura.</p>	<p>Variable Y: Tratamiento de aguas residuales domésticas</p> <p>Dimensiones:</p> <p>1. Físicos: Temperatura, color.</p> <p>2. Químicos: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), pH.</p> <p>3. Biológicos: coliformes termotolerantes</p>	<p>protocolo de muestreo del Ministerio de Vivienda del Perú. 6 muestras</p> <p>Técnicas e instrumentos:</p> <p>a) La observación. b) El análisis de contenido. c) Técnica de categorización que ha permitido la reducción y organización. d) Técnicas e instrumentos propios de la disciplina.</p> <p>Técnica de procesamiento de datos:</p> <p>Variable independiente</p> <p>a) Revisión documental. b) Elaboración de guías documentales c) Elaboración de matriz de organización y categorización de datos.</p> <p>Variable dependiente</p> <p>a) Fichas de registro b) Técnicas propias de la disciplina.</p>
--	---	--	---	--

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos variable independiente

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA UNIDAD DE POSGRADO			
Título: Instrumento de recolección de datos de variable independiente				
Variable independiente: Sistema multi fase de humedal sub superficial				
Indicador: Hidráulica	Unidad de revisión 1	Unidad de revisión 2	Unidad de revisión 3	
Cálculo de Caudal				
Área superficial				
Cálculo del ancho del sistema				
Cálculo del largo del sistema				
Cálculo de temperatura				
Cálculo de tiempo de retención hidráulica				
Indicador: Estructural	Unidad de revisión 1	Unidad de revisión 2	Unidad de revisión 3	
Profundidad del sistema				
Tipo de sustrato				
Tipo de vegetación				

Nota. Elaboración propia

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos de variable dependiente

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO 					
REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES PTAR VARIABLE DEPENDIENTE Y: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS					
Fecha de monitoreo					
Nombre de PTAR					
Parámetro	Tipo de muestra	Resultado de análisis		Límite máximo permisible	Eficiencia PTAR
		Afluente	Efluente		
Turbiedad					
Temperatura (°C)					
DBO ₅ (mg/L)					
DQO (mg/L)					
pH (Unid de pH)					
Coliformes termotolerantes					
Responsable del PTAR					
Fecha					
Firma					

Nota. Ficha adaptada del Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de PTAR – R.M. 273-2013-VIVIENDA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
ESCUELA DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
UNIDAD DE POSGRADO
INSTRUMENTO: REGISTRO CADENA DE CUSTODIA



Nombre de PTAR														
Muestra	Afluente	Efluente	Fecha	Hora. Toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos Preservación	Parámetros físicos		Parámetros químicos			Parámetros biológicos	Obs.
								Turbiedad	Temperatura	DBO ₅	DQO	pH	Coliformes termotolerantes	
Hora de entrega al medio de transporte														
Responsable de la PTAR			Operador del muestreo				Custodio de la muestra				Recepción en laboratorio			
Nombres y apellidos	Institución	Firma	Nombres y apellidos	Institución	Firma	Nombres y apellidos	Institución	Firma	Nombres y apellidos	Institución	Firma	Nombres y apellidos	Institución	Firma

Anexo 4. Base de datos de variable independiente

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO 				
Título: Instrumento de recolección de datos de variable independiente				
Variable independiente: Sistema multi fase de humedal sub superficial				
Indicador: Hidráulica	Unidad de revisión 1	Unidad de revisión 2	Unidad de revisión 3	Datos en la investigación
Cálculo de Caudal	0.30 m ³ /día	0.25 m ³ /día	0.10 m ³ /día	0.2564 m ³ /día
Área superficial	2.00 m ²	0.71 m ²	0.70 m ²	1.980 m ²
Cálculo del ancho del sistema	0.60 ml.	0.60 ml.	0.80 ml.	0.80 ml.
Cálculo del largo del sistema	1.20 ml.	1.30 ml.	1.60 ml.	2.44 ml.
Cálculo de temperatura (Kt)	0.70 °C	0.80 °C	0.80 °C	0.83 °C
Cálculo de tiempo de retención hidráulica	1.5 días	2 días	1.2 días	1.43 días
Indicador: Estructural	Unidad de revisión 1	Unidad de revisión 2	Unidad de revisión 3	
Profundidad del sistema	0.60 ml	0.60 ml	0.45 ml.	0.60 ml.
Tipo de sustrato	1/2" a 3/4"	1/2" a 3/4"	1/2" a 3/4"	1/2" a 3/4"
Tipo de vegetación	Cartucho	Papiro	Totora	Cartucho
Fórmulas utilizadas	Reed et al (2014)			

Nota. Elaboración propia

Anexo 5. Base de datos de variable dependiente

FICHA DE CAMPO DE LOS MONITOREOS REALIZADOS EN EL AFLUENTE DEL SISTEMA

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA ESCUELA DE POSGRADO - FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA – UNIDAD DE POSGRADO REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE AFLUENTES PTAR VARIABLE DEPENDIENTE Y: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS 								
Nombre de PTAR		SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – SECTOR SAN SEBASTIAN – DISTRITO BUENOS AIRES – PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA						
Parámetro	Tipo de muestra	Resultado de análisis Afluente (fecha)						LMP
		06/01/2020	13/01/2020	20/01/2020	27/01/2020	03/02/2020	10/02/2020	
Turbiedad (UNT)	Agua residual cruda	220	220	260	220	260	255	100 UNT
Temperatura (°C)	Agua residual cruda	27	28	27	28	29	27	< 35°C
DBO5 (Mg/L)	Agua residual cruda	140	145	152	165	142	140	100 mg/L
DQO (Mg/L)	Agua residual cruda	250	235	255	256	260	260	200 mg/L
Ph (Unid de pH)	Agua residual cruda	8.0	8.0	7.0	8.0	8.0	8.0	6.5-8.5
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml.)	Agua residual cruda	1600	1700	1600	1500	1400	1400	10,000 NMP/100 ml
Responsables de la toma de muestras PTAR	Cristhian Juan Mogollon Vizuela / Arquímedes Pintado Ticliahuana / Lucero Arellano Chapilliquén							
<i>Nota.</i> Ficha adaptada del Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de PTAR – RM N° 273-2013-VIVIENDA								

Base de datos de variable dependiente

FICHA DE CAMPO DE LOS MONITOREOS REALIZADOS EN EL EFLUENTE DEL SISTEMA

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA ESCUELA DE POSGRADO - FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA – UNIDAD DE POSGRADO REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES PTAR VARIABLE DEPENDIENTE Y: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS 								
Nombre de PTAR	SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – SECTOR SAN SEBASTIAN – DISTRITO BUENOS AIRES – PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA							
Parámetro	Tipo de muestra	Resultado de análisis Efluente (fecha)						LMP
		09/01/2020	16/01/2020	23/01/2020	30/01/2020	06/02/2020	13/02/2020	
Turbiedad (UNT)	Agua residual tratada	35	33	31	34	35	31	100 UNT
Temperatura (°C)	Agua residual tratada	26	27	26	27	28	26	< 35°C
DBO5 (Mg/L)	Agua residual tratada	35	36	34	30	28	28	100 mg/L
DQO (Mg/L)	Agua residual tratada	52	51	45	45	40	45	200 mg/L
Ph (Unid de pH)	Agua residual tratada	7.1	7.3	7.1	7.4	7.5	7.3	6.5-8.5
Coliformes termotolerantes NMP/100ml	Agua residual tratada	950	960	950	960	950	940	10,000 NMP/100 ml
Responsables de la toma de muestras PTAR	Cristhian Juan Mogollon Vizueta / Arquímedes Pintado Ticliahuana / Lucero Arellano Chapilliquén							
Nota. Ficha adaptada del Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de PTAR – RM N° 273-2013-VIVIENDA								



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA – UNIDAD DE POSGRADO

INSTRUMENTO: REGISTRO CADENA DE CUSTODIA



Nombre de PTAR		SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – SECTOR SAN SEBASTIAN – DISTRITO BUENOS AIRES – PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA												
Muestra	Afluente	Efluente	Fecha	Hora. Toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos Preservación	Parámetros físicos		Parámetros químicos			Parámetros biológicos	Obs.
								Turbiedad	Temperatura	DBO ₅	DQO	pH	Coliformes termotolerantes	
1-6	x		06/01/2020-10/02/2020	02.00 pm	Vidrio	100 ml		x						
1-6	x		06/01/2020- 10/02/2020	02.05 pm	Vidrio	100 ml			x					
1-6	x		06/01/2020- 10/02/2020	02.15 pm	Vidrio	100 ml						x		
1-6	x		06/01/2020 -10/02/2020	02.30 pm	Vidrio	250 ml							x	
1-6	x		06/01/2020 -10/02/2020	02.40 pm	Plástico	250 ml	KH ₂ PO ₄ / CaCl ₂				x			
1-6	x		06/01/2020 -10/02/2020	02.50 pm	Plástico	50 ml	K ₂ Cr ₂ O ₇ H ₂ SO ₄				x			
Hora de entrega al medio de transporte						02.55 pm								
Responsable de la PTAR					Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio			
Cristhian Mogollon Vizueta Investigador					Cristhian Mogollon Vizueta / Lucero Arellano Chapilliquen			Lucero Arellano Chapilliquen			Ing. Arquímedes Pintado Ticliahuanca /Laboratorio UNP - Piura			

Nota. Ficha adaptada del Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de PTAR – RM N° 273-2013-VIVIENDA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA – UNIDAD DE POSGRADO

INSTRUMENTO: REGISTRO CADENA DE CUSTODIA



Nombre de PTAR		SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – SECTOR SAN SEBASTIAN – DISTRITO BUENOS AIRES – PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA												
Muestra	Afluente	Efluente	Fecha	Hora. Toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos Preservación	Parámetros físicos		Parámetros químicos			Parámetros biológicos	Obs.
								Turbiedad	Temperatura	DBO ₅	DQO	pH	Coliformes termotolerantes	
1-6		x	09/01/2020 - 13/02/2020	02.00 pm	Vidrio	100 ml		x						
1-6		x	09/01/2020 - 13/02/2020	02.05 pm	Vidrio	100 ml			x					
1-6		x	09/01/2020 - 13/02/2020	02.15 pm	Vidrio	100 ml						x		
1-6		x	09/01/2020 - 13/02/2020	02.30 pm	Vidrio	250 ml							x	
1-6		x	09/01/2020 - 13/02/2020	02.40 pm	Plástico	250 ml	KH ₂ PO ₄ / NH ₄ Cl/ CaCl ₂			x				
1-6		x	09/01/2020 - 13/02/2020	02.50 pm	Plástico	50 ml	K ₂ Cr ₂ O ₇ H ₂ SO ₄				x			
Hora de entrega al medio de transporte						02.55 pm								
Responsable de la PTAR					Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio			
Cristhian Mogollon Vizueta Investigador					Cristhian Mogollon Vizueta / Lucero Arellano Chapilliquen			Lucero Arellano Chapilliquen			Ing. Arquímedes Pintado Ticliahuanca /Laboratorio UNP - Piura			

Nota. Ficha adaptada del Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de PTAR – RM N° 273-2013-VIVIENDA



Resolución Ministerial

N°273 -2013-VIVIENDA

Lima, 24 OCT. 2013

VISTOS:

Los Informes N° 059-2013-VIVIENDA-VMCS-OMA y N° 002-2013-VIVIENDA/VMCS-OMA-UGIIA-RBC de la Oficina del Medio Ambiente del Viceministerio de Construcción y Saneamiento;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidos en dicha Ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32 de la Ley N° 28611, modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida, causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente;

Que, el numeral 4.1 del artículo 4 del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR, establece que los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y que dicho Programa especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas, así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos;

Que, el numeral 4.3 del artículo 4 del citado Decreto Supremo dispone que sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPÍ;

Que, el numeral 5.1 del artículo 5 del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que, los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo del citado



decreto supremo, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por este Sector;

Que, mediante Informe N° 059-2013-VIVIENDA/VMCS-OMA, la Oficina del Medio Ambiente del Viceministerio de Construcción y Saneamiento propone la aprobación del Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR, el cual cuenta con la opinión favorable del Ministerio del Ambiente; y,

En virtud de lo establecido en la Ley N° 27792, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; el Decreto Supremo N° 002-2002-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y, el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales;



SE RESUELVE:

Artículo 1.- Aprobar el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR; que en Anexo forma parte integrante de la presente Resolución.



Artículo 2.- Designar a la Oficina del Medio Ambiente del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento como responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, debiendo elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente, dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los titulares de las PTAR durante el año anterior, de conformidad con lo dispuesto en el numeral 5.2 del artículo 5 del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Artículo 3.- Disponer que la Oficina del Medio Ambiente del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en el marco de sus funciones, coordine la supervisión y evaluación del monitoreo de efluentes de las PTAR.

Artículo 4.- Disponer que los titulares de las PTAR en un plazo máximo de ciento cincuenta (150) días calendario, contados desde el día siguiente de la publicación de la presente Resolución, identifiquen y adecúen los puntos de monitoreo y la infraestructura para la medición de caudales, conforme al Protocolo de Monitoreo aprobado.

Artículo 5.- Disponer que los titulares de las PTAR en un plazo máximo de ciento ochenta (180) días calendario, contados desde el día siguiente de la publicación de la presente Resolución, remitan el reporte inicial conforme al Capítulo 9.1 del



Resolución Ministerial

Protocolo de Monitoreo. La ejecución del monitoreo e informe será posterior al reporte inicial y se realizará de acuerdo a la frecuencia aplicable.



Artículo 6.- Disponer que los titulares de las PTAR en un plazo máximo de ciento ochenta (180) días calendario, contados desde el día siguiente de la publicación de la presente Resolución, elaboren e implementen el "Plan de aseguramiento de la calidad del monitoreo", conforme al Capítulo 6.5.1 del Protocolo de Monitoreo, debiendo encontrarse disponible una copia de dicho Plan en el lugar de la PTAR.

Artículo 7.- Disponer la publicación del Protocolo de Monitoreo en el Portal Electrónico del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el mismo día de la publicación de la presente Resolución en el Diario Oficial El Peruano.



