



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



### **[Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)**

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

**“Alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021”**

Presentado por:

**GUTIERREZ VELASQUEZ, MISAEL**

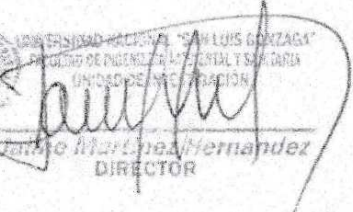
ROL DEL AUTOR del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es PORCENTAJE DE SIMILITUD del 5% por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 04 de Octubre de 2021

  
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
UNIDAD DE EVALUACION  
Dr. Jaime Martínez Hernández  
DIRECTOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**



**TESIS**

**Alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante  
humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola, Lucanas,  
Ayacucho, 2021**

**Línea de Investigación Institucional:**

**Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles**

**Presentado por:**

**BACH. GUTIERREZ VELASQUEZ, MISAEL**

**ICA – PERÚ**

**2022**

**TESIS:**

**Alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante  
humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola, Lucanas,  
Ayacucho, 2021**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles**

**AUTOR:**

**BACH. GUTIERREZ VELASQUEZ, MISAEL**

**ASESOR:**

**Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA**

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a mi **madre Candelaria Velásquez Espinoza** por su inmenso amor y que me guió mis pasos con sus buenos ejemplos, a mi **hermano Alexis Manchego Velásquez** por brindarme los consejos, A mis familiares quienes siempre estuvieron pendientes para darme fuerzas que alguna vez hubo muchos obstáculos que se presentaron en mi camino y espero que estén muy orgullosos de mí*

## **AGRADECIMIENTO**

*De todo corazón **agradezco a Dios**, por tener a mi familia cerca en tiempos muy difíciles de la pandemia y por poner personas honestas, que muchos de ellos me ofrecieron su apoyo incondicional durante todo este proceso, así mismo depositaron su confianza en cada momento y quienes me dieron fuerzas para lograr el trabajo de investigación.*

*Mi especial gratitud mi **Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria**, que me acogió durante todo el tiempo de estudiante y a mis maestros por todo el compromiso que pusieron y me brindaron las enseñanzas para lograr este objetivo.*

*Mi especial agradecimiento a mi asesor **Dr. Pedro Córdova Mendoza**, por sus enseñanzas, conocimientos compartidos y sus grandes consejos, para poder encaminarme, pensar nunca darme por vencido y tener la fe intacta en mí mismo*

## INDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>x</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>xi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Situación problemática.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Antecedentes del problema.....</b>	<b>13</b>
1.2.1. Antecedentes Internacionales .....	13
1.2.2. Antecedentes nacionales.....	13
1.2.3. Antecedentes locales .....	14
<b>1.3. Bases teóricas.....</b>	<b>14</b>
1.3.1. Tratamiento Terciario de las Aguas Residuales .....	14
1.3.2. Humedales artificiales .....	15
1.3.3. “Principios del tratamiento de los Humedales Artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS)” .....	15
1.3.4. “Los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS)” .....	17
1.3.5. Reutilización de las aguas residuales.....	18
1.3.6. Reúso agrícola.....	19
1.3.7. Aspectos del reúso.....	19
1.3.8. Tipos de humedales .....	20
1.3.9. “Especies de vegetación”.....	20
<b>1.4. Formulación del problema general .....</b>	<b>22</b>
1.4.1. Problema general.....	22
1.4.2. Problemas específicos.....	22
<b>1.5. Objetivos de investigación .....</b>	<b>22</b>
1.5.1. Objetivo principal.....	22
1.5.2. Objetivos Específicos .....	22
<b>1.6. Hipótesis de investigación.....</b>	<b>23</b>
1.6.1. Hipótesis principal .....	23
1.6.2. Hipótesis Específica .....	23
<b>1.7. Variables .....</b>	<b>23</b>
1.7.1. Variable independiente.....	23
1.7.2. Variable Independiente .....	24
1.7.3. Variable interviniente.....	24
1.7.4. Operacionalización de variables .....	25
<b>1.8. Justificación e Importancia de Investigación.....</b>	<b>26</b>
1.8.1. Justificación.....	26
1.8.2. Importancia.....	27

<b>1.9. Marco conceptual .....</b>	<b>27</b>
1.9.1. Aguas residuales domesticas .....	27
1.9.2. Aguas residuales municipales.....	27
1.9.3. Aguas residuales industriales .....	27
1.9.4. Características físicas de las aguas residuales .....	28
1.9.5. Características químicas de las aguas residuales .....	28
1.9.6. Características biológicas de las aguas residuales .....	28
1.9.7. Grado de tratamiento de las aguas residuales .....	29
1.9.8. Aguas negras. ....	29
1.9.9. Aguas grises. ....	29
1.9.10. Aguas residuales .....	29
1.9.11. Aguas servidas.....	30
1.9.12. Aguas de infiltración.....	30
1.9.13. Afluente o tributario.....	30
<b>II. ESTRATEGIA METODOLOGICA .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1 Ubicación del lugar de la investigación .....</b>	<b>31</b>
2.1.1. Ubicación política .....	31
2.1.2. “Ubicación geográfica.....	33
2.1.3. “Ubicación Ecológica”.....	33
<b>2.2 Procedimiento - humedal de flujo subsuperficial .....</b>	<b>34</b>
2.2.1. “Modelo general de diseño” .....	34
<b>2.3 Metodología de la investigación.....</b>	<b>37</b>
2.3.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación .....	37
2.3.2. Población y muestra.....	37
<b>2.4 Procedimiento de la metodología general .....</b>	<b>38</b>
2.4.1. Técnica de recopilación de información y datos.....	38
2.4.2. Instrumentos de recolección de datos .....	38
2.4.3. Técnicas de procesamiento de datos .....	39
2.4.4. Análisis e interpretación de los datos .....	39
<b>2.5 Marco legal .....</b>	<b>40</b>
2.5.1. La Constitución Política de 1993.....	40
2.5.2. “Ley N°28611: Ley general del ambiente” .....	40
2.5.3. Calidad de agua para reúso (Criterio de riesgo para la salud) .....	41
2.5.4. Autoridad Nacional de Agua (ANA) .....	42
2.5.5. Ley de Recursos Hídricos,.....	42
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
3.1. Tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola. ....	43
3.2. Tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial de la calidad ambiental de agua .....	49
3.3. Prueba presuntiva del agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial en el reúso agrícola.....	54
3.4. Prueba confirmativa del agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial en el reúso agrícola. ....	58

<b>IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>62</b>
4.1. Discusión de resultados del tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola.....	62
4.2. Discusión de resultados del tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial la calidad ambiental de agua .....	62
4.3. Discusión de resultados de la prueba presuntiva del agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial en el reúso agrícola .....	63
4.4. Discusión de resultados de la prueba confirmativa del agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial en el reúso agrícola .....	63
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>64</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>65</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>66</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>72</b>
ANEXO 1 .....	73
ANEXO 2 .....	74

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> “Lista de contaminantes removidos en los procesos HHAA FSS” .....	16
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de variables.....	25
<b>Tabla 3</b> “Características típicas de los medios para humedales” .....	36
<b>Tabla 4</b> “Construcción de un HHAA FSS mediante la utilización de vegetación herbácea” ....	37
<b>Tabla 5</b> “Análisis de varianza (ANOVA)” .....	40
<b>Tabla 6</b> Reducción de DBO5 como función del tiempo de retención y temperatura .....	45
<b>Tabla 7</b> Caudal promedio (Q) .....	45
<b>Tabla 8</b> “Datos iniciales necesarios para implementación y diseño” .....	47
<b>Tabla 9</b> “Planta acuática emergente utilizada en tratamiento de aguas residuales”[48].....	48
<b>Tabla 10</b> “Datos iniciales necesarios para implementación y diseño” .....	48
<b>Tabla 11</b> Análisis del agua residual “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM” GVMAR-1	49
<b>Tabla 12</b> Análisis del agua residual “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM” GVMAR	-250
<b>Tabla 13</b> Análisis del agua residual “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM” GVMAR	-350
<b>Tabla 14</b> Análisis del agua residual “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM” GVMAR	-451
<b>Tabla 15</b> Análisis del agua residual “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM” GVMAR	-551
<b>Tabla 16</b> Análisis del agua residual “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM” GVMAR	-651
<b>Tabla 17</b> pH .....	54
<b>Tabla 18</b> Temperatura .....	55
<b>Tabla 19</b> DQO .....	58
<b>Tabla 20</b> Solidos suspendidos totales.....	58
<b>Tabla 21</b> Coliformes termotolerantes .....	59

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> “Reciclaje y reúso de agua” [22].....	18
<b>Figura 2</b> “Esquema de la sección transversal del humedal de flujo horizontal (HFH)” [21] .....	20
<b>Figura 3</b> “Esquema de la sección transversal del humedal de flujo vertical (HFV)” [21] .....	20
<b>Figura 4</b> “Grado de remoción en cada tratamiento”[24] .....	29
<b>Figura 5</b> Lugar donde se instaló el humedal de flujo subsuperficial - Distrito Lucanas .....	31
<b>Figura 6</b> Humedal de flujo subsuperficial - Distrito Lucanas.....	32
<b>Figura 7</b> Piscina - Humedal de flujo subsuperficial - Distrito Lucanas .....	32
<b>Figura 8</b> Ubicación geográfica de la provincia de Lucanas – Departamento de Ayacucho .....	33
<b>Figura 9</b> Ubicación geográfica de la provincia de Lucanas – Departamento de Ayacucho .....	33
<b>Figura 10</b> Piscina - Humedal de flujo subsuperficial .....	44
<b>Figura 11</b> La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) en la provincia de Lucanas.....	46
<b>Figura 12</b> Distribución de t-Student para la demanda bioquímica de oxígeno.....	54
<b>Figura 13</b> Distribución de t-Student para la temperatura .....	57

## RESUMEN

**Objetivo**, fue proponer la alternativa de “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial (HH-FSS)” que permite una mejor eficiencia para reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho. **Material y Métodos** el estudio realizado de tipo observacional-prospectivo-longitudinal, nivel descriptivo, diseño experimental, la investigación aplicada. **Resultados**, para tal efecto se cuenta como factor limitante el DBO<sub>5</sub>, el afluente de aguas residuales del tratamiento terciario de 80 mg/l, el “diseño hidráulico” de 10 mg/L a la salida del humedal de flujo subsuperficial, caudal de 7.8 m<sup>3</sup>/día, la temperatura promedio de 10°C, área superficial 370,6 m<sup>2</sup>, “tiempo de retención hidráulica” 4,51 días, ancho de la celda unitaria del humedal 9.60 m y el largo del humedal 38.50 m. **Discusión**, Se planteo la hipótesis para tratamientos: GVMAR -1, GVMAR -2, GVMAR -3, GVMAR -4, GVMAR -5 y GVMAR -6, se analizó para la “demanda bioquímica de oxígeno”, con el estadístico de distribución de “t-student”, nivel de confianza 95%, “grados de libertad” 5, se encontró fuera de la zona de rechazo  $t_{\text{Experimental}} (-15.7251)$ . El parámetro temperatura T-GVM se encontró fuera de zona de rechazo  $t_{\text{Experimental}} (-6.1237)$ . El parámetro coliforme termoestables CT-GVM con el estadístico de normalidad Shapiro Wilks, se encontró fuera de zona de rechazo  $W_{\text{Experimental}} (0.9292)$ . El sistema (HH-FSS) influye significativamente en las variables de estudio. **Conclusión**, la descarga del efluente de aguas residuales del (HH-FSS) es aprovechado en beneficio de la agricultura como agua residual para reúso agrícola, cumple con la normativa y se busca contribuir en la mejora del medio ambiente, como lo establece los “Objetivos de Desarrollo del Milenio – ODM”.

**Palabras Claves:** *“Humedal de flujo subsuperficial”, “agua residual”, reúso agrícola.*

## SUMMARY

**Objective** was to propose the alternative of "tertiary wastewater treatment through subsurface flow wetland (HH-FSS)" that allows better efficiency for agricultural reuse, Lucanas, Ayacucho. **Material and Methods** the observational-prospective-longitudinal study, descriptive level, experimental design, applied research. **Results**, for this purpose, BOD<sub>5</sub>, the tertiary treatment wastewater influent of 80 mg/l, the "hydraulic design" of 10 mg/l at the outlet of the subsurface flow wetland, flow rate of 7.8 m<sup>3</sup>, is counted as a limiting factor. /day, average temperature of 10°C, surface area 370.6 m<sup>2</sup>, "hydraulic retention time" 4.51 days, width of the wetland unit cell 9.60 m and length of the wetland 38.50 m. **Discussion**, The hypothesis for treatments was proposed: GVMAR -1, GVMAR -2, GVMAR -3, GVMAR -4, GVMAR -5 and GVMAR -6, it was analyzed for the "biochemical oxygen demand", with the distribution statistic of "t-student", confidence level 95%, "degrees of freedom" 5, was outside the rejection zone t<sub>Experimental</sub> (-15.7251). The temperature parameter T-GVM was outside the rejection zone t<sub>Experimental</sub> (-6.1237). The thermostable coliform parameter CT-GVM with the Shapiro Wilks normality statistic was outside the W<sub>Experimental</sub> rejection zone (0.9292). The system (HH-FSS) significantly influences the study variables. **Conclusion**, the discharge of the wastewater effluent from the (HH-FSS) is used for the benefit of agriculture as wastewater for agricultural reuse, complies with the regulations and seeks to contribute to the improvement of the environment, as established by the "Objectives Millennium Development Goals – MDGs".