Regístrese, comuníquese y publíquese.

.....
RENÉ CORNEJO DÍAZ
Ministro de Vivienda,
Construcción y Saneamiento

Oficina de Medio Ambiente (OMA)
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)

**PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE
LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS O MUNICIPALES**



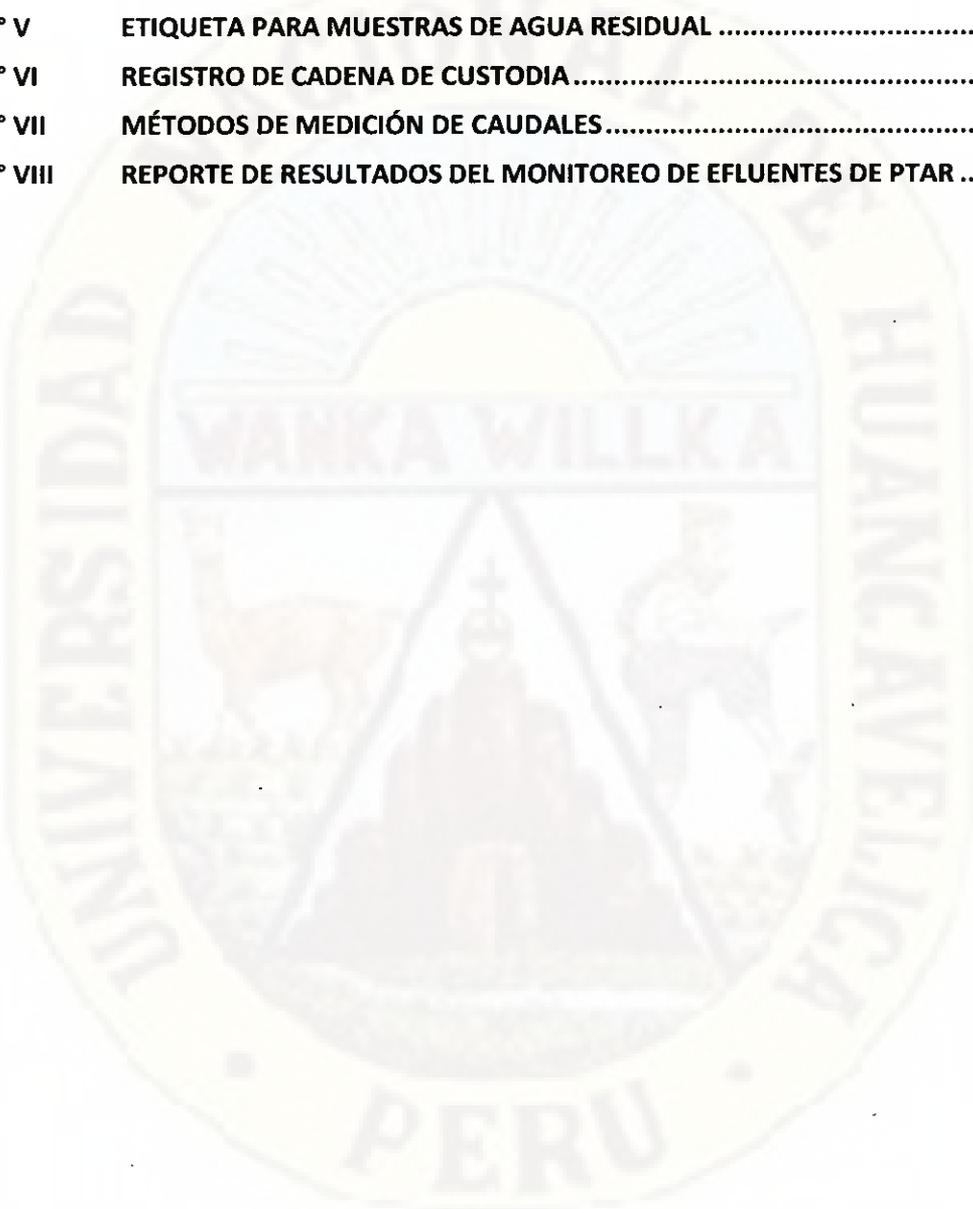
INDICE

1. Introducción	4
2. Antecedentes	4
3. Objetivos	4
3.1 Objetivo General	4
3.2 Objetivos Específicos	4
4. Marco Legal	5
5. Alcance y Aplicación del Protocolo	6
6. Metodología	6
6.1 Puntos de Monitoreo	6
6.1.1 Agua residual cruda (afluente), entrada a la PTAR	6
6.1.2 Agua residual tratada (efluente), dispositivo de salida	6
6.1.3 Identificación del punto de monitoreo	6
6.1.4 Características del punto de monitoreo	7
6.2 Parámetros de Calidad	7
6.3 Frecuencia de Monitoreo	7
6.4 Desarrollo del Monitoreo	7
6.4.1 Preparación de materiales y equipos	8
6.4.2 Precauciones durante el monitoreo	9
6.4.3 Muestreo	9
6.5 Aseguramiento y Control de Calidad	11
6.5.1 Plan de aseguramiento de la calidad del monitoreo	12
6.5.2 Recolección de muestras	12
7. Consideraciones Específicas	12
7.1 Medición de Caudal	12
7.2 Verificación de la Eficiencia de la PTAR	13
8. Registro y Procesamiento de Datos	13
9. Reporte de Monitoreo de Efluentes a ser enviado al MVCS	13
9.1 Reporte Inicial	13
9.2 Reporte de Monitoreo	13
10. Informe Anual de Resultados del Monitoreo	14
11. Supervisión y Evaluación	14
12. Glosario de Términos	14
13. Referencias	16



ANEXOS

Anexo N° I	UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO	18
Anexo N° II	FRECUENCIA DE MONITOREO	19
Anexo N° III	REQUISITOS PARA TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL MONITOREO	20
Anexo N° IV	REGISTRO DE DATOS DE CAMPO	22
Anexo N° V	ETIQUETA PARA MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL	23
Anexo N° VI	REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA	24
Anexo N° VII	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CAUDALES	25
Anexo N° VIII	REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR	30



1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son esenciales para la existencia de los seres vivos y para el bienestar del entorno ambiental. En este sentido, considerando el impacto negativo de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales sobre los cuerpos de agua receptores, que en muchos casos saturan su capacidad de autodepuración, resulta importante estandarizar la medición de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a estos vertimientos.

El Protocolo de Monitoreo establece procedimientos y metodologías que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo. Su aplicación contribuye al cumplimiento de las normas ambientales y la protección de los ecosistemas acuáticos.

La aplicación de los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo representa asimismo una herramienta de evaluación, fiscalización y mejora de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) existentes. A través de la aplicación de este instrumento se contribuye además a realizar una verificación del funcionamiento de la PTAR.

2. ANTECEDENTES

En el país existe una gran cantidad de efluentes provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR) que son vertidos a los cuerpos naturales de agua, afectando la calidad de los mismos.

A partir del 01 de abril del 2009 entró en vigencia la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, que establece que la Autoridad Nacional del Agua es la responsable de la protección del agua como recurso hídrico. En este sentido, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad del agua sobre la base de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-Agua).

Con la aprobación del D. S. N° 003-2010-MINAM entraron en vigencia, a partir del 17 de marzo del 2010, los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR. Este decreto establece la obligatoriedad de los titulares de las PTAR a realizar el monitoreo de sus efluentes, considerándose válido únicamente el monitoreo realizado conforme al *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales* (en adelante Protocolo de Monitoreo). Este debe especificar la ubicación de los puntos de control, los métodos y las técnicas adecuadas, así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento puede disponer asimismo el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el Decreto Supremo cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

Sólo se considera válido el monitoreo de aguas residuales de las PTAR conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estandarizar la metodología para el desarrollo del monitoreo de la calidad del agua residual tratada (efluente), de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR). Además es aplicable al agua residual cruda (afluente) que ingresa a la PTAR.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el procedimiento y criterios técnicos, para establecer parámetros de evaluación, puntos de monitoreo, frecuencia, toma de muestras, preservación, conservación, transporte de



muestras y el aseguramiento de la calidad para el desarrollo del monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales y habilitaciones urbanas privadas para el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

- Determinar la calidad del agua residual cruda (afluente) para verificar la consistencia de los valores de la calidad de los efluentes, determinando la eficiencia de la PTAR y relacionándola con los procesos de tratamiento aplicados.

4. MARCO LEGAL

El Protocolo de Monitoreo es un instrumento de gestión ambiental de cumplimiento obligatorio para efectuar el monitoreo, supervisión y fiscalización ambiental, así como para la verificación del cumplimiento de los LMP y de los Instrumentos de Gestión Ambiental aprobados, de conformidad con lo establecido en el Artículo 4 del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que aprueba los límites máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. También es de obligatorio cumplimiento para la evaluación y seguimiento de la eficiencia de las PTAR. En este sentido estas acciones están vinculadas a la aplicación e implementación de las siguientes normas:

- **Ley N° 29338**, Ley de Recursos Hídricos.
- **Ley N° 28611**, Ley General del Ambiente.
- **Ley N° 28245**, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- **Ley N° 29325**, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- **Decreto Supremo N° 001-2010-AG**, aprueba el Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- **Decreto Supremo N° 008-2005-PCM**, aprueba el Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- **Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM**, aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- **Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM**, aprueba disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- **Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA**, aprueba la clasificación de cuerpos de aguas superficiales y marino-costeros.
- **Resolución Jefatural N° 489-2010-ANA**, modifica el Anexo N° 1 de la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA referente a la clasificación de los cuerpos de agua marino-costeros.
- **Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**, aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
- **Decreto Supremo N° 007-2010-AG**, declara de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados.
- **Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA**, aprueba Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial.
- **Resolución Jefatural N° 274-2010-ANA**, dicta medidas para la implementación del Programa de Adecuación de Vertimiento y Reúso de Agua Residual – PAVER.
- **Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM**, aprueba el Plan Nacional de Acción Ambiental – PLANAA PERÚ: 2011-2021.
- **Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM**, aprueba la Política Nacional del Ambiente.
- **Norma Técnica OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**, del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada mediante D.S. N° 011-2006-VIVIENDA y modificada por D.S. N° 022-2009-VIVIENDA.



5. ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

El Protocolo de Monitoreo es de cumplimiento obligatorio para todas las entidades públicas y/o privadas titulares de las PTAR Domésticas o Municipales en el territorio nacional; con excepción de las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino, de acuerdo con el numeral 3.2 del artículo 3 del D.S. N° 003-2010-MINAM. Este Protocolo de Monitoreo puede también ser aplicado para los efectos de control operacional de los titulares de las PTAR, así como en los efluentes de las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino sin tener el carácter de obligatorio.

6. METODOLOGÍA

6.1 PUNTOS DE MONITOREO

Los puntos de monitoreo deben guardar concordancia, respecto a la evaluación del efluente residual, según lo especificado en el instrumento de gestión ambiental.

Los puntos de monitoreo serán dos: en la entrada de la PTAR y en el dispositivo de salida de la PTAR, pudiendo incorporarse un punto adicional, entre el dispositivo de la salida de la PTAR y el punto de vertido ante la posibilidad de la incorporación o conexión de otras descargas, lo cual quedará a criterio de la autoridad sectorial ambiental competente.

6.1.1 Agua residual cruda (afluente), entrada a la PTAR

Se ubicará un punto de monitoreo en el ingreso del agua residual cruda a la PTAR, después de la combinación de los distintos colectores de agua residual que descargan a la obra de llegada a la PTAR o, en su defecto, al ingreso a cada módulo de tratamiento, según sea el diseño del ingreso a la PTAR. En todos los casos el punto de monitoreo debe ubicarse en un lugar que evite la interferencia de sólidos de gran tamaño en la toma de muestras, por lo que debe ubicarse preferentemente después del proceso de cribado de las aguas residuales.

6.1.2 Agua residual tratada (efluente), dispositivo de salida

Se ubicará un punto de monitoreo en el dispositivo de salida del agua residual tratada de la PTAR. En el caso de que la PTAR contara con más de un dispositivo de salida se ubicarán los puntos de monitoreo en cada uno de ellos, asegurando el monitoreo del total de los efluentes de la PTAR monitoreada. Este dispositivo de salida, puede ser el medidor de flujo, caja de registro, buzón de inspección u otra estructura apropiada que cumpla con las características detalladas en el capítulo 6.1.4.

6.1.3 Identificación del punto de monitoreo

Los puntos de monitoreo, deben ser identificados y reconocidos claramente, de manera que permita su ubicación exacta en los muestreos. En la determinación de la ubicación se utilizará el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que se registrará en coordenadas UTM y en el sistema WGS84. Una vez establecidos los puntos de monitoreo se debe colocar una placa de identificación para el reconocimiento de su ubicación.

El punto de monitoreo, no deberá cambiar a menos que se modifique su ubicación por alguna razón justificada. Se debe reportar la ubicación de los puntos de monitoreo y aplicar los procedimientos para su modificación de acuerdo a lo detallado en el Capítulo 9. Ver asimismo el **Anexo N° I. Ubicación del Punto de Monitoreo.**



6.1.4 Características del punto de monitoreo

Los puntos de monitoreo deben tener las siguientes características:

- permitir que la muestra sea representativa del flujo;
- estar localizados en un punto donde exista una mejor mezcla y estar preferentemente cerca al punto del aforo;
- para la medición del afluente, el punto de monitoreo debe estar antes del ingreso de agua de recirculación, si existiera;
- ser de acceso fácil y seguro, evitando caminos empinados, rocosos, vegetación densa y fangos;
- contar con una placa de identificación incluyendo la denominación del punto de monitoreo.

Si no existe un lugar apto para la toma de muestras, el titular de la PTAR instalará la infraestructura necesaria para que el punto de control cumpla con estas características.

6.2 PARÁMETROS DE CALIDAD

Los parámetros sujetos al monitoreo de los efluentes de las PTAR son los indicados en el D.S. N° 003-2010-MINAM para los cuales se fija los Límites Máximos Permisibles. Estos son los siguientes:

- Aceites y Grasas
- Coliformes Termotolerantes
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- pH
- Sólidos Totales Suspendidos
- Temperatura

Estos parámetros se monitorearán en el agua residual cruda (afluente) y en el agua residual tratada (efluente), tomando en todos los casos muestras simples.

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el D.S. N° 003-2010-MINAM, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

6.3 FRECUENCIA DE MONITOREO

La frecuencia de monitoreo se establece para medir los cambios sustanciales que ocurren en determinados periodos de tiempo, a fin de realizar el seguimiento periódico respecto a las variaciones de los parámetros fisicoquímicos, orgánicos, microbiológicos ligados al agua residual cruda y tratada de la PTAR.

En el **Anexo N° II. Frecuencia de monitoreo** se establece la frecuencia de monitoreo para cada parámetro en función al caudal de operación actual de la PTAR (promedio diario). Esta frecuencia de monitoreo es aplicable siempre y cuando el instrumento de gestión ambiental aprobado de la PTAR no requiera una frecuencia mayor. De otro lado, el MVCS podrá modificar esta frecuencia cuando existan indicios razonables de daño a la salud o al medio ambiente.

6.4 DESARROLLO DEL MONITOREO

El Monitoreo se desarrollará conforme al presente documento y será realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual – INDECOPI. El trabajo de campo se inicia con la preparación de materiales (incluido material de



laboratorio), equipos e indumentaria de protección. Asimismo, se deberá contar con las facilidades de transporte y logística para el desarrollo del trabajo de campo.

6.4.1 Preparación de materiales y equipos

Tiene como objetivo cubrir todos los elementos indispensables para llevar a cabo un monitoreo de forma efectiva, por lo que es importante preparar con anticipación los materiales de trabajo, solución amortiguadora de pH, formatos (registro de datos de campo, etiquetas para las muestras de agua residual y cadena de custodia). Asimismo, se debe contar, sin carácter limitante, con los materiales y equipos de muestreo operativos y debidamente calibrados, que se señalan a continuación.

a) Materiales

- Fichas de registro de campo
- Cadena de custodia
- Papel secante
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- Frascos debidamente etiquetados (ver Anexo N° V)
- Cajas térmicas (pequeña y grande)
- Hielo u otro refrigerante
- Bolsas de poliburbujas u otro material de embalaje adecuado
- Piseta
- Agua destilada y/o desionizada
- Solución amortiguadora de pH
- Preservantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de las muestras para la determinación de DQO, aceites y grasas, etc.
- Pipeta
- Cronómetro
- Reloj
- Cinta métrica
- Vaso o probeta graduado de 1 L
- Papel aluminio
- Cuerda de nylon de 0,5 a 1 cm de diámetro de longitud suficiente para manipular los baldes de muestreo en los puntos de monitoreo

b) Equipos

- GPS para la identificación inicial del punto de monitoreo
- pH-metro con función de registro de temperatura
- Cámara fotográfica

c) Indumentaria de protección

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de jebe antideslizantes con cubierta de antebrazo
- Guantes de látex descartables
- Casco
- Arnés para profundidades mayores a 1,50 metros
- Respirador con cartucho para gases y polvo
- Mascarilla descartable



6.4.2 Precauciones durante el monitoreo

Se establece las siguientes consideraciones para prevenir daños personales y de materiales y equipos durante el desarrollo del monitoreo de los afluentes y efluentes de la PTAR:

1. Si el acceso al punto de muestreo es profundo (mayor a 1,50m), está prohibido el ingreso para la toma de muestra. En tales casos, recoger las muestras con ayuda de un brazo telescópico o con un recipiente con lastre sujeto a una soguilla pero guardando las medidas de seguridad (uso de arnés, chalecos flotadores, máscara antigases, etc.).
2. Si el punto de muestreo está confinado es necesario ventilarlo antes de realizar la toma de muestra en un período mínimo de una hora. Es necesario, además, usar un equipo de respiración autónoma.
3. Utilizar zapatos antideslizantes y cascos.
4. Después del monitoreo, es necesario cambiarse la indumentaria utilizada durante el mismo, para prevenir contaminación a terceros.

En general se debe tener conocimiento de lo siguiente:

1. El peligro de explosión causado por la mezcla de gases explosivos en el sistema de alcantarillado.
2. El riesgo de envenenamiento por gases tóxicos, por ejemplo, Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) o Monóxido de Carbono (CO).
3. El riesgo de sofocación por la falta de oxígeno.
4. El riesgo de enfermedades causadas por organismos patógenos presentes en las aguas residuales.
5. El riesgo de heridas físicas debidas a caídas y deslizamiento.
6. El riesgo de ahogamiento.
7. El riesgo de impacto causado por objetos que puedan caer.

6.4.3 Muestreo

El objetivo del muestreo es tomar una muestra representativa del afluente y efluente de la PTAR, para analizar los parámetros establecidos.

Al llegar al punto de monitoreo, se deben realizar las acciones que se describen a continuación.

6.4.3.1 Ubicación del punto de monitoreo

La toma de muestras se realizará únicamente en los puntos de monitoreo debidamente marcados con las placas de identificación (véase Capítulo 6.1.3).

6.4.3.2 Cuidados y acondicionamiento

En canales o albañales, se debe tomar la muestra a un tercio del tirante de la superficie, evitando tomar las muestras cerca de la superficie o del fondo.

En la toma de muestras se debe evitar partículas grandes, sedimentos y/o material flotante que se haya acumulado en el punto de muestreo. En caso no sea posible tomar las muestras después del proceso de cribado, se debe tomar la muestra evitando recolectar los sólidos de gran tamaño.

6.4.3.3 Medición de parámetros en campo y registro de información

Los parámetros de campo son: pH y temperatura, además de la medición y registro de caudal. A fin de obtener la confiabilidad de los datos se requiere:



- Equipo portátil calibrado (pH-metro), con registro de la calibración y mantenimiento. Debe realizarse la verificación del equipo antes del inicio del trabajo de campo y calibrar el equipo, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.
- Las mediciones no deben ser realizadas directamente en el flujo de aguas residuales, se debe tomar una muestra simple en un recipiente apropiado y limpio. La determinación de pH y temperatura, debe realizarse en forma inmediata a la toma de muestra.
- Realizar la medición y registro del caudal del afluente y efluente durante el período de muestreo.
- La información recabada de la medición de parámetros de campo, así como el caudal del afluente y efluente se debe ingresar en el formato de Registro de Datos de Campo que se muestra en el **Anexo N° IV. Registro de Datos de Campo**.
- Registrar las características del agua residual (sólidos, color, olor, etc.), así como eventuales características anómalas de los puntos de monitoreo, en el formato del **Anexo N° IV Registro de datos de campo**. Esta información puede complementarse con una foto.

6.4.3.4 Toma de muestras de agua, preservación, etiquetado, rotulado y transporte

La toma de muestras simples de agua residual debe ser realizada por laboratorios acreditados ante el INDECOPI. Las muestras serán recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados. En este caso seguir las instrucciones generales de preservación, embalaje y transporte de las muestras, mostradas en el **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**, así como las instrucciones de etiquetado mostradas en el **Anexo N° V. Etiqueta para muestras de agua residual**.

Se recomienda etiquetar o rotular los frascos preferentemente antes de la toma de muestras de agua.

El personal responsable deberá colocarse los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras de agua residual y desecharlos luego de culminado el muestreo en cada punto; es importante los cuidados en el manejo de los reactivos de preservación por tratarse de sustancias peligrosas.

En todo momento evitar tomar la muestra tomando el frasco por la boca.

a) Toma de muestras de agua residual

Las características de los recipientes, volumen requerido (dependerá del laboratorio) y tipo de reactivo para preservación de la muestra se contemplan en el **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para monitoreo**.

Se recomienda utilizar frascos de plástico o vidrio de boca ancha con cierre hermético y limpio. El tipo de frasco dependerá del parámetro a analizar.

Se debe preparar los frascos a utilizar en el muestreo, de acuerdo con la lista de parámetros a evaluar.

b) Preservación de muestras

Una vez tomada la muestra, se deberá incorporar, en caso que el parámetro lo requiera, el reactivo de preservación que se agregaría preferentemente in-situ después de la toma de la muestra de agua. Ver **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**.

Etiquetado y rotulado de las muestras de agua

Los frascos deben ser etiquetados y rotulados, con letra clara y legible. De preferencia debe usarse plumón de tinta indeleble y cubrir la etiqueta con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

1. Nombre de PTAR y denominación del punto de monitoreo.



2. Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
3. Fecha y hora de la toma de muestra.
4. Preservación realizada, tipo de reactivo de preservación utilizado.
5. Operador del muestreo.

Ver formato para las etiquetas de muestras, **Anexo N° V. Etiquetas de muestras de agua residual.**

d) Llenado del formato de Cadena de Custodia

Llenar el formato de cadena de custodia indicando los parámetros a evaluar, tipo de frasco, tipo de muestra de agua (agua residual cruda, agua residual tratada), volumen, número de muestras, reactivos de preservación, condiciones de conservación, operador del muestreo y otra información relevante. Ver el **Anexo N° VI. Cadena de Custodia.**

e) Conservación y Transporte de las Muestras

Las muestras de agua residual recolectadas, preservadas y rotuladas, deben colocarse en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada en el **Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua y preservación de las muestras para el monitoreo.** En el caso de utilizar hielo, colocar éste en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras de agua. Asimismo, se debe evitar roturas en el caso de frascos de vidrio durante el transporte de muestras, utilizando bolsas de poliburbujas, de embalaje o de cualquier otro material.

El envío de muestras perecibles (coliformes, DBO₅ y otros) al laboratorio para su análisis, debe cumplir con el tiempo establecido en las recomendaciones para la preservación y conservación y éstas deben ir acompañadas de su respectiva cadena de custodia (ver Anexos N° III y VI).

Transportar las muestras hasta el laboratorio, adjuntando el formato de cadena de custodia.

Al finalizar las actividades de muestreo, los equipos deben mantenerse en óptimo estado de limpieza y en buenas condiciones de funcionamiento. Debe contarse con un registro de mantenimiento de cada instrumento, a fin de llevar el control del equipo, reemplazo de baterías y cualquier problema de lectura o calibración irregular al usar las sondas o electrodos.

Es importante considerar los tiempos desde el inicio del muestreo hasta la llegada al laboratorio con el objetivo de cumplir con el tiempo requerido según los Requisitos para Toma de Muestra y Preservación (**Anexo N° III. Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**).

6.4.3.5 Método de ensayo

Los métodos de ensayo para el producto agua residual deberán estar acreditados por el INDECOPI-SNA o cualquier Organismo de acreditación firmante de acuerdos de Reconocimiento Multilateral (MLA) de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC) o que pertenezcan a un Instituto Nacional de Metrología que participe satisfactoriamente de las intercomparaciones reconocidas por el BIPM (Bureau International des Poids et Measures). Preferentemente, mientras no exista una norma nacional, los laboratorios a ser utilizados deben contar con acreditación de los ensayos según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA – AWWA – WEF 22nd Edition, o su actualización.

6.5 ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

El aseguramiento y control de calidad son parte esencial de todo sistema de monitoreo. Comprende un programa de actividades (capacitación, calibración de equipos y registro de datos) que garantizan



que la medición cumple normas definidas y apropiadas de calidad con un determinado nivel de confianza. Puede ser visto también como una cadena de actividades diseñadas para obtener datos confiables y precisos. Se aplicará la Norma NTP-ISO 5667-14, Guía para el aseguramiento de la calidad del muestreo de agua del ambiente y su manipulación.

6.5.1 Plan de aseguramiento de la calidad del monitoreo

El plan de aseguramiento de calidad del monitoreo de la entidad titular de la PTAR debe contener, como mínimo:

- Organización y responsabilidades de la Unidad o Laboratorio encargado del monitoreo (personal responsable de asegurar la ejecución de mediciones válidas).
- Procedimientos del muestreo en el campo, registro y tipos de control de calidad.
- Procedimiento de medición de parámetros de campo que incluye la calibración de los equipos de campo.
- Registro de datos de campo y procedimiento del llenado de la cadena de custodia.

6.5.2 Recolección de muestras

La etapa de recolección de muestras es de trascendental importancia, para lo cual se deberán adoptar los cuidados necesarios para el equipamiento y acondicionamiento del material de muestreo, así como el procedimiento para la medición de parámetros de campo como temperatura y pH. Los resultados de los mejores procedimientos analíticos serán inútiles si no se recolecta y manipula adecuadamente las muestras.

Los laboratorios acreditados deberán asegurar la correcta recolección de muestras que debe incluir:

- Que los frascos de muestreo sean los apropiados para cada parámetro (ver **Anexo N° III. Requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo**).
- Todos los registros y formatos para el monitoreo (registro de datos de campo, registro de cadena de custodia, etiqueta para muestra de agua residual, etc.), debidamente llenados con letra clara y legible.
- Mantener los registros de control actualizados de los equipos, para asegurar el mantenimiento y calibración de los mismos (bitácoras).

7. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS

7.1 MEDICIÓN DE CAUDAL

Las PTAR deben contar obligatoriamente con un dispositivo de medición de caudales de sus afluentes y efluentes según lo señalado en la Norma Técnica OS.090, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, y el artículo 136 del D.S. N° 001-2010-AG, respectivamente. Para efluentes de la PTAR se pueden usar medidores de régimen crítico o vertederos. Para afluentes de las PTAR solo está permitida la medición mediante medidores de régimen crítico.

Para la determinación del caudal, las PTAR pueden utilizar sistemas de medición del nivel de líquido sobre el medidor (transductores ultrasónicos, de presión sumergidos o por ondas de radar) o de tecnologías que midan la sección y la velocidad en forma simultánea (método por efecto Doppler con ondas ultrasónicas, método electromagnético o método por radar), para tal efecto, en lo que corresponda, se recomienda utilizar la NTP 410.001 del año 2010, Balance Hídrico de Descarga Sanitaria. Determinación del factor de descarga de aguas residuales a la red de alcantarillado.