**Keywords:** "Subsurface flow wetland", "wastewater", agricultural reuse

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Situación problemática

Según, *Takeuchi & Tanaka*, “La reutilización del agua puede ser una opción eficaz en todo el mundo para ahorrar recursos hídricos, reducir los impactos ambientales de la descarga de aguas residuales tratadas y reducir el costo y la energía involucrados en la gestión de los recursos hídricos” [1]. Además, *Chung et al.*, “Las tecnologías para producir agua limpia y energía limpia han recibido atención mundial debido a la escasez de agua, el agotamiento de los recursos y el calentamiento global” [2]. Contribuye, *Sikosana et al.*, “Los efluentes recuperados de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales tienen el potencial de convertirse en productores netos de energía renovable, convirtiendo los contaminantes orgánicos de las aguas residuales municipales crudas en un portador de energía útil” [3]. Continúa, *Sikosana et al.*, “Las aguas residuales municipales son el tipo más abundante de aguas residuales que se incluyen en la categoría de corrientes residuales de baja concentración, caracterizadas por una baja concentración orgánica y un alto contenido de materia orgánica particulada” [3]. Los organismos internacionales están dedicados a combatir el calentamiento global, el mundo está tomando conciencia de esta realidad que vive el planeta tierra y que centran sus investigaciones en la reducción de desechos, por lo tanto, están implementando regulaciones más severas sobre la descarga de contaminantes. El cumplimiento de las normalizaciones ambientales no debe permitir generar costos adicionales, sino por el contrario que estos activos proporcionen una fuente secundaria de ingreso.

Según, *Miranda*, “Las diferentes plantas de tratamiento para aguas residuales domésticas diseñadas y construidas en nuestro medio, anaeróbicas o aeróbicas, remueven especialmente: sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO)” [4]. Continúa, *Miranda*, “Estas carecen de una alta eficiencia en la remoción de nutrientes, debido a que el proceso de desnitrificación eleva los costos de la planta de tratamiento” [4]. También, *Miranda*,

“Sin embargo, en el caso de los humedales de flujo subsuperficial contribuyen altamente en la reducción de nutrientes presentes en las aguas residuales, por medio de la raíz y microorganismos que permiten la descomposición de la materia orgánica” [4]. y *Miranda*, “mejoran la calidad de agua en el humedal; de manera que su implementación contribuye a la conservación de ríos y lagos” [4].

## 1.2. Antecedentes del problema

### 1.2.1. Antecedentes Internacionales

Según, *Wu et al.*, “En China, las aguas residuales domésticas descentralizadas en vastas aldeas, áreas residenciales dispersas y de servicio de autopistas estaban, en la mayoría de los casos, más allá de la cobertura de los principales sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales” [5]. Los investigadores, *Zhang et al.; Ye & Li*, “A menudo se recolectaban de manera deficiente y se descargaban directamente, lo que amenaza enormemente el medio ambiente natural” [6], [7]. Continua, *Wu et al.*, “Los humedales artificiales (AAC) han sido reconocidos durante mucho tiempo como una tecnología prometedora para el tratamiento in situ de aguas residuales domésticas descentralizadas debido a su fácil manejo y mantenimiento” [5].

Varios investigadores, *Truu et al., Lu et al., Lu et al., Lu et al. & Huang et al.*, “Al igual que las marismas, los humedales artificiales son sistemas controlados y construidos artificialmente que reciben aguas residuales y lodos” [8], [9], [10], [11], [12]. Según, *Lu et al.*, “Con los efectos sinérgicos físicos, químicos y biológicos del ecosistema complejo de ‘planta, matriz e microorganismo’ de un humedal artificial, se utiliza para tratar las aguas residuales con una alta eficiencia” [13].

### 1.2.2. Antecedentes nacionales

Según, *Cedron*, “Al procesar las aguas residuales que permita minimizar la complejidad de la operación y mantenimiento de la planta, como la reutilización de las aguas agrícolas, producción de gas y abonos de ese modo contribuir a mitigar el impacto ambiental” [14]. También, *Martínez*, “La

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín, en cada punto de muestreo (P1 y P2) se midieron los parámetros ya descritos, tomando en total 2 muestras para cada parámetro. (P1 – Influyente y P2 – Efluente)” [15].

Según, *López & Herrera*, “Propuso dos sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales para reúso en riego de parques y jardines en el Distrito La Esperanza, alternativa 1: Mediante lagunas facultativas y alternativa 2: Mediante planta de tratamiento mediante lodos activados” [16]. Continua, *Ferrer-Sánchez et al.*, “Que los humedales son zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio, la vida vegetal y animal relacionada con él, la demanda bioquímica de oxígeno, usa como una medida la cantidad de oxígeno requerido” [17].

### **1.2.3. Antecedentes locales**

Se ha revisado la bibliografía en relación al tema de investigación y no se ha encontrado investigación al respecto.

## **1.3. Bases teóricas**

### **1.3.1. Tratamiento Terciario de las “Aguas Residuales”**

Según, *Adminmgv*, “Las lagunas de maduración o pulimento, en general prosiguen de un proceso de laguna facultativa primaria o secundaria, están diseñadas principalmente para el tratamiento terciario, es decir, la eliminación de patógenos, nutrientes y posiblemente algas” [18]. Además, *Adminmgv*, “Forman parte de las lagunas de oxidación o estabilización, tiene características y procesos de construcción similares, las lagunas de maduración actúan como un amortiguador en caso de falla en el proceso anterior, son útiles para la eliminación de nutrientes” [18].

### 1.3.2. Humedales artificiales

*EPA*, “Está diseñado para tratamiento de agua residual, o su fase final de tratamiento, construido típicamente en forma de lecho o canal que contiene un medio apropiado, nivel del agua, por diseño, debe estar por debajo de la superficie del medio” [18].

*EPA*, El humedal de flujo subsuperficial se fundamenta en “tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos; el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para los vegetales, además de servir como material filtrante” [18].

### 1.3.3. “Principios del tratamiento de los Humedales Artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS)”

*Rustige & Platzer*, “Los humedales artificiales son generalmente diseñados para la eliminación de los siguientes contaminantes en aguas residuales:

- Sólidos suspendidos (SS)
- Materia Orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO)
- Nutrientes (nitrógeno y fósforo)”[19].

“Los HHAA son referidos a menudo como sistemas simples de baja tecnología, pero los procesos implicados en este tratamiento están en realidad muy lejos de ser simples. Se tienen alrededor de ocho componentes en el lecho del filtro:”[19].

1. “Sedimentación / lecho de arena
2. Zona de Radicular / poro de agua
3. Basura / restos
4. Agua
5. Aire
6. Plantas
7. Raíces
8. Biofilms: bacterias que crecen en la arena y están ligadas a las raíces” [19].

...El proceso de tratamiento en el lecho de los HHAA es el resultado de complejas interacciones entre todos estos componentes. Debido a estos componentes los humedales artificiales (HA) tienen diferentes espacios con condiciones redox que desencadenan la degradación y reducción de los diversos procesos. [19].

**TABLA 1**  
**“LISTA DE CONTAMINANTES REMOVIDOS EN LOS PROCESOS HHAA FSS”**

<b>Contaminantes</b>	<b>Procesos Removidos</b>
Materia orgánica (MO) (medida como DBO5 o DQO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Partículas de MO son eliminadas por la solución o filtración, luego convertidas a DBO5 soluble</li> <li>▪ La MO soluble es fijada por el biofilm y removida debido a la degradación de las bacterias adheridas (biofilms de tallos, raíces, partículas de arena etc.).</li> </ul>
Sólidos suspendidos totales (SST)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sedimentación y filtración</li> <li>▪ Descomposición debido a las bacterias especializadas del suelo durante los largos tiempos de retención</li> </ul>
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nitrificación/Desnitrificación por el biofilm</li> <li>▪ Absorción de las plantas (influencia limitada)</li> </ul>
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Retención en el suelo (adsorción)</li> <li>▪ Precipitación con Ca, Al y Fe</li> <li>▪ Absorción de las plantas (influencia limitada)</li> </ul>
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sedimentación y filtración</li> <li>▪ Absorción</li> <li>▪ Depredación por protozoarios</li> <li>▪ Eliminación de las bacterias por las condiciones ambientales desfavorables (pH y temperatura)</li> </ul>
Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Precipitación y adsorción</li> <li>▪ Absorción de las plantas (influencia limitada)</li> </ul>
Contaminantes orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adsorción por el biofilm y partículas de arena</li> <li>▪ Descomposición debido a los largos tiempos de retención y a las bacterias especializadas del suelo (no calculable)</li> </ul>

*OMS*, “La eliminación de nutrientes no siempre es necesaria, especialmente cuando el agua tratada será reutilizada para fines de riego los nutrientes de las aguas residuales pueden ser utilizados como fertilizante”[20].

#### 1.3.4. “Los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS)”

Según, *Hoffmann & Platzer*, HHAA FSS “están diseñados para mantener el nivel de agua totalmente por debajo de la superficie. Por esto a diferencia de los humedales de flujo superficial (HHAA FSS), este no tiene problemas de mosquitos”[21]. “La arena gruesa contribuye a los procesos de tratamiento, proporcionando el área superficial para el crecimiento microbiano y apoya los procesos de adsorción y filtración. Este efecto resulta con una menor área demanda y generalmente con un resultado mejor que los HHAA FSS”[21].

“Entre los HHAA FSS existe una amplia gama de líneas de desarrollo:”

- “*Dirección del flujo*: flujo horizontal”,
- “*Tipo de material para la filtración*: grava, arena, mezcla de arena-suelo”
- “*Datos de diseño*: Área por persona ( $m^2/pe$ ); carga orgánica ( $DBO_5$  o  $DQO/m^2.d$ ); “carga hidráulica ( $mm/d$ ); volumen de carga ( $DBO_5$  o  $DQO/m^3.d$ ), consumo entrada de oxígeno”.
- “*Tempo de retención*: no debe ser utilizado para fines de diseño. No es comúnmente aceptado el enfoque del diseño que utiliza el tiempo de retención”.

*Serapio*, “Este sistema se encarga de tratar el agua residual a medida que esta fluye lentamente a través de un medio poroso. La vegetación emergente está plantada en este lecho de grava gruesa y arena”[22].

“El lecho tiene una profundidad entre 0,45 y 1 m, y una pendiente característica entre 0 y 0,5%. A medida que circula el agua residual se produce un contacto con zonas aerobias, anoxias y anaerobias” [22].

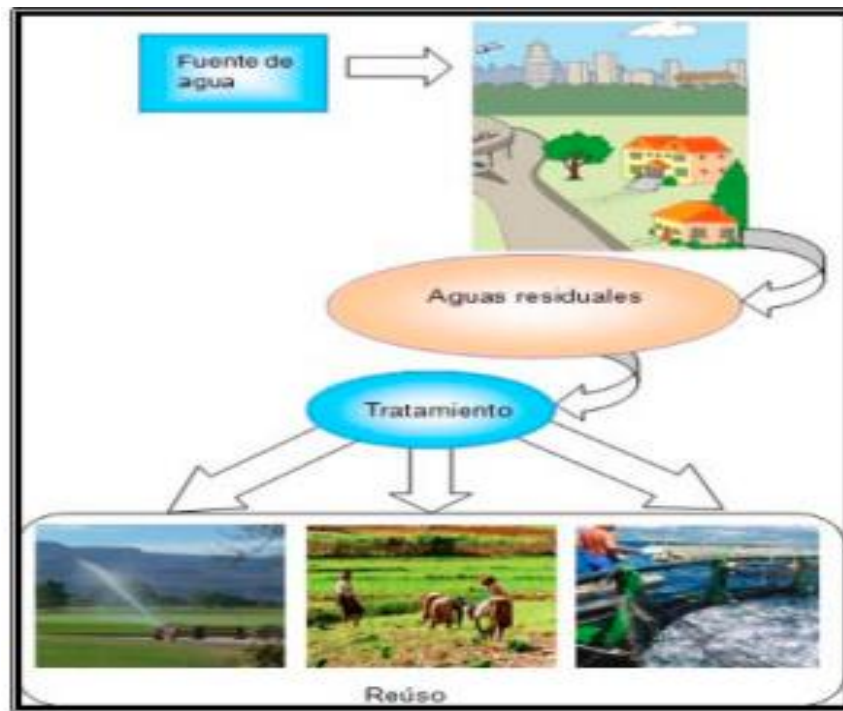
“La zona aerobia, se encuentra en la parte cercana a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Se forma entonces una biopelícula

alrededor de la grava y de las raíces de las plantas gracias a los microorganismos presentes”[22].

### 1.3.5. Reutilización de las aguas residuales

*Serapio* “La reutilización de aguas residuales urbanas, es una práctica aplicada en muchos países, de manera que hoy día este tipo de aguas ha entrado a formar parte del ciclo hidrológico y a ser consideradas como recursos hídricos alternativos”[22].

“El tratamiento de estas aguas, en sus diferentes niveles, mejora su calidad y brinda posibilidades de reúso. La reutilización de aguas en riegos tiene una doble acción, por un lado, constituye un recurso complementario del agua y por otro se convierte el suelo en un reactor que contribuye a la depuración de las aguas”[22].



*Figura 1 “Reciclaje y reúso de agua” [22]*

“Para la evaluación de la calidad de un agua residual tratada a utilizar para riego de parques y jardines no se cuentan con normas nacionales exactamente definidas para este fin. Sin embargo, se cuentan con los (ECA)” “para agua cuyos valores pueden

ser utilizados como parámetros referenciales en el reúso del agua para riego de parques y jardines”[22].

### **1.3.6. Reúso agrícola**

Según, *Rivas-Lucero et al.*, “En cuanto a la calidad de las aguas residuales con fines de riego en suelos agrícolas, existen límites máximos permisibles normativos referidos como estándares de calidad de agua (NOM-001-ECOL-1996)” [23]. Continua, *Rivas-Lucero et al.*, “Estos estándares se relacionan con lo estético y el uso del medio ambiente receptor para suministro público del agua, recreación, mantenimiento de la vida acuática y silvestre o agricultura” [23]. También, *Rivas-Lucero et al.*, “Las variables de la calidad del agua que definen los límites físicos, químicos y biológicos incluyen sólidos flotantes y sedimentables, turbidez, color, temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), número de organismos coliformes, materiales tóxicos, metales pesados, y nutrientes” [23]. También, *Ferrer-Sánchez et al.*, “Los estándares especifican la norma de cada uno de estos en la descarga, con objeto de prevenir la afectación de los cultivos y del suelo” [17].

### **1.3.7. Aspectos del reúso**

*OMS*, “Los HHAA FSS tratan las aguas residuales a un estándar apropiado para ser vertidas en otras fuentes de aguas superficiales o aptas para la reutilización en diversas aplicaciones según recomendaciones de la OMS”[20]. Según, *Hoffmann & Platzer*, sobre HHAA FSS “depende de la calidad del efluente deseado (para su disposición o reutilización). Las aguas grises que cumplen con mayor facilidad la calidad estándar de las normas no precisan de un tratamiento adicional” [21]. Además, *Hoffmann & Platzer*, “para el caso de las aguas residuales domésticas es necesario hacer un análisis de los efluentes, por razones de seguridad es necesario desinfectar (tratamiento terciario)” [21].

### 1.3.8. Tipos de humedales

*Hoffmann & Platzer*, sobre los principales tipos de humedales “varían mucho dependiendo del país y sus líneas de desarrollo. Es común que para el tratamiento de aguas residuales en HHAA FSS sean de FH (lechos de flujo horizontal, y FV (lecho de flujo vertical,), los que puede ser usado también en combinación”[21]. “Hay algunas consideraciones generales sobre la planificación y la construcción de HHAA FSS, desarrollado a lo largo de los años, pero no todos son aceptados por todos los diseñadores de planta” [21].

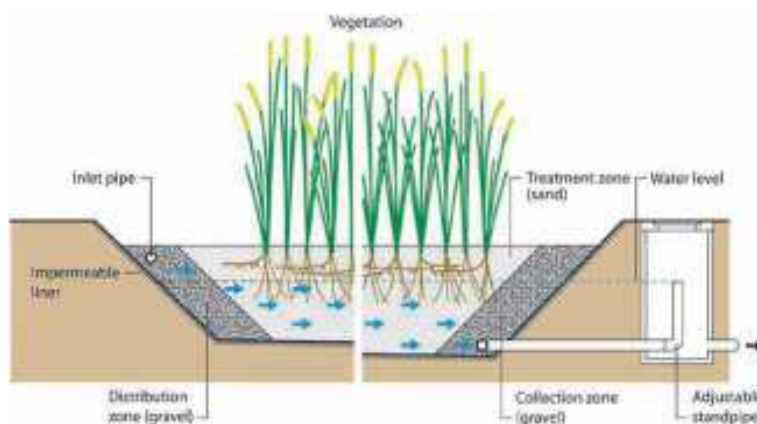


Figura 2 “Esquema de la sección transversal del humedal de flujo horizontal (HFH)” [21]

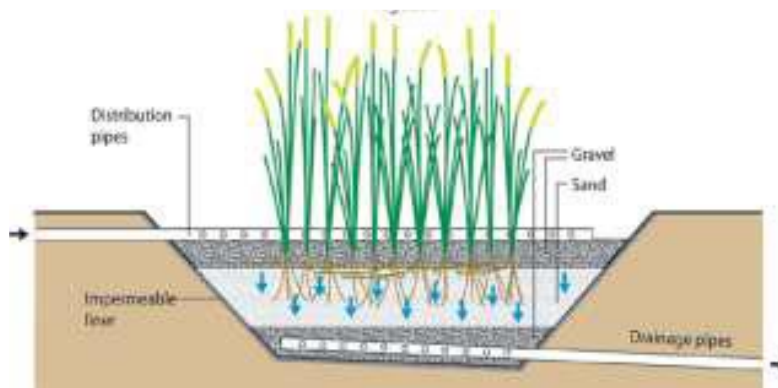


Figura 3 “Esquema de la sección transversal del humedal de flujo vertical (HFV)” [21]

### 1.3.9. “Especies de vegetación”

#### “*Echinochloa polystachya* Hitch”

*Cueva & Rivadeneira*, “*Echinochloa polystachya* pertenece a la familia de las Poaceae, subfamilia: Panicoideae, tribu: Paniceae; conocida como pasto alemán, hierba de río entre otros, es una gramínea perenne, muy robusta con

tallos erectos cuando son jóvenes y decumbentes cuando adulta, altura de 90 cm”, 2con contenido de proteína de 13,8%”[24], está distribuida en: América del Norte, Mesoamérica, Caribe, América del Sur, esta es una especie nativa de pantanos, lagos y costas de las tierras húmedas”[24].

**Cueva & Rivadeneira**, “Esta especie es permanente en humedales naturales y crecen en el agua a 30 cm de profundidad, tolera un amplio rango de la fertilidad del suelo, y pH que oscilan entre 4,0-8,0; este pasto suele plantarse de tallo o estolón esquejes (1-2 t/ha)” [24].

### ***Eriochloa polystachya* Kunth**

**Cueva & Rivadeneira**, “*Eriochloa polystachya* pertenece a la familia de las poaceae, subfamilia Panicoideae, conocida también como pasto janeiro, es una gramínea perenne, acuática o subacuática muy robusta con tallos erectos cuando son jóvenes y decumbentes cuando es adulta de hasta 1,5 m” [24], “está distribuida por toda América del Sur, América Central y parte de América del Norte, en las zonas tropicales”[24].

**Cueva & Rivadeneira**, “Es una especie perenne que se desarrolla en ambientes anegados, y no es resistente a las sequias, tiene gran adaptación a diferentes condiciones de suelo, tolera la salinidad pH ácidos” [24].

## **1.4. Formulación del problema general**

### **1.4.1. Problema general**

¿Cómo la alternativa de “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedales de flujo subsuperficial” permite una mejor eficiencia para reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021?

### **1.4.2. Problemas específicos**

**PE1:** ¿Como el “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” mejora significativamente en la calidad ambiental de agua, Lucanas, Ayacucho, 2021?

**PE2:** ¿En que medida la prueba presuntiva de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” contribuye en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021?

**PE3:** ¿Como la prueba confirmativa de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” permite una mejor eficiencia en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021?

## **1.5. Objetivos de investigación**

### **1.5.1. Objetivo principal**

Proponer la alternativa de “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” que permite una mejor eficiencia para reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

**OE1:** Analizar que el “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” mejora significativamente en la calidad ambiental de agua, Lucanas, Ayacucho, 2021.

**OE2:** Indicar que la prueba presuntiva de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” contribuye en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021.

**OE3:** Analizar que la prueba confirmativa de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” permite una mejor eficiencia en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021.

## **1.6. Hipótesis de investigación**

### **1.6.1. Hipótesis principal**

La alternativa de “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” permite una mejor eficiencia para reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021.

### **1.6.2. Hipótesis Específica.**

**HE1:** El “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” mejora significativamente en la calidad ambiental de agua, Lucanas, Ayacucho, 2021.

**HE2:** La prueba presuntiva de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” contribuye en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021.

**HE3:** La prueba confirmativa de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” permite una mejor eficiencia en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021.

## **1.7. Variables**

### **1.7.1. Variable independiente**

*Tratamiento terciario de aguas residuales.* – **Martínez**, “Sus propiedades se encuentran alteradas por el uso doméstico, industrial, agrícola u otros, así como las aguas que se evacúan junto a éstas en tiempo seco y las aguas pluviales que fluyen, se recogen de áreas edificadas y superficies urbanizadas” [15].

### 1.7.2. Variable Independiente

*Reúso agrícola.* – *Libutti et al.*, “Las aguas residuales domesticas tratadas son la fuente de agua disponible para satisfacer la creciente demanda de riego de cultivos, el reúso de las aguas residuales en la agricultura ha ganado importancia como suministro de agua para la agricultura” [25].

### 1.7.3. Variable interviniente

*Humedales de flujo subsuperficial.* – *Cueva & Rivadeneira*, “Consisten en una tecnología natural de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, la depuración se consigue gracias a varios fenómenos físicos, químicos y biológicos”[24], tanto, *Cueva & Rivadeneira*, “en el relleno solido (substratos), como en la parte del rizoma de las plantas, estas plantas macrófitas acuáticas emergentes realizan varias funciones entre las que se destacan el transporte de gases desde la atmósfera hacia los sustratos” [24].

#### 1.7.4. Operacionalización de variables

Tabla 2 Operacionalización de variables

Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
<b>VI:</b> Tratamiento terciario de aguas residuales	<i>Martínez</i> , “Sus propiedades se encuentran alteradas por el uso doméstico, industrial, agrícola u otros, así como las aguas que se evacuan junto a éstas en tiempo seco y las aguas pluviales que fluyen, se recogen de áreas edificadas y superficies urbanizadas” [15]	<b>D<sub>I,1</sub>:</b> Prueba presuntiva  <b>D<sub>I,2</sub>:</b> Prueba confirmativa	pH  Temperatura  Parámetro físico químico Coliformes termotolerantes Coliformes totales.	°C mg/l UFC/100ML UFC/100ML
<b>VD:</b> Reúso agrícola	<i>Libutti et al.</i> , “Las aguas residuales domesticas tratadas son la fuente de agua disponible para satisfacer la creciente demanda de riego de cultivos, el reúso de las aguas residuales en la agricultura ha ganado importancia como suministro de agua para la agricultura” [25].	<b>D<sub>2,1</sub>:</b> Calidad ambiental del agua	DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM:  Eficiencia de la remisión de la DBO <sub>5</sub>  Eficiencia de la remisión de coliformes	mg/l   NMP/100ml

## 1.8. Justificación e Importancia de Investigación

### 1.8.1. Justificación

Actualmente “debido al crecimiento poblacional” se ha incrementado la generación de aguas residuales, lo que ha determinado que en el campo se ingenieril diseñe y aplique alternativas eficientes y económicamente viables “para la depuración de estas aguas residuales”. Uno de “los tratamientos que tienen condiciones similares a los fenómenos que ocurren en la naturaleza, son los humedales artificiales” (HA), porque producen efluentes de buena calidad, pero también sus costos de inversión, operación y mantenimientos con mínimos y no requieren de personal muy capacitado. Los humedales artificiales, reducen la materia orgánica que es transformada y asimilada en nutrientes que retienen y/o eliminan sustancias tóxicas que de otra forma serían vertidas al ambiente.

*Crites & Tchobanoglous*, “Los principales mecanismos de remoción y transformación que ocurren dentro de los humedales artificiales de flujo subsuperficial hacia los contaminantes son la bioconversión por bacterias facultativas” [26] y “anaerobias ubicadas en toda la sección del humedal, bacterias aerobias asociadas en las raíces de las plantas y detritos de la superficie, filtración, sedimentación, nitrificación/denitrificación, asimilación vegetal, adsorción de las raíces”. “Así como también la remoción de organismos patógenos por decaimiento natural, predación y excreción de antibióticos por parte de las raíces de las plantas” [26].

Por lo tanto, para gestionar ambientalmente el tratamiento de aguas residuales, que hoy en día se está convirtiendo en pasivos ambientales porque se constituyen en focos de contaminación, la investigación propone esta alternativa de tratamiento terciario, que permitiría darle un valor agregado al agua que ha sido tratada en los sistemas convencionales y que además contribuiría a la sostenibilidad ambiental de la provincia de Lucanas, Ayacucho.

### **1.8.2. Importancia**

Una alternativa ecológica que puede ser usada eficientemente en pequeñas comunidades rurales para tratar sus aguas residuales, lo constituyen los humedales artificiales (HA). Por lo que, los HA son sistemas construidos que “pueden tratar con eficiencia niveles elevados de DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y nitrógeno”, asimismo, en estos sistemas se da la interacción entre agua, plantas, animales, microorganismo, energía solar, suelo y aire con la finalidad de optimizar la calidad del agua residual y generar beneficios ambientales como hábitat para fauna silvestre. Otra ventaja, es que, en estos HA, se pueden utilizar una gran “variedad de plantas semejantes a las que se desarrollan en las humedades naturales” y en el ámbito social beneficiara a los pequeños agricultores del distrito de Lucanas.

## **1.9. Marco conceptual**

### **1.9.1. “Aguas residuales domesticas”**

*MINAM*, “Agua de origen doméstico (viviendas), comercial e institucional, que contiene desechos fisiológicos y otros componentes provenientes de la actividad humana”[27].

### **1.9.2. “Aguas residuales municipales”**

*MINAM*, “Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado”[27].