Sólo en el caso de PTAR pequeñas (caudal menor a 100 L/s) y en situaciones debidamente justificadas, para los efectos de determinar el caudal de operación, se podrá usar métodos de medición indirectos como el de sección-velocidad. Si existen condiciones de descarga libre del



efluente y sólo para caudales menores a 5 L/s, se podrá aplicar el método de medición volumétrico. En el **Anexo N° VII. Métodos de medición de caudales** se describen estos métodos de medición.

Los titulares de las PTAR deben medir los caudales del afluente y efluente conforme a la frecuencia mínima de medición de caudal establecida en el **Anexo N° II. Frecuencia de monitoreo** y deben contar con un registro de caudales promedio diarios del afluente y efluente. El registro de caudales debe ser almacenado por un periodo mínimo de cinco años, debiendo estar, el archivo, a disposición del MVCS y de la Autoridad Nacional del Agua.

7.2 VERIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PTAR

La verificación de la eficiencia de la PTAR se realiza por comparación de la calidad del agua residual cruda y tratada y permitirá determinar la consistencia de los valores del efluente de la PTAR, tomando en consideración los procesos de tratamiento existentes.

8. REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

El registro y procesamiento de los datos debe hacerse para cada punto de monitoreo con la frecuencia correspondiente a la PTAR, según lo establecido en el Anexo N° II (frecuencia anual, semestral, trimestral o mensual). Estos datos deben ser almacenados y registrados colocando toda la información en una hoja de cálculo o una base de datos computarizada y serán comparados con los Límites Máximos Permisibles según D.S. N° 003-2010-MINAM. El titular de la PTAR deberá registrar cualquier observación relevante respecto del monitoreo realizado por el laboratorio acreditado.

Esta información, conjuntamente con los formatos de ubicación de los Puntos de Monitoreo, de Registro de Datos de Campo, la Cadena de Custodia y los documentos conteniendo los reportes de los análisis realizados en los laboratorios correspondientes, deberá ser almacenada por un periodo mínimo de cinco años, debiendo estar, el archivo, a disposición del MVCS y de la Autoridad Nacional del Agua.

9. REPORTE DE MONITOREO DE EFLUENTES A SER ENVIADO AL MVCS

9.1 REPORTE INICIAL

La primera etapa de registro de información debe contener la información básica de la PTAR, incluyendo croquis (incluyendo referencias como por ejemplo: vías de acceso, aeropuertos, ríos, asentamientos humanos, entre otros), ubicación de los puntos de monitoreo, caudal promedio diario de operación y flujograma, según lo establecido en el **Anexo N° I. Ubicación del Punto de Monitoreo**.

Esta información será presentada a la Oficina del Medio Ambiente del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el reporte inicial del titular de la PTAR en el plazo máximo señalado en la norma que aprueba este Protocolo de Monitoreo y cada vez que se produzca alguna modificación de los puntos de monitoreo y/o del caudal. La modificación de los puntos de monitoreo debe ser justificada y comunicada expresamente a la citada oficina, quien debe aprobar dicho cambio.

9.2 REPORTE DE MONITOREO

Los titulares de las PTAR están obligados a reportar periódicamente, al MVCS, los resultados del monitoreo de los parámetros regulados, incluyendo los parámetros adicionales establecidos por el MVCS, de ser el caso.

Este reporte contendrá los resultados de las mediciones realizadas, un cuadro comparativo de los parámetros analizados con los límites máximos permisibles y otros límites establecidos en el instrumento de gestión ambiental aprobado de la PTAR, el caudal de afluente y efluente, el nombre



del laboratorio acreditado, la clasificación del cuerpo de agua receptor o el lugar de disposición final (quebrada seca, suelo, canales de riego, etc.), observaciones derivadas de los resultados de monitoreo, etc., según se establece en el **Anexo N° VIII. Reporte de resultados del monitoreo de efluentes de PTAR.**

Los reportes de monitoreo deben ser presentados a la Oficina del Medio Ambiente (OMA) del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento con la frecuencia dispuesta en el Anexo N° II. (mensual, trimestral, semestral o anual), en un plazo máximo de 30 días después de realizado el monitoreo.

10. INFORME ANUAL DE RESULTADOS DEL MONITOREO

El MVCS es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR.

El MVCS deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente (MINAM), dentro de los primeros noventa días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los titulares de las PTAR durante el año anterior.

11. SUPERVISIÓN Y EVALUACIÓN

El MVCS evaluará la información reportada por los titulares de las PTAR y verificará el cumplimiento de los compromisos asumidos en el instrumento de gestión ambiental aprobado, fundamentalmente el cumplimiento de los LMP. De verificarse el incumplimiento de uno o más LMP, el MVCS podrá solicitar se realice un nuevo monitoreo. De persistir la ocurrencia de uno o más LMP superados solicitará un informe técnico de las causas que generan dicho incumplimiento y las medidas a ser adoptadas por el titular de la PTAR. De estimarlo necesario el MVCS podrá realizar una evaluación de la PTAR para efectos de verificación de la información reportada.

Este procedimiento no inhibe ni restringe que la Autoridad Competente realice acciones de fiscalización, control, supervisión y sanción que corresponda respecto al incumplimiento de los LMP.

12. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Afluente: Agua residual que ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales o proceso de tratamiento.

Aguas residuales: Aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas.

Alícuota: Porciones de muestras individuales recolectadas en un solo sitio de muestreo proporcionalmente al caudal y mezcladas al final del muestreo para formar una muestra compuesta.

Cadena de custodia: Documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación, transporte, esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados. Es la evidencia de la trazabilidad del muestreo.

Caudal: Es la cantidad de agua residual que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo.

Caudal medio anual: Promedio de los caudales promedio diarios en un período de 365 días.

Caudal Promedio Diario: Es el promedio de los caudales para un período de 24 horas.

DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).



DBO soluble: Ensayo de DBO determinada en una muestra que ha sido sometida a filtración.

DQO (Demanda Química de Oxígeno): Es definido como la cantidad de oxidante que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido es expresado en términos de su equivalente en oxígeno.

Efluente: Agua residual que sale de una planta o un proceso de tratamiento.

Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua): Es la medida que establece el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Fiscalización: Facultad de investigar la comisión de posibles infracciones administrativas sancionables y, si fuera el caso, imponer sanciones por el incumplimiento de obligaciones derivadas de los instrumentos de gestión ambiental, así como de las normas ambientales como son los Límites Máximos Permisibles de efluentes de PTAR.

Frecuencia de monitoreo: Es la periodicidad del monitoreo de calidad del agua residual, el cual está determinado por el caudal de operación de la PTAR.

Instrumento de Gestión Ambiental: Mecanismos diseñados para posibilitar la ejecución de la política ambiental, sobre la base de los principios establecidos en la Ley. Constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario, para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales que rigen en el país. Incluye, por ejemplo, Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y Planes de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).

Límite Máximo Permisible (LMP): Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

Monitoreo de la calidad del agua residual: es el proceso que permite obtener como resultado la medición de la calidad del agua residual, con el objeto de realizar el seguimiento sobre la exposición de contaminantes a los usos de agua y el control a las fuentes de contaminación.

Muestra de agua: parte representativa del material a estudiar (para este caso agua residual cruda y tratada) en la cual se analizan los parámetros de interés.

Muestra simple o puntual: Es la que se toma en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual. Representa la composición del agua residual para un lugar, tiempo y circunstancia en la que fue recolectada la muestra.

Oxígeno disuelto: Concentración de oxígeno en el agua que depende de la temperatura y la presión atmosférica, condicionante para el desarrollo de la vida acuática.

Parámetros de calidad: Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad de agua.

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR): Infraestructura y procesos que permiten la depuración de los parámetros contaminantes contenidos en las aguas residuales domésticas o municipales.

Preservante químico: Es una solución química que inhibe y/o estabiliza la muestra para conservar las características de la muestra de agua residual hasta el momento del análisis.

Protocolo: Es un documento guía que contiene pautas, instrucciones, directivas y procedimientos establecidos para desarrollar una actividad específica.

Punto de aforo: Dispositivo o estructura donde se realiza la medición de caudal.



Punto de monitoreo o punto de control: Es la ubicación geográfica de un punto, donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad (en este caso del agua residual cruda y tratada) en forma periódica.

13. REFERENCIAS

- Ministerio de Salud. DIGESA. Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales y sus Anexos I, II, III y IV. Resolución Directoral N° 2254/2007/DIGESA/SA. 2007.
- Autoridad Nacional del Agua. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial. Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA. 2011.
- American Public Health Association. American Water Works Association. Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. 2003.
- NTP 410.001:2010. Balance Hídrico de Descarga Sanitaria. Determinación del factor de descarga de aguas residuales a la red de alcantarillado. 2010.
- NTP ISO 5667-3:2001. Calidad del Agua. Muestra parte 3: guía para la preservación y manejo de muestras. 2001.
- ISO 5667-10: 1995. Water quality - Sampling - Part 10: Guidance on sampling of waste waters.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua. 2007.
- Norma Oficial Mexicana. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Con ratificación previa a su revisión quinquenal. NOM-001-SEMARNAT-1996. Diario Oficial de la Federación. 2003 Abr 23.



ANEXOS

- Anexo N° I Ubicación del Punto de Monitoreo
- Anexo N° II Frecuencia de monitoreo
- Anexo N° III Requisitos para toma de muestras de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo
- Anexo N° IV Registro de datos de campo
- Anexo N° V Etiqueta para muestras de agua residual
- Anexo N° VI Cadena de custodia
- Anexo N° VII Métodos de medición de caudales
- Anexo N° VIII Reporte de resultados del monitoreo de efluentes de PTAR



Anexo N° I
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre de EPS/Municipio:			
Nombre de PTAR:			
Ubicación de PTAR:			
Localidad	Distrito	Provincia	Departamento
IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO			
AFLUENTE			
Denominación del punto de muestreo (afluente)			
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)		Método de medición	
EFLUENTE			
Denominación del punto de muestreo (efluente)			
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)		Método de medición	
Datos del GPS (marca, modelo, número de serie, precisión del equipo)			

En páginas aparte:

- Croquis de ubicación del punto de monitoreo 1.
2 fotografías del punto de monitoreo 1 (tomadas a 10m de distancia del punto de monitoreo y la segunda más cercana al mismo).
- Croquis de ubicación del punto de monitoreo 2.
2 fotografías del punto de monitoreo 2 (tomadas a 10m de distancia del punto de monitoreo y la segunda más cercana al mismo).
- Flujograma de procesos de tratamiento con la información básica de cada uno de ellos.
- Caudal medio anual de la PTAR, registrado según la frecuencia indicada en el anexo II.

Para el reporte inicial y en caso de ausencia de registros según la frecuencia indicada en el Anexo N° II, indicar el caudal promedio anual sustentado con resultados de medición según otra frecuencia o con otro sustento técnico, por ejemplo, información del diseño de la PTAR. Indicar frecuencia de monitoreo aplicable según el Anexo N° II.



.....dedel 20...
Nombres y apellidos
Responsable de la PTAR

Anexo N° II
FRECUENCIA DE MONITOREO

Para determinar la frecuencia de monitoreo de la PTAR se debe tomar como referencia el caudal promedio anual del año calendario precedente.

Rango de caudal promedio anual de la PTAR	Frecuencia de monitoreo	Frecuencia mínima de medición de caudal
> 300 L/s	Mensual	Lecturas horarias, 365 días
> 100 a 300 L/s	Trimestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por mes
> 10 a 100 L/s	Semestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por trimestre
< 10 L/s	Anual	Lecturas horarias, por 24 horas, una vez por semestre

La frecuencia de monitoreo indicada es aplicable siempre y cuando el instrumento de gestión ambiental aprobado de la PTAR no indique una frecuencia mayor.

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento podrá disponer otra frecuencia del monitoreo para todos los parámetros inclusive que no estén regulados en el D.S. N° 003-2010-MINAM, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.



Anexo N° III

REQUISITOS PARA TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL MONITOREO

Determinación/Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (1)	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Fisicoquímico				
Temperatura	P,V	1000 mL	No es posible	15 min
pH (2)		50 mL	No es posible	15 min
DBO ₅ (3)	P,V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	48 horas
DQO (3)	P,V	100 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Aceites y grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 mL	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar a 4°C	28 días
Sólidos suspendidos Totales (SST)	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	7 días
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	V, esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4°C Agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 horas

- (1) No hay restricción para el volumen máximo de la muestra.
- (2) En el caso de lagunas de estabilización, la medición del efluente debe realizarse entre las 10:00 y las 11:00 horas para evitar la interferencia del desequilibrio del sistema carbonatado por alta actividad fotosintética que se da en las horas de mayor radiación solar.
- (3) En caso de lagunas de estabilización, filtrar las muestras de los efluentes (filtro no mayor a 1 micra de porosidad, lo cual debe ser reportado con los resultados del ensayo) para eliminar la interferencia de algas, determinando de este modo la DBO y DQO, soluble o filtrada. No se debe filtrar las muestras si los efluentes son vertidos en cuerpos de agua lenticos (lagunas, lagos, bahías, etc.).

Leyenda: P = frasco de plástico o equivalente;
V = frasco de vidrio



REQUISITOS PARA TOMA DE MUESTRA DE AGUA Y PRESERVACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADICIONALES QUE DETERMINE EL MINISTERIO DE VIVIENDA

Determinación/ Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (*)	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Fisicoquímico				
Fosforo Total	P,V	100 mL	Agregar H2SO4 hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Nitratos	P,V	100 mL	Analizar lo más pronto posible. Refrigerar a 4°C	48 horas
Nitritos	P,V	100mL	Analizar lo más pronto posible Refrigerar a 4°C	Ninguno
Nitrógeno amoniacal	P,V	500 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H2SO4 hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Microbiológicos				
<i>Vibrio cholerae</i>	V, estéril	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4°C	6 horas
<i>Escherichia coli</i>	V, estéril	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4°C	6 horas
<i>Salmonella sp.</i>	V, estéril	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4°C	6 horas
Huevos de Helmintos	V	Variable, dependiendo del método	Refrigerar a 4°C	6 horas

(*) No hay restricción para el volumen máximo de la muestra.