### **1.9.3. “Aguas residuales industriales”**

*MINAM*, “Son Aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras”[27].

#### **1.9.4. “Características físicas de las aguas residuales”**

*Metcalf & Eddy*, “Las características físicas más importantes del agua residual son: el contenido total de sólidos (materia en suspensión, materia sedimentable, materia coloidal y la materia disuelta), otras características físicas importantes son el olor, color, la temperatura, la densidad y la turbiedad”[28].

#### **1.9.5. “Características químicas de las aguas residuales”**

*Metcalf & Eddy*, “El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados:

1. La materia orgánica.
2. La medición del contenido orgánico.
3. La materia inorgánica.
4. Los gases presentes en el agua residual” [28].

“El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas”[28].

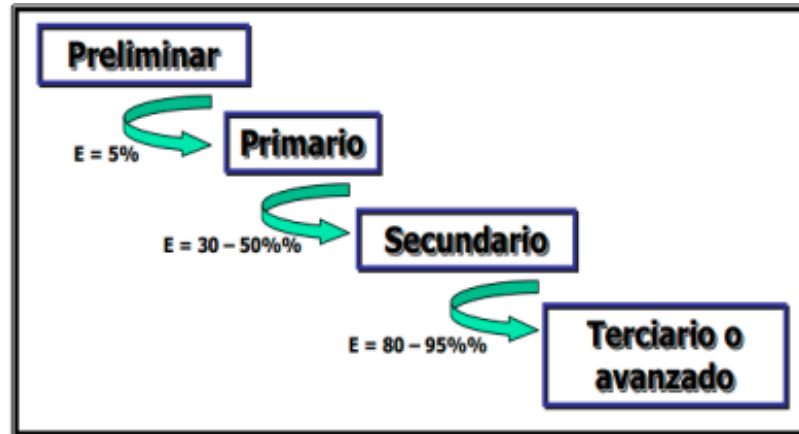
#### **1.9.6. “Características biológicas de las aguas residuales”**

*Metcalf & Eddy*, “Al hablar de las características biológicas de las aguas residuales. Se debe estar familiarizado con los siguientes temas:

- a. Principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos” [28].
- b. “Organismos patógenos presentes en las aguas residuales” [28].
- c. “Organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia”[28].

### 1.9.7. “Grado de tratamiento de las aguas residuales”

*Metcalf & Eddy*, “En atención a un orden de gradualidad, un proceso de tratamiento se puede implementar secuencialmente de la siguiente manera” [28].



*Figura 4 “Grado de remoción en cada tratamiento”[24]*

### 1.9.8. Aguas negras

*RNE*, “Agua contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos humanos, orgánicos o animales su importancia es tal manera que requiere de un sistema para poder ser desalojado y tratamiento”[29].

### 1.9.9. Aguas grises

*RNE*, “Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes biodegradables. Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto”[29].

### 1.9.10. Aguas residuales

*RNE*, “Fracción líquida que está constituida esencialmente por aguas de abastecimiento y que después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida son vertidas a un cuerpo receptor”[29].

**1.9.11. “Aguas servidas”**

*RNE*, “Provenientes de uso doméstico como pueden ser higiene personal, limpieza y lavado de cualquier índole”[29].

**1.9.12. Aguas de infiltración**

*RNE*, “Son derivadas del subsuelo, y estas pueden ser penetradas a la red de alcantarillado a través de una tubería en malas condiciones, juntas de tuberías, y por las paredes de los pozos de visita” [29].

**1.9.13. Afluente o tributario**

*RNE*, “Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento” [29].

## II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

### 2.1 Ubicación del lugar de la investigación

#### 2.1.1. Ubicación política

*INEI*, “El estudio se realizó en la provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. La provincia de Lucanas tiene una extensión de 14 494,64 km<sup>2</sup> y se encuentra dividida en veintiún distritos. La investigación se realizó en el distrito de Lucanas”[30].



*Figura 5 Lugar donde se instaló el humedal de flujo subsuperficial - Distrito Lucanas*



*Figura 6 “Humedal de flujo subsuperficial” - Distrito Lucanas*



*Figura 7 Piscina – “Humedal de flujo subsuperficial” - Distrito Lucanas*



- Temperatura: 5°C
- Precipitación: 2435 mm/año
- Superficie: Total 1205 km<sup>2</sup>
- Densidad: 3.1 hab/km<sup>2</sup>, Wikipedia”[31].

## 2.2 Procedimiento - humedal de flujo subsuperficial

### 2.2.1. “Modelo general de diseño”

*Cueva & Rivadeneira*, “Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la remoción de DBO<sub>5</sub> y nitrógeno”[24].

*Lara; Lozano et al.*, “sugieren varios diseños debido a la falta de consenso universal sobre la aproximación del diseño dando como lugar a la aplicación de las siguientes fórmulas”[32], [33].

“Ecuación básica para determinar el caudal”:

$$Q = \frac{Q_e + Q_o}{2}$$

Donde:

Q = Caudal medio del humedal en m<sup>3</sup>/día

Q<sub>e</sub> = Caudal de entrada o efluente

Q<sub>o</sub> = Caudal de salida o afluente

### “Constante de temperatura del humedal”

*Delgadillo et al.*, [34] “La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la ecuación 2”.

Ecuación 2:  $K_T = K_{20}(1.06)^{(T-20)}$

Donde:

“T = Temperatura del agua (°C)

K<sub>20</sub> = 1.2404 d<sup>-1</sup> Constante de temperatura”

### “Área superficial”

*Lara; Lozano et al.*, “sugirieron la fórmula para la obtención del caudal, se debe determinar el área superficial mediante la ecuación 3:”

$$\text{Ecuación 3: } \quad A_s = \frac{Q(\ln(BDO_5)_e - \ln(BDO_5)_s)}{K_T(h)(\eta)}$$

Donde:

“ $A_s$  = Área Superficial ( $m^2$ )

$Q$  = Caudal ( $m^3/\text{día}$ )

$\ln(DBO_5)_e$  = Concentración del contaminante al ingreso ( $mg/l$ )

$\ln(DBO_5)_s$  = Concentración del contaminante al salida ( $mg/l$ )”

“ $K_T$  = Constante de temperatura en el humedal ( $d^{-1}$ )

$h$  = Profundidad del humedal ( $m$ )

$\eta$  = Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal (porcentaje expresado en fracción)”.

### “Tiempo de retención hidráulica”

*Delgadillo et al.*, “El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. En los humedales HSS se asumen condiciones uniformes de flujo a pistón, y el flujo debe superar la resistencia por fricción, provocado por el medio, y las raíces de las plantas” [34]. “La relación largo - ancho tiene gran influencia en el régimen hidráulico como en la resistencia de flujo del sistema, esta relación para HSS no debe superar 4:1” [34].

“La retención hidráulica para alcanzar los niveles de contaminación aceptables para descargas se la consigue mediante la siguiente ecuación 4:”

$$\text{Ecuación 4: } \quad TRH = \frac{(A_s)(h)(\eta)}{Q}$$

Donde:

“ $TRH$  = Tiempo de retención hidráulica en días

$A_s$  = Área superficial

$h$  = Profundidad del humedal

$\eta =$  Porosidad del medio”

*Lara; Lozano et al.*, la “conductividad hidráulica del medio varía según los espacios vacíos de este, en el (Tabla 3) se muestran los valores estimados para algunos medios que se pueden utilizar para la construcción de HHAA FSS”.

**TABLA 3**  
**“CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS MEDIOS PARA HUMEDALES”**

<b>Tipo de material</b>	<b>Tamaño efectivo D<sub>10</sub> (mm)</b>	<b>Porosidad (%)</b>	<b>Conductividad hidráulica k, (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)</b>
<b>Arena gruesa</b>	2	28 - 32	100 – 1 000
<b>Arena gravosa</b>	8	30- 32	500 – 5 000
<b>Grava fina</b>	16	35 – 38	1 000 – 10 000
<b>Grava media</b>	32	32 – 40	10 000 – 50 000
<b>Roca gruesa</b>	128	38 – 45	50 000 – 250 000

**“Ancho del humedal”**

*Lara; Sánchez et al.*, “proponen que esta no se debe exceder en relación 4:1, y esta viene determinada por la siguiente ecuación 5:”[32], [35]

$$\text{Ecuación 5: } W = \frac{1}{h} * \sqrt{\left[ \frac{(Q)(As)}{(m)(Ks)} \right]}$$

Donde:

W = Ancho del humedal

h = Profundidad del humedal

Q = Caudal / N° de unidades

m = Pendiente del lecho

Ks = Conductividad hidráulica.

As = Área superficial/N° de unidades

“y el largo del humedal es:”

$$\text{Ecuación 6: } L = \frac{As}{W}$$

Donde:

“L = Largo del humedal

$A_S$  = Área superficial/N° de unidades

W = Ancho dl humedal”

## 2.3 Metodología de la investigación

### 2.3.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación

**Tipo** “De acuerdo al propósito de la investigación es de tipo aplicado, observacional-prospectivo-longitudinal, puesto que se aplicó conocimientos previos adquiridos de un aprendizaje teórico, además resolver problemas reales”[36].

**Nivel** “Es descriptivo, ya que se describió la variable y el fenómeno en general pero también se explicó la relación que existe entre dos variables”[37].

**“Diseño**, Para la presente investigación se aplicó un diseño completamente al azar DCA, donde el factor de estudio fueron especies de vegetación herbácea *Schonoplectus Californicus* (totora)” [36].

**Tabla 4 “Construcción de un HHAA FSS mediante la utilización de vegetación herbácea”**

“Tratamiento”	Código	Característica
T-FSS	HHAA-01	<i>Schonoplectus Californicus</i> (totora)

### 2.3.2. Población y muestra

**“Población”**: “[...] o unidad de análisis del presente trabajo de investigación constituye el tratamiento terciario de aguas residuales provenientes de lucanas, Ayacucho, que ingresan al sistema humedal de flujo subsuperficial con vegetación herbácea de código HHAA-01 con la finalidad de obtener agua residual para ser reusada en la agrícola”. [38].

**Muestra:** “Se considerará las muestras de agua tomadas en el afluente y efluente del humedal de flujo subsuperficial, construido a nivel piloto y estará ubicado en Lucanas, Ayacucho” [38].

## **2.4 Procedimiento de la metodología general**

### **2.4.1. Técnica de recopilación de información y datos**

Para tal efecto se consultaron libros y revistas científicas de la” biblioteca de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga”, utilizando la base de datos MyLOFT, con la “finalidad de obtener información” y funcionamiento sobre HHAA FSS, para el “tratamiento de aguas residuales”.

### **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

“Caracterización físico-química del agua de salida del HHAA FSS, para verificar que los valores del efluente se encuentren dentro de los límites máximos permisibles”. “Los datos serán emitidos por el laboratorio, son válidos debido a que son realizados con equipos confiables y estándares vigentes”.

#### **“Etapa 01: Gabinete inicial”**

- “Elaboración de instrumentos de recolección de datos
- Cálculo del diseño de humedal artificial a implementar”
- “Reconocimiento de la especie *Schonoplectus Californicus* (totora) a implementar
- Contacto con el laboratorio para análisis de muestras de agua
- Reconocimiento de multiparámetro para en análisis de agua in situ”[38, p.33].

#### **“Etapa 02: Campo y laboratorio”**

- “Construcción del humedal (estanque)”
- Adaptación de especie *Schonoplectus Californicus* (totora) en el lecho poroso del humedal
- Instalación de tuberías para el sistema de humedales artificiales”

- “Vertimiento de aguas residuales en el humedal artificial con diferentes tiempos de retención hidráulica
- Obtención de las muestras posterior al tiempo de retención hidráulica de 3, 6, 9 días y testigo.
- Análisis de muestras de agua en el laboratorio” [38, p.33], Baquero & Carrera.

#### **2.4.3. Técnicas de procesamiento de datos**

##### **“Etapa 03: Gabinete”**

- “Procesamiento y análisis de datos.
- Interpretación de resultados.
- Elaboración de tablas y gráficos.
- Prueba de hipótesis ANOVA”[38, p.33]

#### **2.4.4. Análisis e interpretación de los datos**

Se utilizó el esquema de los datos obtenidos como resultado de las muestras serán procesados en un software (Excel) y ANOVA que se representa en la tabla 5” [40].

*Chugden & Verastegui*, “(ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores”. “La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente”[40, p.85].

**TABLA 5**  
**“ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)”**

“Origen de las variaciones”	“Grados de libertad”
Tratamiento	3
Error	8
Total	11

## 2.5 Marco legal

### 2.5.1. “La Constitución Política de 1993”

“*Constitución Política del Perú*”, “En el artículo 66, Capítulo II indica, que los recursos naturales renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación y que el Estado es soberano de su aprovechamiento”[42]. Asimismo “establece, que por Ley Orgánica se fijan las condiciones de su utilización y su otorgamiento a particulares, la concesión se otorga a su titular un derecho legal, sujeto a dicha norma legal”[42].

“*Constitución Política del Perú*”, “En el artículo 67, del mismo capítulo establece que el Estado determina la política Nacional del Medio Ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”[42].

“*Constitución Política del Perú*”, “En el artículo 68, del mismo capítulo, establece que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas”[42].

### 2.5.2. “Ley N°28611: Ley general del ambiente”

#### “Artículo 31°.- Del estándar de calidad ambiental”

##### *31.1 El Estándar de Calidad Ambiental - ECA*

“Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para

la salud de las personas ni al ambiente”. “Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.[43].

#### **“Artículo 121°.- Del vertimiento de aguas residuales”**

“El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales” o “jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes”

### **2.5.3. “Calidad de agua para reúso (Criterio de riesgo para la salud)”**

#### **a) “Riego con acceso al público y a trabajadores**

- Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 ML (OMS)
- Huevos de Helminto < 1 huevo Helminto/100 ML (OMS)”[44].
- “DBO<sub>5</sub> < 15 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego).
- SST < 10 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[44].

#### **b) “Riego sin acceso al público, pero expuesto a trabajadores**

- Huevos de Helminto < 1 huevo Helminto/100 ML (OMS)
- DBO<sub>5</sub> < 15 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[44].
- “SST < 10 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[44].

#### **c) “Riego Localizado sin Acceso al Público ni Trabajadores**

- DBO<sub>5</sub> < 15 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)

- SST < 10 mg/lit (Recomendación ambiental + eficiencia + tecnología de riego)”[44].

#### **2.5.4. “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”**

“Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales”[45].

#### **2.5.5. Autoridad Nacional de Agua (ANA)**

ANA, “En el Art.39, Autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las autoridades en materia ambiental”[46] y “en materia de salud sobre el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental de agua (ECA – agua) y límites máximo permisibles (LMP) de los sectores. queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización”[46].

#### **2.5.6. Ley de Recursos Hídricos**

“Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta”[47].

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola.

Las aguas residuales proveniente del tratamiento terciario y que mediante el humedal subsuperficial se considera como sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de la especie *Schonoplectus Californicus* (totora) sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de la especie *Schonoplectus Californicus* hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente.

*Delgadillo et al.*, “El tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución”[34].

“Los humedales son construidos se han utilizado para tratar diversos procesos de los afluentes de aguas residuales:”

- “Aguas domésticas y urbanas,
- Aguas industriales,
- Aguas de drenaje de extracciones mineras,
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan”. [46, p. 15].

El sistema que sea desarrollado fue para tratar el agua residual proveniente del tratamiento terciario” mediante el humedal subsuperficial que permitió remover el “material orgánico (DBO), la oxidación del amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo”.

### **“Aguas residuales afluyente”**

“Las aguas residuales” para este estudio fueron tomadas de la “provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho”, la temperatura promedio es de 10°C durante el estudio. El afluyente residual fue recolectado de la laguna de almacenamiento llamada laguna terciaria, por desnivel, fue llevado a través del caudal a la celda experimental, “como se observó” en la Figura 9.



*Figura 10 Piscina - Humedal de flujo subsuperficial*

### **Diseño de este tipo de humedal**

“Para el diseño de este tipo de humedal, los pasos que se siguieron:

- ✓ Cálculo del área necesaria,
- ✓ Profundidad del humedal
- ✓ Pendiente,
- ✓ Sustrato,
- ✓ Relación largo–ancho”.

Según *Llagas & Gómez*, “Dimensiones de un humedal artificial basado en la carga orgánica (DBO5) por el área para el tratamiento terciario del agua residual para reúso agrícola”[48].

$Q = 7.8 \text{ m}^3/\text{día}$  (529,34358 pies<sup>3</sup>/día)

DBO5 = 80 mg/L

T = 5°C

Condiciones de salida DBO5 < 10 mg/L

Profundidad del Humedal HHAA FSS = 0.25 m

**TABLA 6**  
**REDUCCIÓN DE DBO5 COMO FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN Y**  
**TEMPERATURA**

Temperatura (°C)	Tiempo de retención (d)	Reducción de DBO5 (%)
10	5	0 - 10
10 - 15	4 - 5	30 - 40
15 - 20	2 - 3	40 - 50
20 - 25	1 - 2	40 - 60
25 - 30	1 - 2	60 - 80

*Fuente: Llagas & Gómez "Wastewater Stabilization Ponds, Principles of Planning & Practice, WAO, 1987"[48].*

### Especificación del caudal promedio

Del afluente del agua residual de la descarga proveniente del tratamiento terciario se obtuvieron los promedios semanales de los caudales como se muestra en la tabla 7.

**TABLA 7**  
**CAUDAL PROMEDIO (Q)**

"Semana"	Caudal promedio (m <sup>3</sup> /d)
S-1	7.9
S-2	7.7
S-3	8.0
S-4	7.6
<b>Caudal promedio diario</b>	<b>7.8 (m<sup>3</sup>/d)</b>

## Especificación de la temperatura en la provincia de Lucanas

“En Lucanas, los veranos son cortos, frescos y mayormente nublados; los inviernos son cortos, fríos y mayormente despejados y está seco durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 1 °C a 18 °C y rara vez baja a menos de -1 °C o sube a más de 20 °C”.

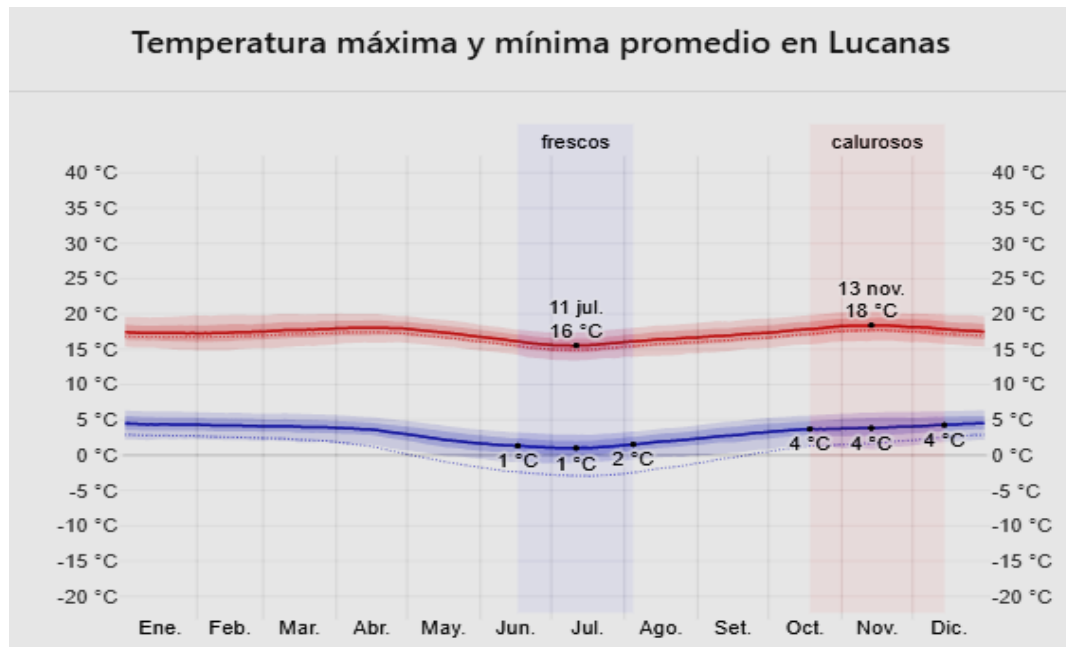


Figura 11 La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) en la provincia de Lucanas

Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/23229/Clima-promedio-en-Lucanas-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=En%20Lucanas%2C%20los%20veranos%20son,seco%20durante%20todo%20el%20a%C3%B1o.>

### “Parámetros de diseño”

Se considero el “diseño hidráulico del humedal del flujo subsuperficial”, para tal efecto se tomó en cuenta como “factor limitante el DBO5 proveniente del afluente del agua residual del tratamiento terciario” el cual es de 80 mg/l según el “análisis físico químico inicial (Tabla 8), el mismo que deberá ser según el diseño hidráulico” de 10 mg/l a la salida del humedal de flujo subsuperficial, donde el “ingreso al humedad efluente tiene un caudal de 7.8 m<sup>3</sup>/día y la temperatura del tiene un promedio de 10°C”.

**TABLA 8**  
**“DATOS INICIALES NECESARIOS PARA IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO”**

Descripción	Cantidad	Unidad
DBO5 (entrada)	80	mg/L
DBO5 (salida)	10	mg/L
Caudal	7.8	m <sup>3</sup> /d
Profundidad del humedal	0.25	m
<b><i>Medio</i></b>		
Porosidad ( $\eta$ )	0.38	
Conductividad hidráulica (ks)	25 000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d
“Constante de temperatura ( $k_{20}$ )”	1.104	días <sup>-1</sup>
“Temperatura de diseño del humedal (T)”	5	°C
“Numero de celdas”	1	unidad
“Pendiente o gradiente hidráulica (m)”	0.02	m/m
“Borde libre”	0.2	m
“Inclinación de taludes (Z)”	2	

### **Dimensionamiento**

Se tomaron en cuenta los aportes de *Cueva & Rivadeneira*, sobre los “parámetros que se muestran en la (tabla 8)”, donde, “la constante de temperatura del humedal es  $K_T=1,0400$  días<sup>-1</sup>, el área superficial total del humedal es  $A_s=370,6$  m<sup>2</sup>, el tiempo de retención hidráulica necesario en el humedal es  $TRH=4,51$  días”, se determinó de esta manera la unidad experimental o la celda humedal, se consideró un ancho individual de,  $W=9,60$  m, y el largo del humedal es de  $L=38,50$  m, [24].

Se considero la profundidad de la celda humedal subsuperficial experimental, para que su “dinamismo bio-hidráulico”, efectuó su empleo a modo de elemento reductivo de contaminado es de 0,25 m.

## Implementación

“Los humedales se implementaron con los siguientes dimensionamientos calculados, ancho 1 m, largo 4,5 m, y 0,25 m de profundidad”.

## Planta acuática

*Llagas & Guadalupe* “La planta acuática puede ser seleccionada de pantanos y trasplantada dentro de la celda unitaria disponible en el sistema de experimentación, la planta a ser usadas en esta investigación se presenta en la (Tabla 9)”[48].

**TABLA 9**  
**“PLANTA ACUÁTICA EMERGENTE UTILIZADA EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

Nombre común	Nombre científico	Distribución	Temperatura (°C)		Máxima salinidad	Rango pH efectivo
			Deseable	Germina la semilla	Tolerancia ppm	
Totora	Typha spp.	En todo el mundo	10 – 30	12 – 24	30	4 - 10

## Diseño del humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola

*Delgadillo et al.*, “El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias creadas por la vegetación, capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en los humedales”[34].

**TABLA 10**  
**“DATOS INICIALES NECESARIOS PARA IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO”**

Ecuación	Característica	Símbolo	Valor	Unidades
Ecuacion-2	Constante de temperatura	$K_T$	0.4607	días <sup>-1</sup>
Ecuacion-3	Área superficial	$A_s$	370.6	m <sup>2</sup>
Ecuacion-4	“Tiempo de retención hidráulica”	TRH	4.51	días
Ecuacion-5	Calculo del ancho de la celda	W	9.6	m
Ecuacion-6	Calculo de lago celda	L	38.5	m

### Aspectos del reúso

*Hoffmann & Platzer*, “Los HHAA FSS tratan las aguas residuales a un estándar apropiado para ser vertidas en otras fuentes de aguas superficiales o aptas para la reutilización en diversas aplicaciones según recomendaciones de la (OMS)”[21].

*Hoffmann & Platzer*, indico sobre el diseño del HHAA FSS depende: “de la calidad del efluente deseado (para su disposición o reutilización), la calidad estándar de las normas no precisa de un tratamiento adicional”. “Pero, para el caso de las aguas residuales domésticas es necesario hacer un análisis de los efluentes, por razones de seguridad es necesario desinfectar (tratamiento terciario)”[21].

### “Sistemas de Humedales Subsuperficiales (HSS)”

*Soler et al.*, “Los humedales de flujo subsuperficial consisten en una tecnología natural de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, la depuración se consigue gracias a varios fenómenos físicos, químicos y biológicos, tanto en el relleno solido (substratos)”

### 3.2. Tratamiento terciario de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” de la calidad ambiental de agua

El tratamiento del afluente del agua residual que ingreso al humedal de flujo subsuperficial se realizó en buenas condiciones de operación con la finalidad de registrar los datos adecuados, por lo que también se le puede llamar tratamiento biológico de alta eficiencia porque permitió remover la materia orgánica.