Leyenda: P = frasco de plástico o equivalente;
V = frasco de vidrio

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition.



Anexo N° IV
REGISTRO DE DATOS DE CAMPO

Nombre de la PTAR:				
AFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal afluente (*)
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
EFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal efluente (*)
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				

(*) Caudal de afluente y efluente en el momento del monitoreo



.....dedel 20...

Nombres y apellidos
Responsable de Monitoreo

Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOPI pueden utilizar su propio formato para el registro de datos de campo.

Anexo N° V
ETIQUETA PARA MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

La etiqueta de identificación de la muestra debe contener los siguientes datos:

Etiqueta adhesiva para etiquetar los frascos o bolsas de la toma de muestras de 12 cm X 8,5 cm.

Nombre de la PTAR:	
Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):	
No. de muestra (orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico químico	<input type="checkbox"/> DBO <input type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input type="checkbox"/> SST
Ensayo microbiológico	<input type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros	
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo	

Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOPI pueden utilizar su propia etiqueta para muestras de agua residual.



Anexo N° VI
REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA

Nombre de la PTAR:														
Muestra No.	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido						Observaciones
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT		
Hora de entrega al medio de transporte														

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio				
Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Hora	Fecha



Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOPI pueden utilizar su propio formato de Cadena de Custodia.

Anexo N° VII
MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CAUDALES

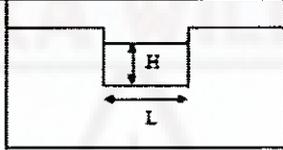
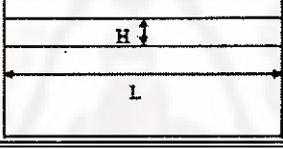
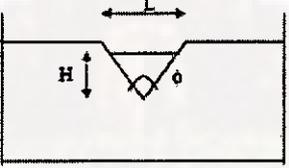
A) Método del Vertedero

Este método es utilizado para corrientes de bajo caudal.

Según las características físicas (geometría) de salida de la PTAR, se puede aplicar el método del vertedero, que consiste en caja de salida de la PTAR en el cual se instala una placa de geometría definida y que permita el flujo libre. Se mide la altura de la superficie líquida corriente arriba para determinar el flujo. El perfil hidráulico de las instalaciones de salida de la PTAR y el emisor, deben permitir un flujo libre para una medición adecuada de caudales.

En caso de tomar la decisión de utilizar un vertedero de geometría conocida implica necesariamente que el flujo del vertimiento se dirija sobre un canal abierto, en cual se pueda conocer la carga (tirante) de agua (H) de la corriente sobre el vertedero. Con este valor se podrá determinar el caudal en este canal.

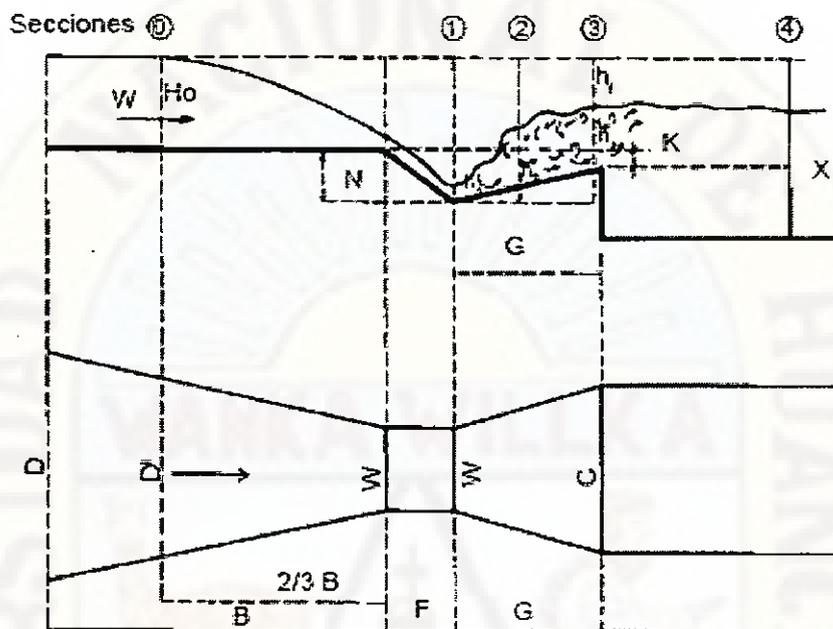
En la siguiente tabla se presentan algunas de las ecuaciones y características de los vertederos comúnmente utilizados.

Tipo de vertedero	Diagrama	Ecuación
Rectangular con contracción		$Q = 3,3 * L * H^{1,5}$ Q = Caudal en m ³ /s L = Longitud de cresta en m H = carga (tirante) en m
Rectangular sin contracción		$Q = 1,83 * L * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /s L = Longitud de cresta en m H = carga (tirante) en m
Triangular		$\Phi = 90^\circ$ $Q = 1,4 * H^{3,5}$ Q = caudal en m ³ /s H = carga (tirante) en m $\Phi = 60^\circ$ $Q = 0,775 * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /s H = carga (tirante) en m



B) Canaleta Parshall

Este medidor es una especie de tubo Venturi abierto, el cual dispone de una garganta que produce una elevación del nivel de agua en función del caudal. Está formado por una sección de entada de paredes verticales convergentes y fondo a nivel, una garganta o estrechamiento de paredes paralelas y fondo descendiente y una sección de salida con paredes divergentes y fondo ascendente. Las canaletas Parshall se definen por el ancho de la garganta. Para la determinación del caudal se precisa de la medición de la altura del líquido, éste se puede realizar de forma instantánea con solo una medición de altura.



$$Q = (H_0/k)^{1/m}$$

Q = caudal en m^3/s

H_0 = Altura de agua en la zona de medición en m

K, m constantes en función al ancho de garganta de la canaleta

Ancho de la garganta del Parshall (W)		k	m
Pulgadas, pies	(m)		
3"	0,075	3,704	0,646
6"	0,150	1,842	0,636
9"	0,229	1,486	0,633
1'	0,305	1,276	0,657
1 ½'	0,406	0,966	0,650
2'	0,610	0,795	0,645
3'	0,915	0,608	0,639
4'	1,220	0,505	0,634
5'	1,525	0,436	0,630
6'	1,830	0,389	0,627
8'	2,440	0,324	0,623



C) Método de Sección - Velocidad

El método de Sección – Velocidad se usa en canales con bajo caudal. Se deben determinar dos parámetros: la velocidad y la sección transversal

Medición de la velocidad: v (m/s)

- Seleccionar un tramo de flujo homogéneo.
- Se estima una longitud apropiada (L) que representará el espacio recorrido por el flotador que oscile entre 30 a 100 m según el caudal.
- Contar con un flotador visible (bolas de plástico o material sintético).
- Se inicia la operación lanzando el flotador al inicio del tramo seleccionado y midiendo el tiempo en que recorre la longitud de medición establecida.
- Realizar varias mediciones para descartar los valores errados que permitirá obtener un valor constante, o promedio de varias mediciones (T).
- La Velocidad (V) se calcula como sigue $V=0.8 \times (L/T)$, la unidad de medida más representativa es m/s.

Medición de la sección transversal: A (m²)

- Medir el ancho del canal.
- Medir las profundidades a lo largo de la sección del canal.
- Calcular el área de la sección del canal.

$$A = b \cdot h$$

Donde:

b = Es el ancho del canal

h = Es la altura de agua en el canal (distancia del espejo de agua al fondo del canal en el eje central)

Medición de Caudal. Q (m³/s)

El cálculo del caudal se realiza al multiplicar el área de la sección transversal (A) por la velocidad obtenida (V).

$$Q = v \cdot A$$



D) Método volumétrico

Este método se utiliza para la medición de caudal en una tubería donde se permita coleccionar el caudal por descarga libre, en la cual se puede interponer un recipiente.

Medición del tiempo: T (s)

- Se requiere de un recipiente de 10 a 20 litros con graduaciones de 1 litro para coleccionar el agua
- Un cronómetro
- Se mide el tiempo que demora el llenado de un determinado volumen de agua

Medición del volumen: V (L)

- Conocer el volumen del recipiente

Medición del Caudal: Q (L/s)

El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen.

$$Q = V/T$$

Donde:

Q = caudal en L/s

V = volumen en litros

T = Tiempo en segundos

En la siguiente Tabla se muestran algunas condiciones y restricciones para la utilización de los diferentes métodos de medición de caudal.



D) Método volumétrico

Este método se utiliza para la medición de caudal en una tubería donde se permita coleccionar el caudal por descarga libre, en la cual se puede interponer un recipiente.

Medición del tiempo: T (s)

- Se requiere de un recipiente de 10 a 20 litros con graduaciones de 1 litro para coleccionar el agua
- Un cronómetro
- Se mide el tiempo que demora el llenado de un determinado volumen de agua

Medición del volumen: V (L)

- Conocer el volumen del recipiente

Medición del Caudal: Q (L/s)

El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen.

$$Q = V/T$$

Donde:

Q = caudal en L/s

V = volumen en litros

T = Tiempo en segundos

En la siguiente Tabla se muestran algunas condiciones y restricciones para la utilización de los diferentes métodos de medición de caudal.

Algunas Condiciones y Restricciones para la Utilización de Diferentes Métodos de Medición de Caudal

Método de Aforo	Equipo o dispositivo	Condiciones	Restricciones	Aplicación
Volu-métrico	Recipiente de volumen conocido y cronómetro	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente con caída libre • Caudales pequeños y de poca velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Errores con chorros violentos • Requiere calibración del recipiente utilizado 	Descargas libres
Vertedero	Vertederos	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los vertederos • Antes de llegar al vertedor el canal de acceso debe ser recto, al menos 10 veces la longitud de su cresta 	<ul style="list-style-type: none"> • El porcentaje de error en la medición del caudal disminuye a medida que la carga aumenta • Existe una mayor exactitud cuando el derrame tiene lugar bajo la carga máxima posible dentro de las limitaciones de cada vertedero • La cresta y los laterales del vertedero deben ser rectos y afilados • Aguas abajo del canal no debe haber obstáculos a fin de evitar ahogamiento o inmersión de la descarga del vertedor • En el proceso de evitar que se ahogue se pierde mucha carga • No se pueden combinar con estructuras de distribución o derivación • Se anulan las condiciones de aforo cuando los sedimentos se depositan en el fondo, por lo que es necesario realizar un mantenimiento continuo 	La medición se basa en el funcionamiento de una sección hidráulica conocida y calibrada, de tal forma que con solo conocer la carga hidráulica de operación, se conoce el gasto que pasa por la sección
Sección-Velocidad	Flotador	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de corriente que conducen gastos pequeños no mayores a 100 L/s • Tramo del cauce lo más recto posible, alejado de curvas y que el agua corra libremente • Sección transversal lo más regular posible • Profundidad suficiente para que el flotador no toque el fondo 	<ul style="list-style-type: none"> • Hay que tomar en cuenta los coeficientes debidos a la variación del viento • El flotador debe adquirir una velocidad cercana a la velocidad superficial del agua • En corrientes turbulentas no se obtienen buenos resultados • El flotador no debe ser muy ligero ni muy pesado 	Canales a cielo abierto, carentes de estructuras de aforo (vertederos) y cuando no sea posible instalar algún otro dispositivo

Fuente: "Identificación y Descripción de Sistemas Primarios para el Tratamiento de Aguas Residuales". Comisión Nacional del Agua de México.

Anexo N° VIII

REPORTE DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE EFLUENTES DE PTAR

REPORTE A SER ENVIADO AL MVCS-OMA

I. RESULTADOS DEL MONITOREO

Fecha del monitoreo:

Nombre de la PTAR:					
Parámetro	Tipo de muestra	Resultado del análisis		LMP	Eficiencia PTAR
		Afluente	Efluente		
pH, unidad					
Temperatura, °C					
DBO5, mg/L 1)					
DQO, mg/L 1)					
SST, mg/L					
Aceites y Grasas, mg/L					
Coliformes Termotolerantes, NMP/100 mL					
Caudal del afluente, L/s 2)				Método de medición	
Caudal del efluente, L/s 2)				Método de medición	
Nombre de laboratorio acreditado					
Responsable de la PTAR	Fecha		Firma		

1) Para efluentes de lagunas de estabilización el valor reportado será el de la DBO y DQO solubles.

2) Caudal medido en el momento del monitoreo para las muestras simples.

Este formato también incluirá los parámetros adicionales que determine el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, así como los establecidos en el instrumento de gestión ambiental aprobado.

II. OBSERVACIONES

Se incluirá la clasificación del cuerpo de agua receptor, según lo establecido por la Autoridad Nacional del Agua, o en su defecto, el lugar de disposición final (quebrada seca, suelo, canales de riego, etc.).

Se hará una evaluación de las eficiencias calculadas sobre la base de los resultados del monitoreo, así como también un análisis sobre el grado de cumplimiento de los LMP.

Finalmente se incluirán observaciones derivadas de los resultados del monitoreo (ejemplo: caudal de operación mayor al caudal de diseño, variaciones de calidad del afluente, cambios en tecnología de tratamiento, etc.).

III. ANEXOS AL REPORTE

- Formato de registro de datos de campo
- Formato de la Cadena de Custodia
- Copia de los informes emitidos por el laboratorio acreditado





Anexo 7. Certificados de laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



INFORME DE ENSAYO N° 104-2020- A

SOLICITANTE : CRISTHIAN JUAN MOGOLLON VIZUETA
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCavelica: "SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS"
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA - VIVIENDA RURAL DISTRITO DE BUENOS AIRES - PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA.
 CANTIDAD DE MUESTRA : 2 MUESTRAS POR 250 ML C/U
 FORMA DE PRESENTACION : BOTELLA CON TAPAROSCA, REFRIGERADA
 MUESTREO : REALIZADO POR EL SOLICITANTE
 NORMA DE REFERENCIA : D.S. 003-2010-MINAM. APRUEBAN LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.