Además, se analizó la “DBO5, DQO, SST y coliformes termoestables” y tomo en cuenta la norma “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”

**TABLA 11**  
**ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM”**  
**GVMAR-1**

Indicador	“Unidades”	Procedimiento	Tiempo de muestra
			2/04/2022
DBO5	mg/L	“APHA 5210 B”[49]	11

DQO	mg/L	SM5220 D	36
Coliformes termotolerantes	mg/L	APHA 9221 B	2,5 x 10 <sup>3</sup>
Solidos Totales	mg/L	APHA 2540 B	125

**TABLA 12**  
**ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM”**  
**GVMAR -2**

Indicador	“Unidades”	Procedimiento	Tiempo de muestra
			9/04/2022
DBO5	mg/L	“APHA 5210 B”[49]	15
DQO	mg/L	SM5220 D	46
Coliformes termotolerantes	mg/L	APHA 9221 B	4,0 x 10 <sup>3</sup>
Solidos Totales	mg/L	APHA 2540 B	149

**TABLA 13**  
**ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM”**  
**GVMAR -3**

Indicador	“Unidades”	Procedimiento	Tiempo de muestra
			16/04/2022
DBO5	mg/L	“APHA 5210 B”[49]	13
DQO	mg/L	SM5220 D	42
Coliformes termotolerantes	mg/L	APHA 9221 B	3,2 x 10 <sup>3</sup>
Solidos Totales	mg/L	APHA 2540 B	138

**TABLA 14**  
**ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM”**  
**GVMAR -4**

Indicador	“Unidades”	Procedimiento	Tiempo de muestra
			23/04/2022
DBO5	mg/L	“APHA 5210 B”[49]	10
DQO	mg/L	SM5220 D	34
Coliformes termotolerantes	mg/L	APHA 9221 B	2,9 x 10 <sup>3</sup>
Solidos Totales	mg/L	APHA 2540 B	130

**TABLA 15**  
**ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM”**  
**GVMAR -5**

Indicador	“Unidades”	Procedimiento	Tiempo de muestra
			30/04/2022
DBO5	mg/L	“APHA 5210 B”[49]	17
DQO	mg/L	SM5220 D	50
Coliformes termotolerantes	mg/L	APHA 9221 B	4,2 x 10 <sup>3</sup>
Solidos Totales	mg/L	APHA 2540 B	166

**TABLA 16**  
**ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL “DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM”**  
**GVMAR -6**

Indicador	“Unidades”	Procedimiento	Tiempo de muestra
			7/05/2022
DBO5	mg/L	“APHA 5210 B”[49]	14
DQO	mg/L	SM5220 D	44
Coliformes termotolerantes	mg/L	APHA 9221 B	3,8 x 10 <sup>3</sup>

### “Demanda biológica de oxígeno”

*hipótesis específica 1 (HE1)*, Se analizó los parámetros del (HH-FFS) del “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” que mejora significativamente en la calidad ambiental de agua en la ciudad de Lucanas, Ayacucho, 2021, para tal efecto se tomó en cuenta la prueba paramétrica de distribución de “t de Student (ANEXO 1), en correspondencia al “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”.

**H<sub>a</sub>:** El “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” SI mejora significativamente en la “calidad ambiental de agua” ( $\mu \leq 100$  mg/L).

**H<sub>0</sub>:** El “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” NO mejora significativamente en la “calidad ambiental de agua” ( $\mu > 100$  mg/L).

Se planteó la hipótesis para tratamientos: GVMAR -1, GVMAR -2, GVMAR -3, GVMAR -4, GVMAR -5 y GVMAR -6.

H<sub>a</sub>:  $\mu \leq 100$  mg/L (La “demanda biológica de oxígeno SI mejora significativamente en la calidad ambiental del agua”)

H<sub>0</sub>:  $\mu > 100$  mg/L (La “demanda biológica de oxígeno NO mejora significativamente en la calidad del agua”)

Se considero el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Se estimó el “estadístico de prueba” (Estadística Descriptiva)

Numero aleatorios	Columna 1	
17	Media	13.3333
15	Error típico	1.0541

14	Mediana	13.5
13	“Desviación estándar”	2.5819
11	“Varianza de la muestra”	6.6667
10	“Coeficiente de asimetría”	0.0775
<hr/>		
	“Rango”	7
	“Mínimo”	10
	“Máximo”	17
	“Suma”	80
	Cuenta	6
	“Nivel de confianza (95%)”	2.7096
<hr/>		

Se estableció la regla de decisión

$\mu =$	100
$\alpha =$	0.05
$n =$	6
$gl =$	5
<hr/>	

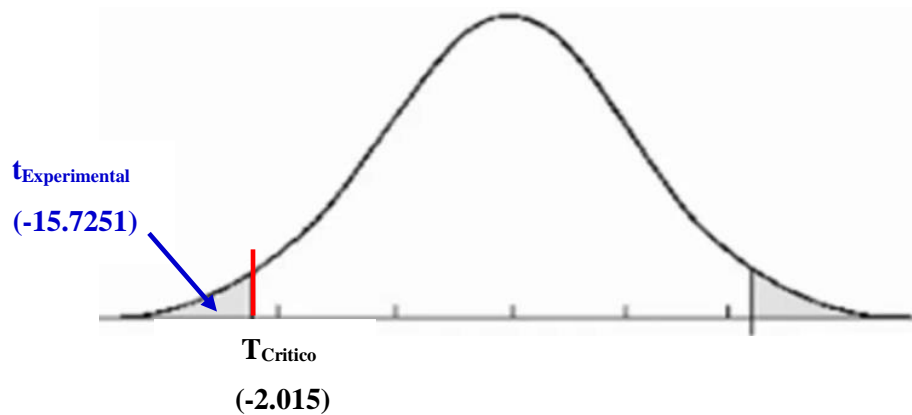
Se resuelve el t-Student experimental

$$t_{\text{Experimental}} = -15.7251$$

La distribución del  $t_{\text{Teórico}} = -2.0150$  (ANEXO 1: Distribución t de Student,  $gl = 5$  y  $\alpha = 0.05$ )

Por lo tanto,

Si  $t_{\text{Experimental}} (-15.7251) < t_{\text{Teórico}} (-2.0150)$  entonces se RECHAZA  $H_0$



*Figura 12 Distribución de t-Student para la demanda bioquímica de oxígeno*

**Por lo tanto:**

“Se **ACEPTA** la hipótesis alterna”, que la “demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)” se analizó con el procedimiento APHA 5210B y se mostró desde la tabla 11 hasta la tabla 16 con código: GVMAR -1, GVMAR -2, GVMAR -3, GVMAR -4, GVMAR -5 y GVMAR -6, con nivel de confianza del 95%, “grados de libertad” de 5, se encontró fuera de la zona de rechazo con un  $t_{\text{Experimental}}$  de (-15.7251), quiere decir que el “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” SI mejora significativamente en la calidad ambiental de agua. Por lo que el monitoreo que se realizó en las tablas indicadas se analizó la DBO5 en los seis tratamientos de muestreo se determinó que los tratamientos respectivos, se encuentran dentro de la norma del “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”.

### **3.3. Prueba presuntiva del “agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial” en el reúso agrícola**

#### **pH**

Se colocó el electrodo en la muestra y se registró el pH de la muestra.

**TABLA 17**

#### **pH**

<b>Tiempo de muestra</b>	<b>PH-GVM</b>
2/04/2022	8.22

9/04/2022	7.44
16/04/2022	7.98
23/04/2022	8.04
30/04/2022	7.54
7/05/2022	6.92

---

### **La temperatura**

Se puso el termómetro calibrado en un soporte para la toma de datos de temperatura en la corriente del agua. Se registro la lectura del dato.

**TABLA 18**  
**TEMPERATURA**

<b>Tiempo de muestra</b>	<b>T-GVM</b>
2/04/2022	9
9/04/2022	11
16/04/2022	10
23/04/2022	10
30/04/2022	9
7/05/2022	11

Con la *hipótesis específica 2 (HE2)*, se indicó que la prueba presuntiva de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” contribuye en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021, para tal efecto se tomó en cuenta la prueba paramétrica de distribución de “t de Student para muestras independientes”, en correspondencia al “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”.

**H<sub>a</sub>:** La prueba presuntiva de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial SI contribuye en el reúso agrícola ( $\mu < 35$  °C).

**H<sub>0</sub>:** La prueba presuntiva de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial NO contribuye en el reúso agrícola ( $\mu \geq 35$  °C).

Se planteo la hipótesis para la temperatura, T-GVM

H<sub>a</sub>:  $\mu < 35$  °C (“La temperatura SI contribuye en el reúso agrícola”)

H<sub>0</sub>:  $\mu \geq 35$  °C (La temperatura NO contribuye en el reúso agrícola)

Se considero el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Se estimo el “estadístico de prueba” (Estadística Descriptiva)

T-GVM	<i>T-GVM</i>	
17	Media	10
15	Error típico	0.3651
14	Mediana	10
13	Desviación estándar	0.8944
11	“Varianza de la muestra”	0.8
10	“Coeficiente de asimetría”	0
	“Rango”	2
	“Mínimo”	9
	Máximo	11
	Suma	60
	Cuenta	6
	Nivel de confianza (95%)	0.9386

Se estableció la regla de decisión

$$\mu = 35$$

$\alpha =$	0.05
$n =$	6
$gl =$	5

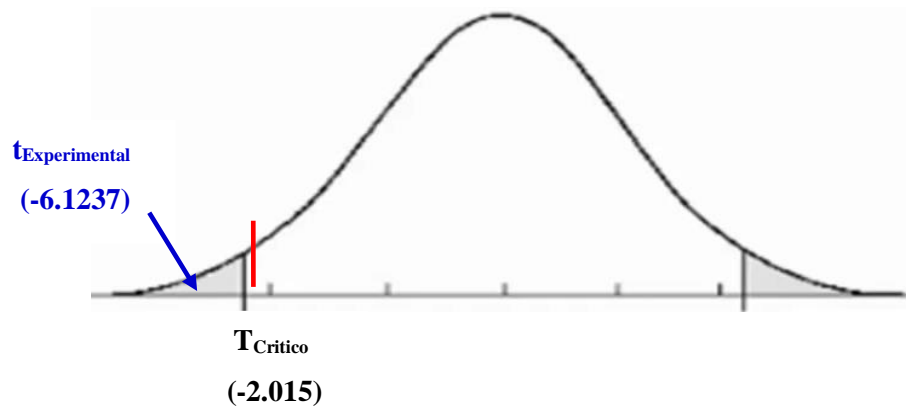
Se resuelve el t-Student experimental

$$t_{\text{Experimental}} = -6.1237$$

La distribución del  $t_{\text{Teórico}} = -2.0150$  (ANEXO 1: Distribución t de Student,  $gl = 5$  y  $\alpha = 0.05$ )

Por lo tanto,

Si  $t_{\text{Experimental}} (-6.1237) < t_{\text{Teórico}} (-2.0150)$  entonces se RECHAZA  $H_0$



*Figura 13 Distribución de t-Student para la temperatura*

**Por lo tanto:**

“Se **ACEPTA** la hipótesis alterna”, y se indicó que el parámetro, T-GVM, con un nivel de confianza del 95%, y grado de libertad” de 5, se obtuvo un  $t_{\text{Experimental}}$  de (-6.1237), quiere decir que el tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial SI contribuye en la calidad ambiental de agua. Por lo en el monitoreo del parámetro temperatura se estimó que los tratamientos respectivos mostrado en la tabla 18, se encuentre dentro de la norma del “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”.

**3.4. Prueba confirmativa del agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial en el reúso agrícola.**

**DQO**

Representa la “cantidad de oxígeno” necesario para descontaminar el “agua” procedente de las viviendas domiciliarias.

**Tabla 19**  
**DQO**

<b>Tiempo de muestra</b>	<b>DQO-GVM</b>
2/04/2022	36
9/04/2022	46
16/04/2022	42
23/04/2022	34
30/04/2022	50
7/05/2022	44

**Sólidos suspendidos totales**

“Los sólidos en suspensión totales se eliminaron por sedimentación debido a su tamaño comparativamente grande”.

**TABLA 20**  
**SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**

<b>Tiempo de muestra</b>	<b>SST-GVM</b>
2/04/2022	125
9/04/2022	149

16/04/2022	138
23/04/2022	130
30/04/2022	166
7/05/2022	132

---

### **Coliformes termotolerantes**

Sin embargo, con los coliformes totales, se realizó el análisis como indicador de prueba del efluente del agua residual, que permitió con su presencia si es que existen organismos patógenos (que pueda causar enfermedades).

**TABLA 21**  
**COLIFORMES TERMOTOLERANTES**

<b>Tiempo de muestra</b>	<b>CT-GVM</b>
2/04/2022	2.5 x 10 <sup>3</sup>
9/04/2022	4.0 x 10 <sup>3</sup>
16/04/2022	3.2 x 10 <sup>3</sup>
23/04/2022	2.9 x 10 <sup>3</sup>
30/04/2022	4.2 x 10 <sup>3</sup>
7/05/2022	3.8 x 10 <sup>3</sup>

*La hipótesis específica 3 (HE3)*, Se analizó el parámetro CT.GVM datos que están consignados en la tabla 21, provenientes de la descarga del (HH-FSS), de tal manera, la prueba confirmativa del agua residuales mediante humedal de flujo subsuperficial permite un mejor aprovechamiento en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021, para tal efecto se tomó en cuenta la prueba paramétrica de distribución de normalidad

de Shapiro-Wilks para muestras independientes, en correspondencia al “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”.

**H<sub>a</sub>:** La prueba confirmativa de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” SI permite un mejor aprovechamiento en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021 ( $\mu < 10000$  NMP/100 mL).

**H<sub>0</sub>:** La prueba presuntiva de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” NO permite un mejor aprovechamiento en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho, 2021 ( $\mu \geq 10000$  NMP/100 mL).

Se planteo la hipótesis para la temperatura, CT-GVM

H<sub>a</sub>:  $\mu < 10 \times 10^3$  NMP/100ml (“Los coliformes termoestables SI permite un mejor aprovechamiento en el reúso agrícola”)

H<sub>0</sub>:  $\mu \geq 10 \times 10^3$  NMP/100ml (“Los coliformes termoestables NO permite un mejor aprovechamiento en el reúso agrícola”)

---

***Prueba de normalidad de Shapiro-Wils, para los coliformes termoestables en el reúso agrícola (ANEXO 2)***

---

**Se estableció la hipótesis**

Calculo del parámetro de datos CT-GVM de los coliformes termoestables en el reúso agrícola, Lucanas, Ayacucho

$X_i$	Media ( $\bar{X}$ )	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$\Sigma(X_i - \bar{X})^2$
25000		-9333	87111111	
29000		-5333	28444444	
32000	34333	-2333	5444444	225333333
38000		3667	13444444	
40000		5667	32111111	
42000		7667	58777778	

Tabla estadística de normalidad de Saphiro Wilks

1	2	3	4	5	6	7	8
Pares	ai	Xmayor	Xmenor	Xamayor-Xmenor	2*5	(suma) <sup>2</sup>	(suma) <sup>2</sup> //Σ(X <sub>i</sub> - X̄) <sup>2</sup>
1	<b>0.6431</b>	42000	25000	17000	10932.7		
2	<b>0.2806</b>	40000	29000	11000	3086.6	209360642	<b>0.9291</b>
3	<b>0.0750</b>	38000	32000	6000	450.0		

Suma = 14469

Calculo estadístico Shapiro-Wils (W)

**W = 0.9291**

Valor critico

n (Tamaño de la muestra) = 6

α (Nivel de Significancia) = 0.05

**Valor Critico = 0.7880**

Decisión:

**W (0.9291) > VC (0.7880): H<sub>0</sub> se ACEPTA**

**Por lo tanto:**

Se **ACEPTA** la hipótesis alterna y que en la descarga del (HH-FSS), se analizó el parámetro CT-GVM, empleando el estadístico de normalidad de Shapiro-Wilks, con un nivel de confianza del 95% y un tamaño de 6 muestras, con un “valor crítico” (0.7880), por lo que se obtuvo el valor de Shapiro-Wilks (0.9292). De tal manera que se acepta la hipótesis nula donde la prueba confirmativa de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial SI permite un mejor aprovechamiento en el reúso agrícola, en el distrito de Lucanas, Ayacucho. Por lo que el parámetro de coliformes termoestables (CT-GVM) se determinó que se encuentra dentro de la norma del “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”.

## IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Discusión de resultados del “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” para reúso agrícola

El resultado del trabajo se pudo apreciar que el diseño del humedal de flujo subsuperficial (HH FSS) para reúso agrícola como se mostró en la tabla 10, con un área superficial de 370.6 m<sup>2</sup>, se pudo deducir una relación de largo(L)-ancho(W) que es equivalente es de 4 a 1, que coincide con la investigación de *Delgadillo et al.*, [34, p. 34]. Por lo que el (HH FSS) fue ubicado en la zona de Lucanas, siendo el agua el principal parámetro que ha permitido controlar fue la demanda bioquímica de oxígeno que está contribuyendo con medio ambiente, como la vida vegetal que concuerda con los trabajos de *Ferrer-Sánchez et al.*, [17]. El (HH FSS), consistió en una tecnología natural de bajo costo para el tratamiento terciario del afluente de aguas residuales, para posterior al proceso de descarga del efluente de aguas residuales se tomó el tiempo de retención hidráulica (TRH) de 4.51 días, con esa depuración se consiguió los “parámetros físicos, químicos y biológicos”. Otros datos del sistema en la celda unitaria de 4x1x0.6, se ubicó el material grava media filtrante, de diámetro<sub>10</sub> de 25 mm, con porosidad de 38% y la conductividad hidráulica de 25000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d., que permitió que estos exceden los límites máximos permisibles en la descarga del efluente de aguas residuales del (HH FSS) para ser empleados en los sembríos como reúso de agua para la agricultura.

### 4.2. Discusión de resultados del “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” la calidad ambiental de agua

“El tratamiento terciario del afluente de aguas residuales” en el proceso del (HH FSS) se analizó el parámetro “demanda bioquímica de oxígeno” con los datos de los códigos de muestreo de GVMAR-1, GVMAR-2, GVMAR-3, GVMAR-4, GVMAR-5 y GVMAR-6 y se obtuvo una mejor calidad ambiental de agua, para tal efecto se empleó el estadístico de “prueba de t-student” y se obtuvo un t<sub>Experimental</sub> (-15.7251) por lo que se aceptó la hipótesis alterna y se estimó que los tratamientos se encontraron dentro

de la norma del “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”, que concuerda con el trabajo de *Cueva & Rivadeneira*, [24], en cuanto a la DBO5, además los investigadores probaron con varias especies vegetales.

#### **4.3. Discusión de resultados de la prueba presuntiva del agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial en el reúso agrícola**

En cuanto a la prueba presuntiva el estudio permitió medir los parámetros físicos como fue el pH (pH-GVM), la temperatura (T-GVM), dichos datos se recogieron en el efluente del (HH-FSS) que contribuyo en el reúso agrícola, por lo que se estimó con el “estadístico de prueba paramétrica de distribución de t de Student” y se obtuvo un  $t_{Experimental}$  (-6.1237) por lo que se aceptó la hipótesis alterna y se estimó que la (T-GVM) se encontró dentro de la norma del “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”.

#### **4.4. Discusión de resultados de la prueba confirmativa “del agua residual mediante humedal de flujo subsuperficial” “en el reúso agrícola**

En cuanto a la prueba confirmativa el estudio permitió medir los “parámetros químicos como fue la demanda bioquímica de oxígeno” (DQO-GVM), los sólidos suspendidos totales (SST-GVM) y los coliformes termoestables (CT-GVT), dichos datos se recogieron en el efluente del (HH-FSS) que contribuyo en el reúso agrícola, por lo que se estimó con el estadístico de prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (W), para los (CT-GVM) y se obtuvo el estadístico de W (0.9291) por lo que se aceptó la hipótesis alterna y se estimó que la (CT-GVM) se encontró dentro de la norma del “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM”, que concuerda con el criterio del trabajo de *Torres & Sanabria* [50], que el (HH-FSS) es eficiente, en la depuración en los “organismos patógenos” del “efluente de aguas residuales

## V. CONCLUSIONES

En este estudio de investigación se propuso que el “tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” permitió una mejor eficiencia para reúso agrícola, en el distrito de Lucanas en la región de Ayacucho, porque al implementarse la celda unitaria llamada humedal de flujo subsuperficial donde sea logrado obtener los datos para los seis tratamientos del efluente de aguas residuales en fechas distintas y al aplicarse las estadísticas de prueba de t-student y de normalidad de Saphiro Wilks a los datos registrados, y sea obtenido una influencia significativa en todo el proceso con descarga del efluente de aguas residuales en beneficio de la agricultura como agua residual para reúso agrícola y también al compararse con la norma se busca contribuir en la mejora del medio ambiente.

Del “humedal de flujo subsuperficial”, se analizó el efluente de aguas se consideró 6 tratamientos GVMAR -1, GVMAR -2, GVMAR -3, GVMAR -4, GVMAR -5 y GVMAR -6, que al ingresar al (HH-FSS) el “afluente de aguas residuales proveniente de la descarga del tratamiento terciario de aguas residuales”, mejoro significativamente como efluente de aguas residuales en la calidad ambiental de agua, en el “distrito Lucanas, Ayacucho”, porque se consideró los procedimientos de análisis para cada indicador, que permitió que los tratamientos respectivos se encuentre dentro de la noma de los estándares máximos permisibles.

En esta parte del estudio se indicó que la prueba presuntiva de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” contribuyo en el reúso agrícola, en el distrito de Lucanas, Ayacucho. Lo más importante se indicó el parámetro (T-GVM), permitió que en el proceso del (HH-FSS), que fue una celda única, se mantuvo el caudal en un promedio constante, con una pendiente de descarga de 0.5%.

Se analizo que la prueba confirmativa de “aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial” permitió una mejor eficiencia en el reúso agrícola en el distrito de Lucanas, Ayacucho, porque se consideró que el (HH-FSS) como eficiente en el retiro de cargas patógenas, el (HH-FSS) de bajo costo su efluente de aguas residuales se consideró apto para cultivos agrícolas o reúso agrícola.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda elaborar estudios referidos a la eficiencia de los “humedales de flujo subsuperficial”, teniendo en cuenta el crecimiento demográfico del distrito de Lucanas.

Realizar similares trabajos de investigación que permitan determinar (HH-FSH) porque las concentraciones del agua residual que provienen de una PTAR es baja en los parámetros estudiados, lo que permitirá una mejor evaluación de su eficiencia.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Takeuchi y H. Tanaka, «Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives», *Water Cycle*, vol. 1, n.º May, pp. 1-12, 2020, doi: 10.1016/j.watcyc.2020.05.001.
- [2] T. S. Chung, X. Li, R. C. Ong, Q. Ge, H. Wang, y G. Han, «Emerging forward osmosis (FO) technologies and challenges ahead for clean water and clean energy applications», *Curr. Opin. Chem. Eng.*, vol. 1, n.º 3, pp. 246-257, 2012, doi: 10.1016/j.coche.2012.07.004.
- [3] M. L. Sikosana, K. Sikhwivhilu, R. Moutloali, y D. M. Madyira, «Municipal wastewater treatment technologies: A review», *Procedia Manuf.*, vol. 35, pp. 1018-1024, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.051.
- [4] J. R. Miranda Castañón, «Determinación de parámetros de diseño, puesta en marcha y evaluación de la eficiencia de humedales de flujo subsuperficial en la planta piloto aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas», Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.
- [5] H. Wu *et al.*, «Decentralized domestic wastewater treatment using intermittently aerated vertical flow constructed wetlands: Impact of influent strengths», *Bioresour. Technol.*, vol. 176, pp. 163-168, 2015, doi: 10.1016/j.biortech.2014.11.041.
- [6] D. Zhang, R. M. Gersberg, y T. S. Keat, «Constructed wetlands in China», *Ecol. Eng.*, vol. 35, n.º 10, pp. 1367-1378, 2009, doi: 10.1016/j.ecoleng.2009.07.007.
- [7] F. Ye y Y. Li, «Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities», *Ecol. Eng.*, vol. 35, n.º 7, pp. 1043-1050, 2009, doi: 10.1016/j.ecoleng.2009.03.009.
- [8] M. Truu, J. Juhanson, y J. Truu, «Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands», *Sci. Total Environ.*, vol. 407, n.º 13, pp. 3958-3971, 2009, doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.11.036.
- [9] S. Lu, J. Wang, y L. Pei, «Study on the effects of irrigation with reclaimed water on

- the content and distribution of heavy metals in soil», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 13, n.º 3, p. 10 pag., 2016, doi: 10.3390/ijerph13030298.
- [10] S. Lu, X. Zhang, y P. Liang, «Influence of drip irrigation by reclaimed water on the dynamic change of the nitrogen element in soil and tomato yield and quality», *J. Clean. Prod.*, vol. 139, pp. 561-566, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.08.013.
- [11] S. Lu, X. Zhang, J. Wang, y L. Pei, «Impacts of different media on constructed wetlands for rural household sewage treatment», *J. Clean. Prod.*, vol. 127, pp. 325-330, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.166.
- [12] X. Huang, F. Zhao, C. Song, Y. Gao, Z. Geng, y P. Zhuang, «Effects of stereoscopic artificial floating wetlands on nekton abundance and biomass in the Yangtze Estuary», *Chemosphere*, vol. 183, pp. 510-518, 2017, doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.091.
- [13] S. Lu *et al.*, «Effects of plants and temperature on nitrogen removal and microbiology in pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater», *J. Clean. Prod.*, vol. 40, n.º September 2016, pp. 163-168, 2015, doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.08.007.
- [14] O. Z. Cedron Medina y A. C. Cribilleros Benites, «“Diagnostico del sistema de aguas residuales en salaverry y propuesta de solución”», Facultad de Ingenieriaia. Universidad Privada Antenor Orrego, 2017.
- [15] B. M. D. Martinez, «Eficiencia en la remocion de la demanada bioquimica de oxigeno, demanda quimica de oxigeno y solidos suspendidos totales en la planata de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de celendin», Universidad Nacional de Cajamarca, 2016.
- [16] R. A. Lopez Hernandez y K. L. Herrera Panduro, «Planta de tratamiento de aguas residuales para reúso en riego de parques y jardines en el distrito de la Esperanza, Provincia Trujillo, La Libertad», Facultad de Ingenieria. Universidad Privado Antenor Orrego, 2015.
- [17] M. I. Ferrer-Sánchez *et al.*, «Environmental restoration and management of the seco river in tabasco, southern coast of the Gulf of Mexico», *WIT Trans. Ecol. Environ.*, vol. 182, n.º February, pp. 365-378, 2014, doi: 10.2495/WP140321.