DATOS DE ENSAYO DEL AFLUENTE (ENTRADA AL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCION AFLUENTE : 06/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 06/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 13/01/2020

DATOS DE ENSAYO DEL EFLUENTE (SALIDA DEL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCIÓN EFLUENTE: 09/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 09/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 16/01/2020

PARÁMETROS	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES
	ENTRADA	SALIDA	DS N° 003-2010-MINAM
Coliformes termotolerantes (NMP / 100 ml)	1,600	950	10,000
DBO5 (mg/L)	140	35	100
DQO (mg/L)	250	52	200
pH (Unidad de pH a 25°C)	8	7.1	6.5-8.5
Turbiedad (UNI)	220	35	100
Temperatura (°C)	27	26	<35°

MÉTODOS:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 922 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)
 DBO5: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
 DQO: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
 pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H, 22nd Ed. pH Value. Electrometric Method
 Turbiedad: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method (Proposed)
 Temperatura: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. Temperature. Laboratory and Field Methods

Piura, 16/01/2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
 FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
 ING. HUALTENLEYTON MASIAS M.Sc.
 JEFE
 CIP 22850

DUC IN ALTUM "REMAR MAR ADENTRO" (Lucas 5,4)
 Urb. Miraflores - Campus Universitario S/M - Castilla - Piura
 Teléfonos: (073) - 285251, anexo 2013 - (073) 285205
 labocontrol@unp.edu.pe
 atencion.clientelabotip.unp@gmail.com



INFORME DE ENSAYO N° 104-2020- B

SOLICITANTE : CRISTHIAN JUAN MOGOLLON VIZUETA
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELCA: "SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS"
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA - VIVIENDA RURAL DISTRITO DE BUENOS AIRES - PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA.
 CANTIDAD DE MUESTRA : 2 MUESTRAS POR 250 ML C/U
 FORMA DE PRESENTACION : BOTELLA CON TAPAROSCA, REFRIGERADA
 MUESTREO : REALIZADO POR EL SOLICITANTE
 NORMA DE REFERENCIA : D.S. 003-2010-MINAM. APRUEBAN LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.

DATOS DE ENSAYO DEL AFLUENTE (ENTRADA AL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCION AFLUENTE : 13/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 13/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 20/01/2020

DATOS DE ENSAYO DEL EFLUENTE (SALIDA DEL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCIÓN EFLUENTE: 16/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 16/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 23/01/2020

PARÁMETROS	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES DS N° 003-2010-MINAM
	ENTRADA	SALIDA	
Coliformes termotolerantes (NMP / 100 ml)	1,700	960	10,000
DBO5 (mg/L)	145	36	100
DQO (mg/L)	235	51	200
pH (Unidad de pH a 25°C)	8	7.3	6.5-8.5
Turbiedad (UNT)	250	33	100
Temperatura (°C)	28	27	<35º

MÉTODOS:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 922 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)
 DBO5: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 DQO: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H, 22nd Ed. pH Value. Electrometric Method
 Turbiedad: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method (Proposed)
 Temperatura: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. Temperature. Laboratory and Field Methods

Piura, 23/01/2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
 FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
 ING HUALTER LEYTON MASIAS M Sc
 CIP 22860



INFORME DE ENSAYO N° 104-2020- C

SOLICITANTE : CRISTHIAN JUAN MOGOLLON VIZUETA
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCavelica: "SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS"
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA - VIVIENDA RURAL DISTRITO DE BUENOS AIRES - PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA.
 CANTIDAD DE MUESTRA : 2 MUESTRAS POR 250 ML C/U
 FORMA DE PRESENTACION : BOTELLA CON TAPAROSCA, REFRIGERADA
 MUESTREO : REALIZADO POR EL SOLICITANTE
 NORMA DE REFERENCIA : D.S. 003-2010-MINAM. APRUEBAN LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.

DATOS DE ENSAYO DEL AFLUENTE (ENTRADA AL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCION AFLUENTE : 20/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 20/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 27/01/2020

DATOS DE ENSAYO DEL EFLUENTE (SALIDA DEL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCIÓN EFLUENTE: 23/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 23/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 30/01/2020

PARÁMETROS	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES DS N° 003-2010-MINAM
	ENTRADA	SALIDA	
Coliformes termotolerantes (NMP / 100 ml)	1,600	950	10,000
DBO5 (mg/L)	152	34	100
DQO (mg/L)	255	45	200
pH (Unidad de pH a 25°C)	7	7.1	6.5-8.5
Turbiedad (UNT)	260	31	100
Temperatura (°C)	27	26	<35°

METODOS:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 922 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)
 DBO5: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 DQO: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H, 22nd Ed. pH Value. Electrometric Method
 Turbiedad: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method (Proposed)
 Temperatura: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. Temperature. Laboratory and Field Methods

Piura, 30/01/2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
ING HUALTER LEYTON MASIAS M Sc
JEFE
C.N. 22050



INFORME DE ENSAYO N° 104-2020- D

SOLICITANTE : CRISTHIAN JUAN MOGOLLON VIZUETA
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA: "SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS"
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA - VIVIENDA RURAL DISTRITO DE BUENOS AIRES - PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA.
 CANTIDAD DE MUESTRA : 2 MUESTRAS POR 250 ML C/U
 FORMA DE PRESENTACION : BOTELLA CON TAPAROSCA, REFRIGERADA
 MUESTREO : REALIZADO POR EL SOLICITANTE
 NORMA DE REFERENCIA : D.S. 003-2010-MINAM. APRUEBAN LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.

DATOS DE ENSAYO DEL AFLUENTE (ENTRADA AL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCION AFLUENTE : 27/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 27/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 03/02/2020

DATOS DE ENSAYO DEL EFLUENTE (SALIDA DEL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCIÓN EFLUENTE: 30/01/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 30/01/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 06/02/2020

PARÁMETROS	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES DS N° 003-2010-MINAM
	ENTRADA	SALIDA	
Coliformes termotolerantes (NMP / 100 ml)	1,500	960	10,000
DBO5 (mg/L)	165	30	100
DQO (mg/L)	256	45	200
pH (Unidad de pH a 25°C)	8	7.4	6.5-8.5
Turbiedad (UNT)	255	34	100
Temperatura (°C)	28	27	<35°

METODOS:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 922 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)
 DBO5: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 DQO: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H, 22nd Ed. pH Value. Electrometric Method
 Turbiedad: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method (Proposed)
 Temperatura: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. Temperature. Laboratory and Field Methods

Piura, 06/02/2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
 FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
 ING HUALTER LEYTON MASIAS M Sc
 UPE
 CIP/22850



INFORME DE ENSAYO N° 104-2020- E

SOLICITANTE : CRISTHIAN JUAN MOGOLLON VIZUETA
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYELICA: "SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS"
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA - VIVIENDA RURAL DISTRITO DE BUENOS AIRES - PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA.
 CANTIDAD DE MUESTRA : 2 MUESTRAS POR 250 ML C/U
 FORMA DE PRESENTACION : BOTELLA CON TAPAROSCA, REFRIGERADA
 MUESTREO : REALIZADO POR EL SOLICITANTE
 NORMA DE REFERENCIA : D.S. 003-2010-MINAM. APRUEBAN LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.

DATOS DE ENSAYO DEL AFLUENTE (ENTRADA AL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCION AFLUENTE : 03/02/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 03/02/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 10/02/2020

DATOS DE ENSAYO DEL EFLUENTE (SALIDA DEL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCIÓN EFLUENTE: 06/02/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 06/02/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 13/02/2020

PARÁMETROS	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES DS N° 003-2010-MINAM
	ENTRADA	SALIDA	
Coliformes termotolerantes (NMP / 100 ml)	1,400	950	10,000
DBO5 (mg/L)	142	28	100
DQO (mg/L)	260	40	200
pH (Unidad de pH a 25°C)	8	7.5	6.5-8.5
Turbiedad (UNT)	260	35	100
Temperatura (°C)	29	28	<35°

METODOS:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 922 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)
 DBO5: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 DQO: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H, 22nd Ed. pH Value. Electrometric Method
 Turbiedad: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method (Proposed)
 Temperatura: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. Temperature. Laboratory and Field Methods

Piura, 13/02/2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
ING HUALTER LEYTON MASIAS M Sc
CIP 22850



INFORME DE ENSAYO N° 104-2020- F

SOLICITANTE : CRISTHIAN JUAN MOGOLLON VIZUETA
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCavelica: "SISTEMA MULTIFASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS"
 PRODUCTO DECLARADO : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA - VIVIENDA RURAL DISTRITO DE BUENOS AIRES - PROVINCIA DE MORROPON - REGION PIURA.
 CANTIDAD DE MUESTRA : 2 MUESTRAS POR 250 ML C/U
 FORMA DE PRESENTACION : BOTELLA CON TAPAROSCA, REFRIGERADA
 MUESTREO : REALIZADO POR EL SOLICITANTE
 NORMA DE REFERENCIA : D.S. 003-2010-MINAM. APRUEBAN LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.

DATOS DE ENSAYO DEL AFLUENTE (ENTRADA AL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCION AFLUENTE : 10/02/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 10/02/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 17/02/2020

DATOS DE ENSAYO DEL EFLUENTE (SALIDA DEL TRATAMIENTO)

FECHA DE RECEPCIÓN EFLUENTE: 13/02/2020
 FECHA INICIO DE ENSAYO : 13/02/2020
 FECHA FIN DE ENSAYO : 20/02/2020

PARÁMETROS	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES DS N° 003-2010-MINAM
	ENTRADA	SALIDA	
Coliformes termotolerantes (NMP / 100 ml)	1,400	940	10,000
DBO5 (mg/L)	140	28	100
DQO (mg/L)	260	45	200
pH (Unidad de pH a 25°C)	8	7.3	6.5-8.5
Turbiedad (UNT)	255	31	100
Temperatura (°C)	27	26	<35°

METODOS:

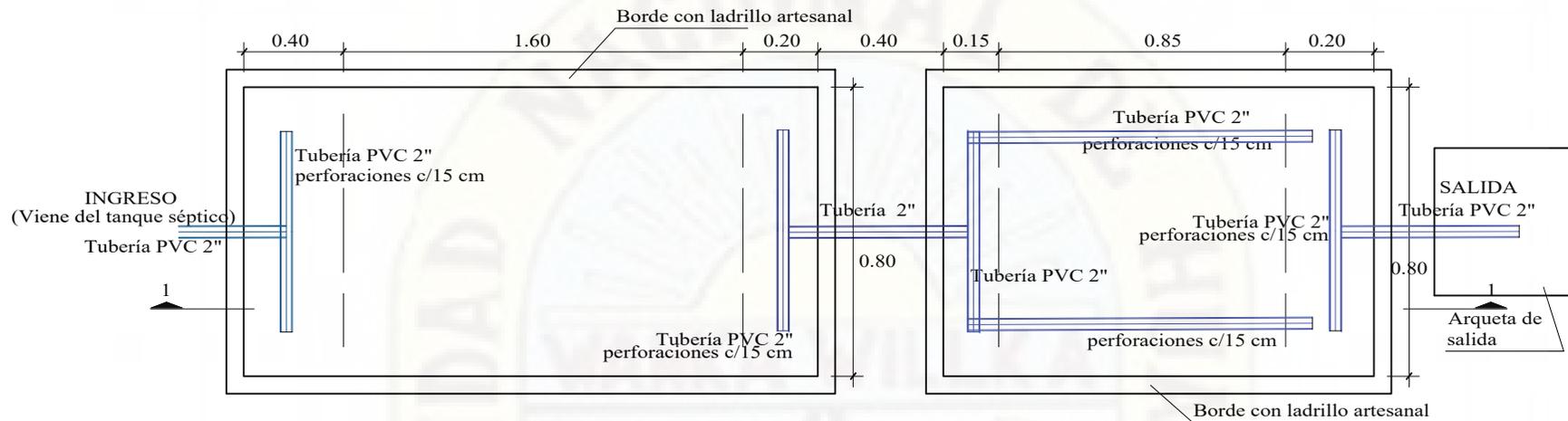
Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 922 E-1, 22nd Ed. Multiple-Tube fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)
 DBO5: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 DQO: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H, 22nd Ed. pH Value. Electrometric Method
 Turbiedad: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method (Proposed)
 Temperatura: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. Temperature. Laboratory and Field Methods

Piura, 20/02/2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
ING. HUALTER LEYTON MASIAS M.Sc.
C.I. 22850