- [18] EPA, *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial*, vol. EPA 832-F-. 2000, pp. 1-13.
- [19] H. Rustige y C. Platzer, «Nutrient removal in subsurface flow constructed wetlands for application in sensitive regions», *Water Sci Technol*, vol. 44, n.º 11-22, pp. 149-155, 2001, [En línea]. Disponible en: [http://brasil.rotaria.net/wp-content/uploads/2017/09/01\\_2001-Platzer-Rustige-Water-Sci-Technol-Nutrient-removal.pdf](http://brasil.rotaria.net/wp-content/uploads/2017/09/01_2001-Platzer-Rustige-Water-Sci-Technol-Nutrient-removal.pdf).
- [20] OMS, «Organización Mundial de la Salud- OMS». p. 65 pp, 2006, [En línea]. Disponible en: <http://www.paho.org/spanish/d/csu/ECPCOL-2006.pdf>.
- [21] H. Hoffmann y C. Platzer, *Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo*. Alemania: Technology review «Constructed Wetlands» Sustainable, 2010.
- [22] L. Serapio, «Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales Para Riego en la Ciudad Universitaria los Modulos, Ayacucho», Universidad Peruana del Centro, 2016.
- [23] B. A. Rivas-Lucero, V. G. Nevárez-Moorillón, R. G. Bautista-Margulis, A. Pérez-Hernandez, y R. Saucedo-Terán, «Wastewater Treatment for Agricultural Use in a Fixed Bed Bioreactor», *Agrociencia*, vol. 37, n.º 2, pp. 157-166, 2003, [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/302/30237206.pdf>.
- [24] T. E. Cueva y B. F. Rivadeneira, «Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetacion herbacea», Escuela Politecnica del Ejercito. Departamento de Ciencias de la Vida. Carrera de Ingenieria Agropecuaria, 2013.
- [25] A. Libutti *et al.*, «Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions», *Agric. Water Manag.*, vol. 196, pp. 1-14, 2018, doi: 10.1016/j.agwat.2017.10.015.
- [26] R. Crites y G. Tchobanoglous, *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. In R. Crites, G. Tchobanoglous, y E. Ariza H. (Ed.), *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*

- (M. Camargo, y L. P. Pardo, *Trans*, Primera ed. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S. A, 2000.
- [27] Ministerio del Ambiente (MINAM), «Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales», Lima-Perú, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>.
- [28] Metcalf y Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales. Volimen1: Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Tercera Ed. España, 2016.
- [29] Reglamento Nacional de Edificaciones, «Decreto Supremo que modifica la denominación de la Norma Técnica EM.110, Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética, y la incorpora en el Índice del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado por el Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA EFDSF», *Norma Legal*. Presidente de la Republica, Lima, Peru, pp. 30-31, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>.
- [30] INEI, *Instituto Nacional de estadística e Informática. Sistema ESTADISTICO nacional*. Oficina Departamental de Estadística e Informática de ICA, 2017.
- [31] Wikipedia, «Wikipedia: Lucanas». La enciplopedia WIKIPEDIA, Lima - Perú, p. 2, 2012, [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia\\_de\\_Lucanas](https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Lucanas).
- [32] J. Lara, «Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales», Universidad Politécnica de Cataluña, 1999.
- [33] A. Lozano, R. Torralba, y J. Mancebo, «Contribuciones para el tratamiento de aguas residuales con sistemas alternativos de bajo coste, en España», *Diseño y Tecnol. para el Desarro.*, vol. 6, pp. 27-45, 2019, [En línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/4197-15547-1-PB.pdf>.
- [34] O. Delgadillo, A. Camacho, M. Andrade, y L. Pérez, *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. España: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua, 2010.
- [35] M. Romero, A. Colín, E. Sánchez, y L. Ortíz, «Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales: Evaluación de la Remoción de la Carga Orgánica.», *Contam. Ambient.*, vol. 25, n.º 3, pp. 157-167, 2009, [En línea].

Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>.

- [36] R. Hernandez, C. Fernandez, y P. Baptista, *Metodologia de la Investigacion*, Sexta Edic. Mexico: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736, 2014.
- [37] M. Tamayo y Tamayo, *El Proceso de la Investigación Científica. Incluye evaluación y Administración de Proyectos de Investigación*, Cuarta Ed. Mexico - Mexico, 2003.
- [38] J. Supo, *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis*, Primera Ed. Lima - Perú: BIOESTADISTICO EIRL, 2015.
- [39] C. Baquero Vigil y C. Carrera Zuta, «Evaluación de parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de cacao en humedales artificiales con especies macrófitas, Tarapoto, 2019», Universidad Cesar Vallejo, 2019.
- [40] S. Fernández Bao, *Diseño de Experimentos: Diseño Factorial. Memorias y Anexos*. España: Universitat Politecnica de Catalunya, 2020.
- [41] N. M. Chugden Romero y R. M. Verastegui Ortiz, «Evaluacion de la Eficiencia de las Plantas Acuaticas Totora y Carrizo en la Absorcion y Remocion de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas del Distrito Namora - Cajamarca, 2020», Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, 2020.
- [42] C. Politica, *Constitucion Politico del Peru de 1993*. 1993, p. 32 Pag.
- [43] Belzona, *Guía de Aplicaciones Belzona en Equipos de Tratamiento de Aguas Residuales-Tratamiento de Aguas Residuales*, Primera Ed. Miami: Benzona INC., 2010.
- [44] B. Böhnke y K. Pöppinghaus, «Manual de disposición de aguas residuales: Origen, Descargas, Tratamiento y Análisis de aguas residuales. TOMO 1», *Manual de disposición de aguas residuales*. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Lima - Perú, p. 1002, 1984, [En línea]. Disponible en:  
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2006/pdf/spa/doc10206/doc10206-0.pdf>.

- [45] LMP: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, «Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales», *Normas Legales El Peruano*. Presidente Constitucional de la Republica, Lima - Perú, pp. 1-2, 2010, [En línea]. Disponible en: [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2010-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf).
- [46] L. G. del A. N°28611, «Ley general del Medio Ambiente N° 28611». Lima - Perú, p. 52, 2005, [En línea]. Disponible en: [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley\\_n-28611.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_n-28611.pdf).
- [47] N. Ley Recurso Hidricos, «Ley De Recursos Hidricos», *Diario Oficial El Peruano*. Congreso de la Republica, pp. 393473-393486 Pag., 2009, [En línea]. Disponible en: <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29338.pdf>.
- [48] W. Llagas Chafloque y E. Guadalupe Gómez, «Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de aguas Residuales en la UNMSM», *Revisa del Inst. Investig. FIGMG*, vol. 15, n.º 17, pp. 85-96, 2006.
- [49] J. Young, G. Bowman, S. Kamhawy, T. Mills, M. Patillo, y R. Whittemore, «Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.)», *5210 A*. p. 12, 2001, doi: 10.1007/978-1-4419-6247-8\_1310.
- [50] E. Torres y A. Marín Sanabria, «Optimización Del Humedal Artificial Subsuperficial Para Tratamiento De Aguas Residuales», *Ingenio Libr.*, pp. 29-38, 2012, [En línea]. Disponible en: <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-11/art2.pdf>.

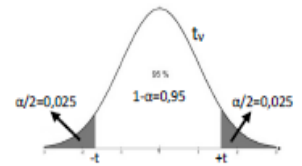
# **ANEXO**

# ANEXO 1

## Distribución t de Student

### Distribución t de Student

Contiene los valores de  $t$  tales que  $\frac{\alpha}{2} = P(t_v \geq t)$ , donde  $v$  son los Grados de Libertad



	$\alpha/2$												
	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
$\alpha$	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95

## ANEXO 2

### Shapiro-Wilks

Modelos Lineales.

**Niveles de significación para el contraste de Shapiro-Wilks.**

n	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	0.978	0.982	0.986	0.988
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	0.979	0.983	0.986	0.988
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	0.980	0.983	0.987	0.989
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	0.980	0.984	0.987	0.989
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	0.981	0.984	0.987	0.989
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	0.981	0.984	0.987	0.989
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	0.981	0.985	0.988	0.989
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	0.982	0.985	0.988	0.989
27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965	0.982	0.985	0.988	0.990
28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967	0.983	0.985	0.988	0.990
31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967	0.983	0.986	0.988	0.990
32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968	0.983	0.986	0.988	0.990
33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968	0.983	0.986	0.989	0.990
34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969	0.983	0.986	0.989	0.990
35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969	0.984	0.986	0.989	0.990
36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970	0.984	0.986	0.989	0.990
37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970	0.984	0.987	0.989	0.990
38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971	0.984	0.987	0.989	0.990
39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971	0.984	0.987	0.989	0.991
40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973	0.985	0.988	0.990	0.991
46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
49	0.929	0.937	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991

Coeficientes  $a_{in}$  para el contraste de Shapiro-Wilks

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0.7071										
3	0.7071	0.0000									
4	0.6872	0.1677									
5	0.6646	0.2413	0.0000								
6	0.6431	0.2806	0.0875								
7	0.6233	0.3031	0.1401	0.0000							
8	0.6052	0.3164	0.1743	0.0561							
9	0.5888	0.3244	0.1976	0.0947	0.0000						
10	0.5739	0.3291	0.2141	0.1224	0.0399						
11	0.5601	0.3315	0.2260	0.1429	0.0695	0.0000					
12	0.5475	0.3325	0.2347	0.1586	0.0922	0.0303					
13	0.5359	0.3325	0.2412	0.1707	0.1099	0.0539	0.0000				
14	0.5251	0.3318	0.2495	0.1802	0.1240	0.0727	0.0240				
15	0.5150	0.3306	0.2495	0.1878	0.1353	0.0880	0.0433	0.0000			
16	0.5056	0.3290	0.2521	0.1988	0.1447	0.1005	0.0593	0.0196			
17	0.4968	0.3273	0.2540	0.1988	0.1524	0.1109	0.0725	0.0359	0.0000		
18	0.4886	0.3253	0.2553	0.2027	0.1587	0.1197	0.0837	0.0496	0.0163		
19	0.4808	0.3232	0.2561	0.2059	0.1641	0.1271	0.0932	0.0612	0.0303	0.0000	
20	0.4734	0.3211	0.2565	0.2085	0.1686	0.1334	0.1013	0.0711	0.0422	0.0140	
21	0.4643	0.3185	0.2578	0.2119	0.1736	0.1339	0.1092	0.0804	0.0530	0.0263	0.0000
22	0.4590	0.3156	0.2571	0.2131	0.1764	0.1443	0.1150	0.0878	0.0618	0.0368	0.0122
23	0.4542	0.3126	0.2563	0.2139	0.1787	0.1480	0.1201	0.0941	0.0696	0.0459	0.0228
24	0.4493	0.3098	0.2554	0.2145	0.1807	0.1512	0.1245	0.0997	0.0764	0.0539	0.0321
25	0.4450	0.3069	0.2543	0.2148	0.1822	0.1539	0.1283	0.1046	0.0823	0.0610	0.0403
26	0.4407	0.3043	0.2533	0.2151	0.1836	0.1563	0.1316	0.1089	0.0876	0.0672	0.0476
27	0.4366	0.3018	0.2522	0.2152	0.1848	0.1584	0.1346	0.1128	0.0923	0.0728	0.0540
28	0.4328	0.2992	0.2510	0.2151	0.1857	0.1601	0.1372	0.1162	0.0965	0.0778	0.0598
29	0.4291	0.2968	0.2499	0.2150	0.1864	0.1616	0.1395	0.1192	0.1002	0.0822	0.0650
30	0.4254	0.2944	0.2487	0.2148	0.1870	0.1630	0.1415	0.1219	0.1036	0.0862	0.0697
31	0.4220	0.2921	0.2475	0.2145	0.1874	0.1641	0.1433	0.1243	0.1066	0.0899	0.0739
32	0.4188	0.2898	0.2463	0.2141	0.1878	0.1651	0.1449	0.1265	0.1093	0.0931	0.0777
33	0.4156	0.2876	0.2451	0.2137	0.1880	0.1660	0.1463	0.1284	0.1118	0.0961	0.0812
34	0.4127	0.2854	0.2439	0.2132	0.1882	0.1667	0.1475	0.1301	0.1140	0.0988	0.0844
35	0.4096	0.2834	0.2427	0.2127	0.1883	0.1673	0.1487	0.1317	0.1160	0.1013	0.0873
36	0.4068	0.2813	0.2415	0.2121	0.1883	0.1678	0.1496	0.1331	0.1179	0.1036	0.0900
37	0.4040	0.2794	0.2403	0.2116	0.1883	0.1683	0.1505	0.1344	0.1196	0.1056	0.0924
38	0.4015	0.2774	0.2391	0.2110	0.1881	0.1686	0.1513	0.1356	0.1211	0.1075	0.0947
39	0.3989	0.2755	0.2380	0.2104	0.1880	0.1689	0.1520	0.1366	0.1225	0.1092	0.0967
40	0.3964	0.2737	0.2368	0.2098	0.1878	0.1691	0.1526	0.1376	0.1237	0.1108	0.0986
41	0.3940	0.2719	0.2357	0.2091	0.1876	0.1693	0.1531	0.1384	0.1249	0.1123	0.1004
42	0.3917	0.2701	0.2345	0.2085	0.1874	0.1694	0.1535	0.1392	0.1259	0.1136	0.1020
43	0.3894	0.2684	0.2334	0.2078	0.1871	0.1695	0.1539	0.1398	0.1269	0.1149	0.1035
44	0.3872	0.2667	0.2323	0.2072	0.1868	0.1695	0.1542	0.1405	0.1278	0.1160	0.1049
45	0.3850	0.2651	0.2313	0.2065	0.1865	0.1695	0.1545	0.1410	0.1286	0.1170	0.1062
46	0.3830	0.2635	0.2302	0.2058	0.1862	0.1695	0.1548	0.1415	0.1293	0.1180	0.1073
47	0.3808	0.2620	0.2291	0.2052	0.1859	0.1695	0.1550	0.1420	0.1300	0.1189	0.1085
48	0.3789	0.2604	0.2281	0.2045	0.1855	0.1693	0.1551	0.1423	0.1306	0.1197	0.1095
49	0.3770	0.2589	0.2271	0.2038	0.1851	0.1692	0.1553	0.1427	0.1312	0.1205	0.1105
50	0.3751	0.2574	0.2260	0.2032	0.1847	0.1691	0.1554	0.1430	0.1317	0.1212	0.1113