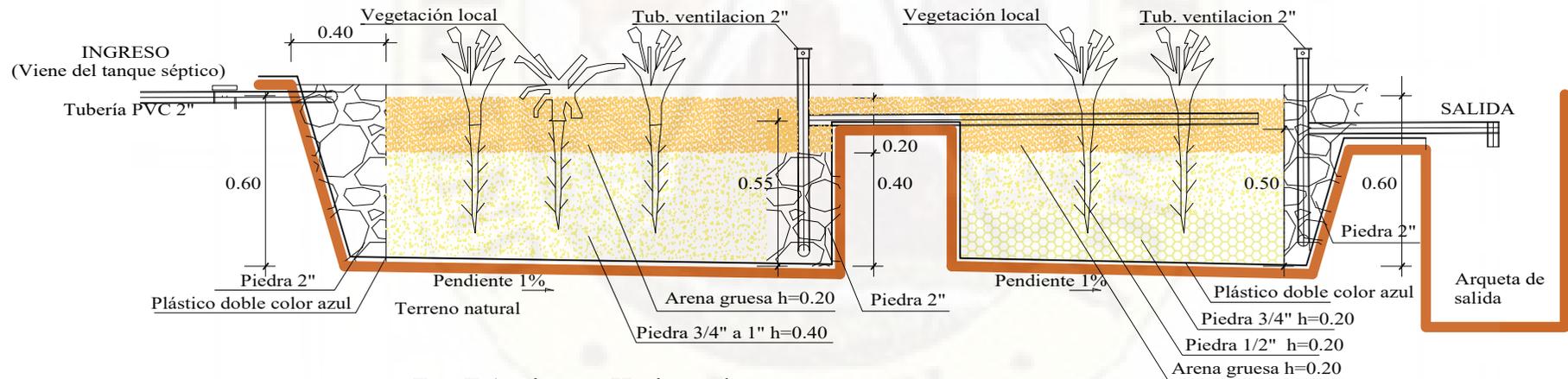
Anexo 8. Planos del sistema multifase



FASE 1. Sistema Horizontal

FASE 2. Sistema Vertical

PLANTA DEL SISTEMA MULTIFASE



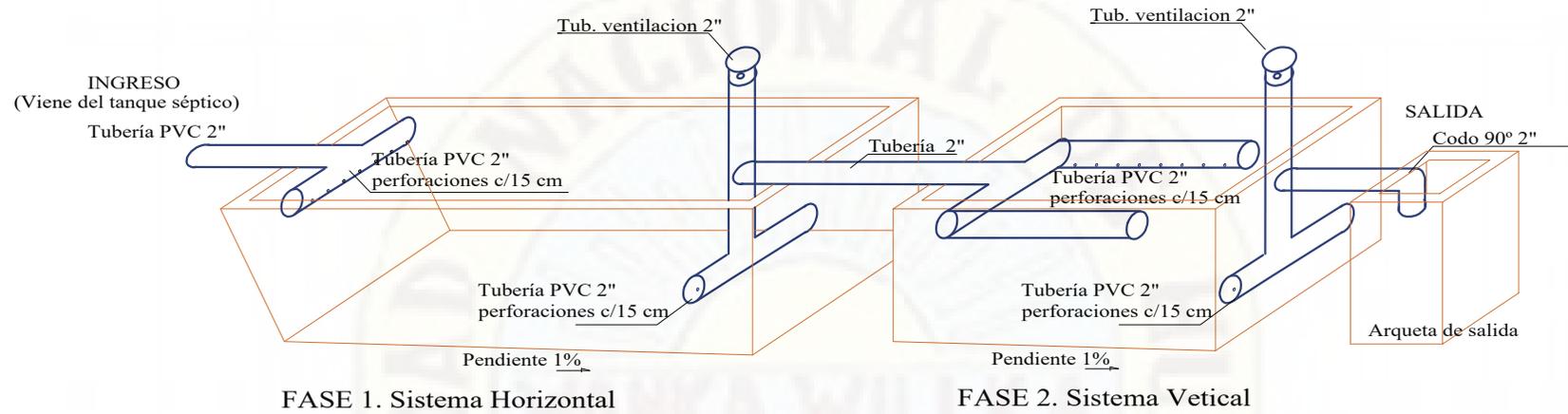
FASE 1. Sistema Horizontal

FASE 2. Sistema Vertical

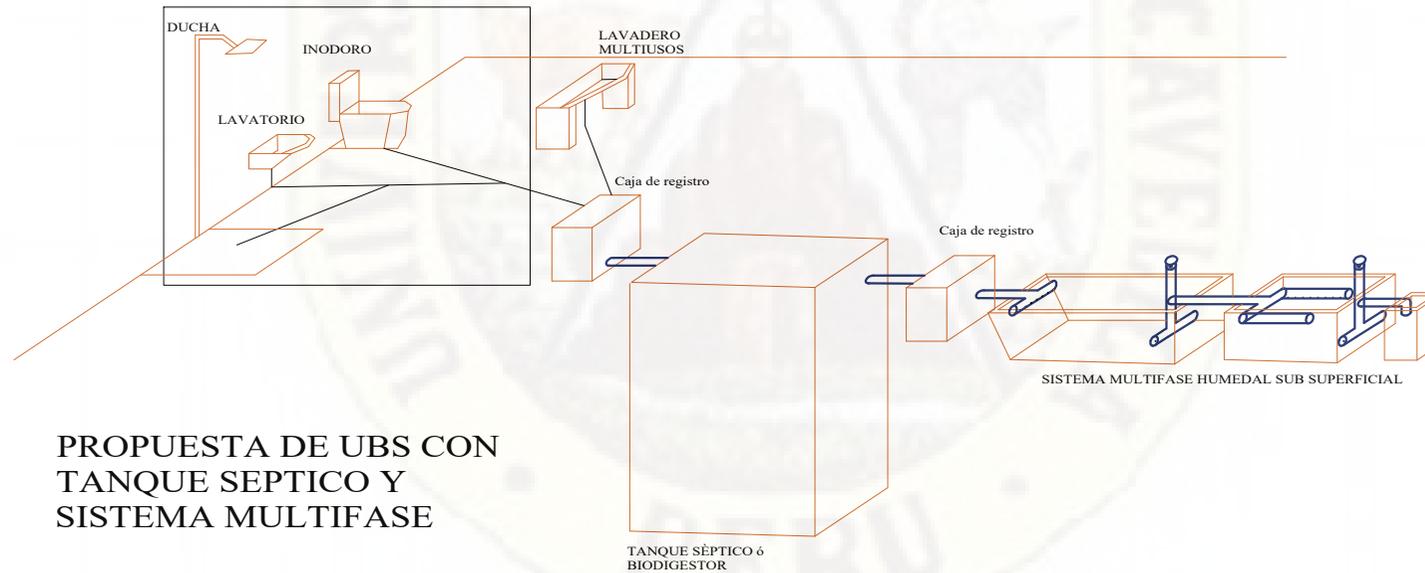
CORTE 1-1 DEL SISTEMA MULTIFASE

Fuente: Elaboración propia

lanos del sistema multifase



ISOMETRICO DEL SISTEMA MULTIFASE



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Certificado de originalidad UNICHECK



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
(Creada por Ley N° 25265)
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
REPOSITORIO INSTITUCIONAL



UNICHECK

Certificado de Originalidad

Por medio de este documento de Originalidad el área de Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica, certifica y da fe que el trabajo de investigación titulado: **“SISTEMA MULTI FASE DE HUMEDAL SUB SUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”** presentado por el autor: **MOGOLLON VIZUETA, Cristhian Juan**, cuyo docente asesor es: **Mg. ESPINOZA QUISPE, Carlos Enrique**. Con la finalidad de obtener el **GRADO DE MAESTRO** en la mención: **PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y GESTIÓN EN INGENIERÍA DE PROYECTOS** el Repositorio Institucional hace saber que **es una obra original** y no ha sido presentado ni publicado en otras revistas científicas nacionales e internacionales ni en sitio o portal electrónico.

Por tanto, basándonos en el cumplimiento del Art.7 inciso b) del Reglamento del Software Anti plagio de la UNH y su Directiva, el área de Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica dictamina que este trabajo de investigación fue analizado por el software anti plagio UNICHECK y al estar dentro de los parámetros establecidos, esta investigación es **aceptado como original**.

ORIGINALIDAD	SIMILITUD
82.5 %	17.5 %

ADJUNTO:

- ✓ Captura de pantalla de la revisión del trabajo de investigación en el software anti plagio - UNICHECK.

El presente Certificado se expide el 16 de diciembre del año 2020.



N° 092-2020

Nombre del usuario:
Carlos Espinoza Quispe

Fecha de comprobación:
09.12.2020 11:09:11 -05

Fecha del Informe:
09.12.2020 12:07:11 -05

ID de Comprobación:
34977076

Tipo de comprobación:
Doc vs Internet + Library

ID de Usuario:
110044

Nombre de archivo: **INFORME DE TESIS CRISTHIAN MOGOLLON 04 12**

Recuento de páginas: **168** Recuento de palabras: **36654** Recuento de caracteres: **247345** Tamaño de archivo: **8.30 MB** ID de archivo: **45172628**

17.5% de Coincidencias

La coincidencia más alta: **2.36%** con la fuente de Internet (<http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2469/TESIS-2018-..>)

16.6% Fuentes de Internet 801 Página 170

3.09% Fuentes de Biblioteca 182 Página 182

0% de Citas

Exclusión de citas está deshabilitada

Exclusión de referencias está deshabilitada

0% de Exclusiones

No hay exclusiones

Anexo 10. Evidencias fotográficas



Procedimiento constructivo del sistema multifase



Sistema multifase en funcionamiento con vegetación local

Anexo 11. Prueba de normalidad de datos

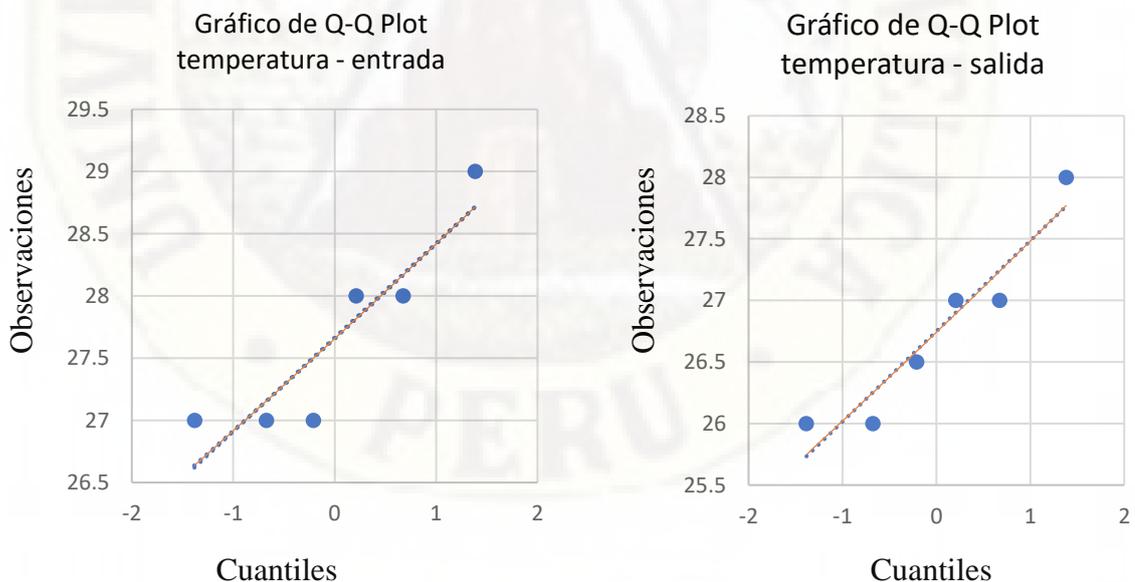
Para proporcionar información con altas bases de confiabilidad de la normalidad de datos se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk, con el objeto de comprobar si los datos están modelados por una distribución normal, fijándose un α del 5%.

Se utilizó la herramienta estadística excel – complementos – Test de Shapiro – Wilk y se obtuvo los siguientes resultados:

1. Prueba de normalidad de datos parámetro temperatura: entrada y salida del sistema

	TEMPERATURA ENTRADA (E)		TEMPERATURA SALIDA (S)
W-stat	0.82161556	W-stat	0.90247513
<u>p-value</u>	<u>0.09113502</u>	<u>p-value</u>	<u>0.38876697</u>
alpha	0.05	alpha	0.05
<u>normal</u>	<u>yes</u>	<u>normal</u>	<u>yes</u>

Nota. Se observó que los valores de “p-value” en el parámetro de Temperatura es mayor a 0.05, tanto en los valores de entrada como en la salida, por lo que se determinó que los datos se ajustan a una distribución normal.

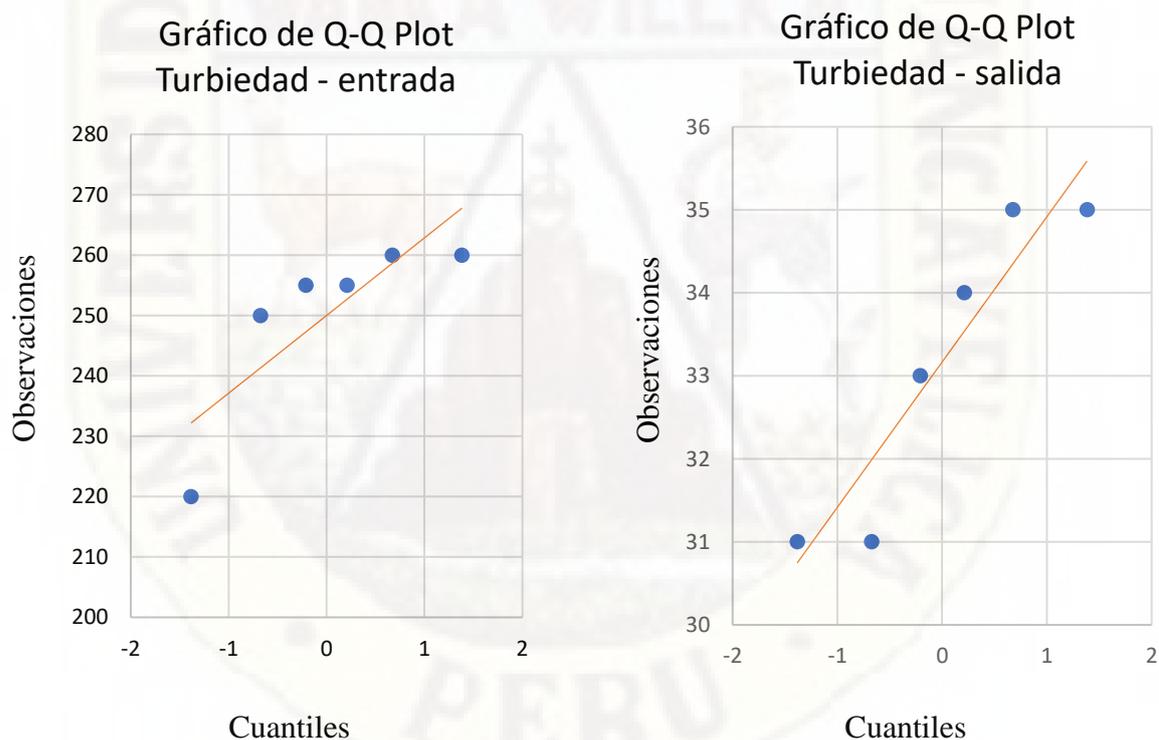


Nota. En los gráficos Q-Q Plot se observa que los datos tanto en la entrada como en la salida del sistema se ubican cerca de la línea de color rojo, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

2. Prueba de normalidad de datos parámetro turbiedad: entrada y salida del istema multifase

Shapiro-Wilk Test		Shapiro-Wilk Test	
TURBIEDAD ENTRADA (E)		TURBIEDAD SALIDA (S)	
W-stat	0.8810904	W-stat	0.85015801
p-value	0.31428141	p-value	0.15786944
alpha	0.05	alpha	0.05
normal	yes	normal	yes

Nota. Se observó que los valores de “p-value” en el parámetro de Turbiedad es mayor a 0.05, tanto en los valores de entrada como en la salida, por lo que se determinó que los datos se ajustan a una distribución normal.

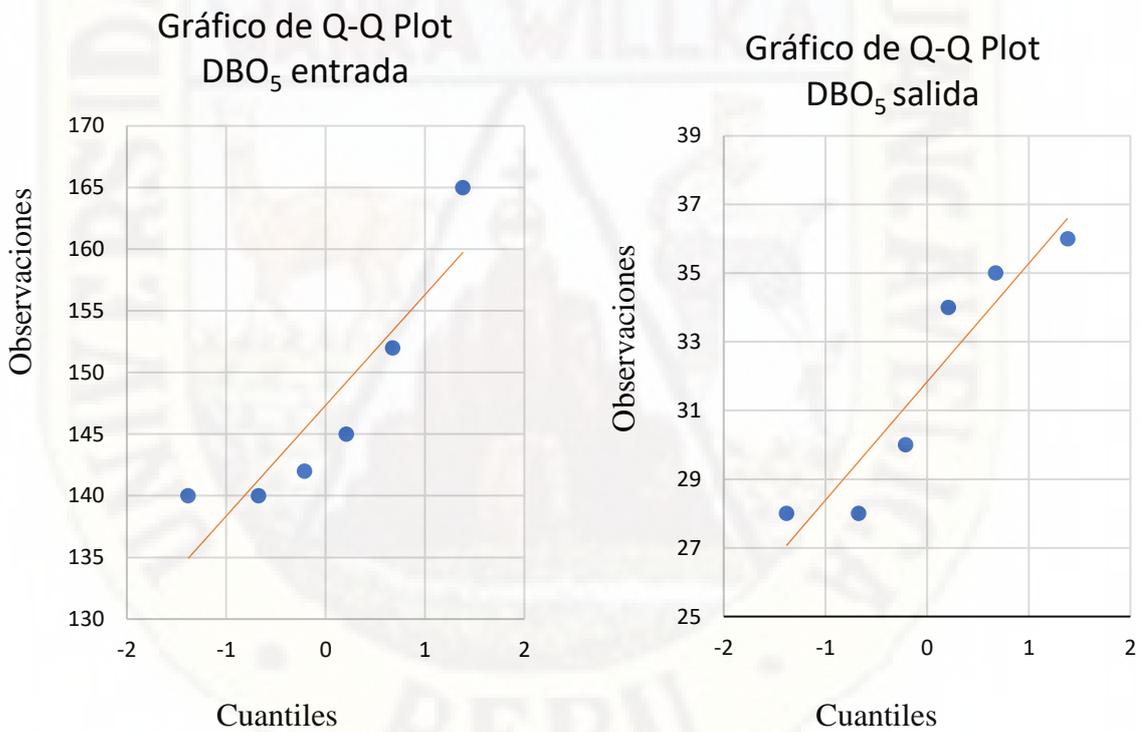


Nota. En los gráficos Q-Q Plot se observa que los datos tanto en la entrada como en la salida del sistema se ubican cerca de la línea de color rojo, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

3. Prueba de normalidad de datos parámetro DBO₅ : entrada y salida del sistema multifase

Shapiro-Wilk Test		Shapiro-Wilk Test	
DBO ₅		DBO ₅	
ENTRADA (E)		SALIDA (S)	
W-stat	0.817087708	W-stat	0.85878614
p-value	0.083262723	p-value	0.18504042
alpha	0.05	alpha	0.05
normal	yes	normal	yes

Nota. Se observó que los valores de “p-value” en el parámetro de DBO₅ es mayor a 0.05, tanto en los valores de entrada como en la salida, por lo que se determinó que los datos se ajustan a una distribución normal.

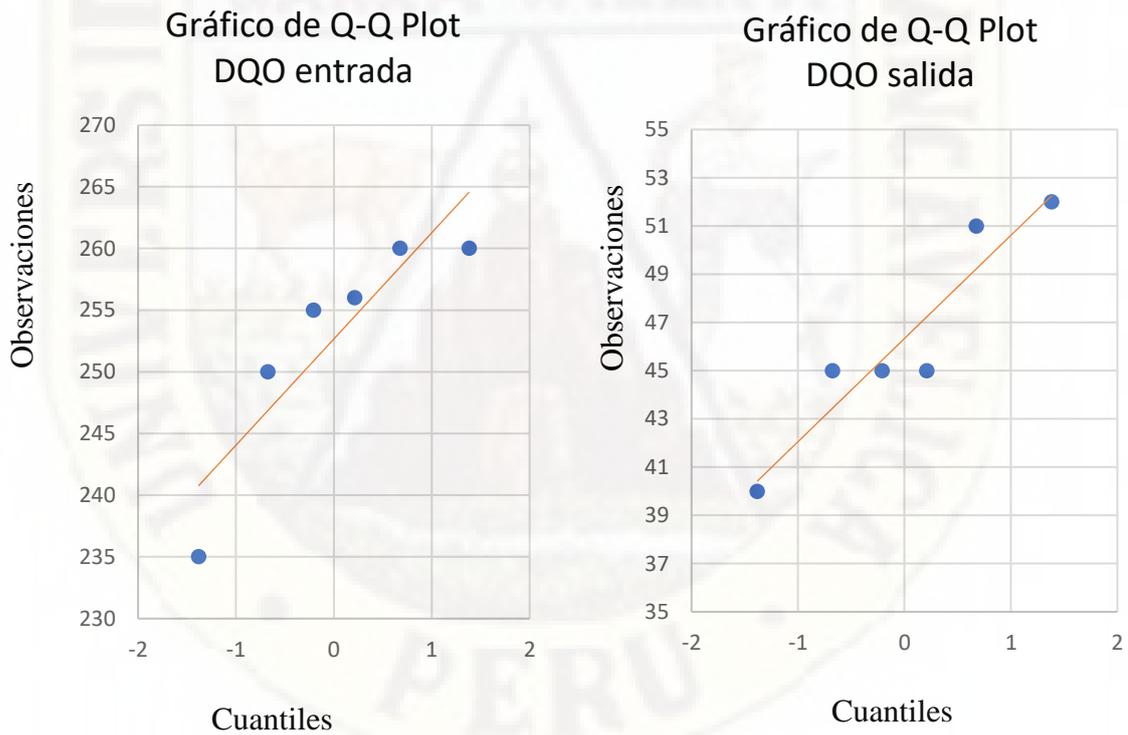


Nota. En los gráficos Q-Q Plot se observa que los datos tanto en la entrada como en la salida del sistema se ubican cerca de la línea de color rojo, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

4. Prueba de normalidad de datos parámetro DQO: entrada y salida del sistema multifase

Shapiro-Wilk Test		Shapiro-Wilk Test	
ENTRADA (E)		SALIDA (S)	
W-stat	0.896458257	W-stat	0.87896606
p-value	0.390621078	p-value	0.30465193
alpha	0.05	alpha	0.05
normal	yes	normal	yes

Nota. Se observó que los valores de “p-value” en el parámetro de DQO es mayor a 0.05, tanto en los valores de entrada como en la salida, por lo que se determinó que los datos se ajustan a una distribución normal.



Nota. En los gráficos Q-Q Plot se observa que los datos tanto en la entrada como en la salida del sistema se ubican cerca de la línea de color rojo, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

5. Prueba de normalidad de datos parámetro coliformes termotolerantes – entrada y salida del sistema multifase

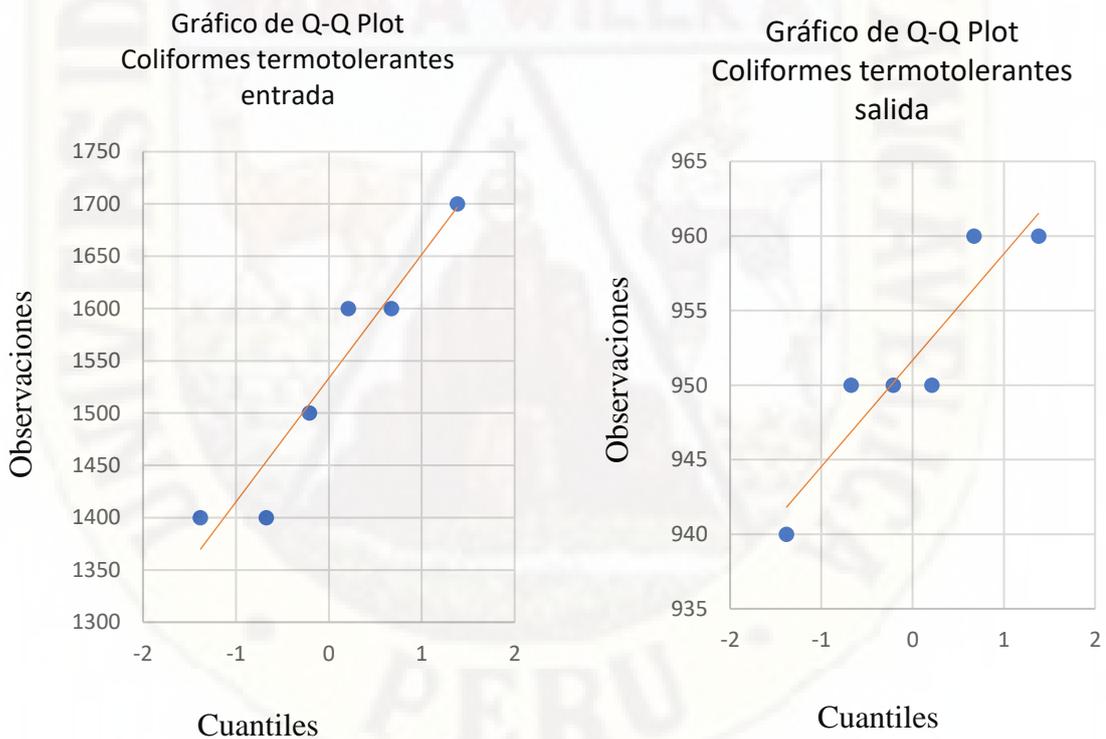
Shapiro-Wilk Test

<i>ENTRADA (E)</i>	
W-stat	0.90669985
p-value	0.41504353
alpha	0.05
normal	yes

Shapiro-Wilk Test

<i>SALIDA (S)</i>	
W-stat	0.86626155
p-value	0.21170548
alpha	0.05
normal	yes

Nota. Se observó que los valores de “p-value” en el parámetro de Coliformes termotolerantes es mayor a 0.05, tanto en los valores de entrada como en la salida, por lo que se determinó que los datos se ajustan a una distribución normal.



Nota. En los gráficos Q-Q Plot se observa que los datos tanto en la entrada como en la salida del sistema se ubican cerca de la línea de color rojo, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

6. Prueba de normalidad de datos parámetro coliformes termotolerantes – entrada y salida del sistema multifase

Shapiro-Wilk Test

ENTRADA (E)	
W-stat	0.86626155
p-value	0.21170548
alpha	0.05
normal	yes

Shapiro-Wilk Test

SALIDA (S)	
W-stat	0.90822458
p-value	0.42481956
alpha	0.05
normal	yes

Nota. Se observó que los valores de “p-value” en el parámetro de pH es mayor a 0.05, tanto en los valores de entrada como en la salida, por lo que se determinó que los datos se ajustan a una distribución normal.

Gráfico de Q-Q Plot
pH entrada

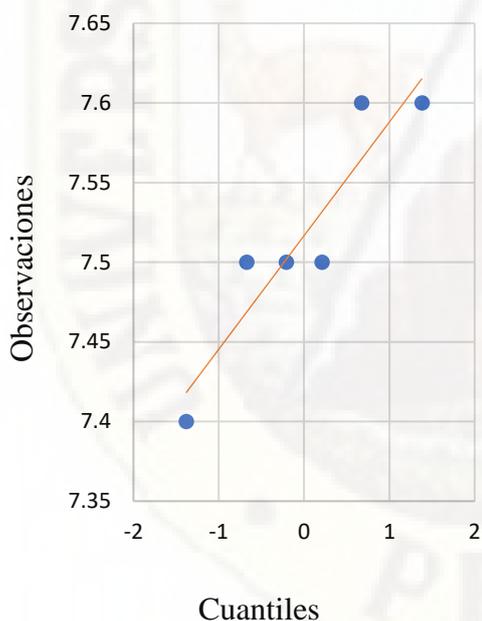
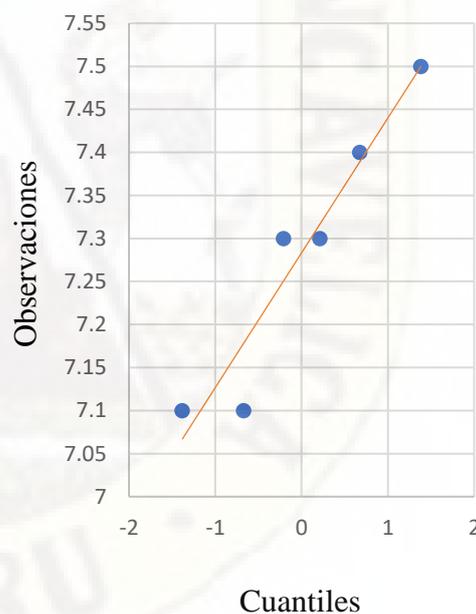


Gráfico de Q-Q Plot
pH salida



Nota. En los gráficos Q-Q Plot se observa que los datos tanto en la entrada como en la salida del sistema se ubican cerca de la línea de color rojo, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.