



Alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola

Tertiary wastewater treatment alternative through subsurface flow wetland for agricultural reuse

Alternativa terciária de tratamento de efluentes por meio de áreas úmidas de fluxo subsuperficial para reúso agrícola

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.186>

Misael Gutiérrez Velásquez
yodervelt.3314@gmail.com

Pedro Córdova Mendoza
pedro.cordovar@unica.edu.pe

Antonina Juana García Espinoza
antonija.garcia@unica.edu.pe

Erwin Pablo Peña Casas
erwin.pena@unica.edu.pe

Teresa Orielle Barrios Mendoza
oriele.barrios@unica.edu.pe

Edgar Leonardo Peña Casas
edgar.pena@unica.edu.pe

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Ica, Perú

Artículo recibido el 17 de agosto 2022 / Arbitrado el 22 de octubre 2022 / Publicado el 15 de diciembre 2022

RESUMEN

Se realizó un estudio para proponer la alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial (HH-FSS) que permite una mejor eficiencia para reúso agrícola. El estudio realizado de tipo observacional-prospectivo-longitudinal, nivel descriptivo, diseño experimental, la investigación aplicada. Para tal efecto se cuenta como factor limitante el DBO₅, 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 m³/día, la temperatura promedio de 10°C, área superficial 370,6 m², 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. Se planteó la hipótesis para tratamientos: AR-1, AR-2, AR-3, AR-4, AR-5 y AR-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 tExperimental (-15,7251). El sistema (HH-FSS) influye significativamente en las variables de estudio. 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 clave: Humedal de flujo subsuperficial; agua residual; reúso agrícola; DBO₅, tiempo de retención hidráulica

ABSTRACT

A study was conducted to propose the alternative of tertiary wastewater treatment by subsurface flow wetland (HH-FSS) that allows a better efficiency for agricultural reuse. The study was of the observational-prospective-longitudinal type, descriptive level, experimental design, applied research. The limiting factor was BOD₅, tertiary treatment wastewater influent of 80 mg/l, hydraulic design of 10 mg/L at the outlet of the subsurface flow wetland, flow rate of 7.8 m³/day, average temperature of 10°C, surface area 370.6 m², hydraulic retention time 4.51 days, width of the wetland unit cell 9.60 m and length of the wetland 38.50 m. Hypotheses were hypothesized for treatments: AR-1, AR-2, AR-3, AR-4, AR-5 and AR-6, was analyzed for biochemical oxygen demand, with the t-student" distribution statistic, confidence level 95%, "degrees of freedom 5, was found outside the rejection zone tExperimental (-15.7251). The system (HH-FSS) significantly influences the study variables. The discharge of 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 Millennium Development Goals (MDG).

Key words: Subsurface flow wetland; wastewater; agricultural reuse; BOD₅, hydraulic retention time

RESUMO

Foi realizado um estudo para propor a alternativa de tratamento terciário de águas residuais por via úmida de fluxo subsuperficial (HH-FSS) que permite uma melhor eficiência para a reutilização agrícola. O estudo foi conduzido como um estudo observacional-prospectivo-longitudinal, descritivo, desenho experimental, pesquisa aplicada. O fator limitante foi a CBO₅, influência do tratamento terciário de 80 mg/l, projeto hidráulico de 10 mg/l na saída do wetland de fluxo subsuperficial, taxa de fluxo de 7,8 m³/dia, temperatura média de 10°C, área de superfície 370,6 m², tempo de retenção hidráulica 4,51 dias, largura da célula da unidade de wetland 9,60 m e comprimento do wetland 38,50 m. Foram levantadas hipóteses de tratamentos: AR-1, AR-2, AR-3, AR-4, AR-5 e AR-6, foi analisado para a demanda bioquímica de oxigênio, com estatística de distribuição "t-student", nível de confiança de 95%, "graus de liberdade 5, foi encontrado fora da zona de rejeição tExperimental (-15,7251). O sistema (HH-FSS) influencia significativamente as variáveis do estudo. O descarte do efluente de águas residuais do (HH-FSS) é utilizado em benefício da agricultura como água residual para reutilização agrícola, está em conformidade com os regulamentos e procura contribuir para a melhoria do meio ambiente, conforme estabelecido pelos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).

Palavras-chave: Sub-superfície de escoamento de água; águas residuais; reutilização agrícola; DBO₅, tempo de retenção hidráulica

INTRODUCCIÓN

Para Takeuchi y 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). 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.

Seguidamente, Miranda (4) indica las diferentes plantas de tratamiento para

aguas residuales domésticas diseñadas y construidas en medio, anaeróbicas o aeróbicas, remueven especialmente: sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO) (4). Además, 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 y mejoran la calidad de agua en el humedal de manera que su implementación contribuye a la conservación de ríos y lagos.

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). Varias investigaciones, al igual que las marismas, los humedales artificiales son sistemas controlados y construidos artificialmente que reciben aguas residuales y lodos (6-10).

Bases teóricas

Con relación al tratamiento terciario de las aguas residuales Adminmgv indica que

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 (11). 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 (11).

Por ello, los principios del tratamiento de los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS) según indican Rustige y Platzer, los humedales artificiales son generalmente diseñados para la eliminación de los siguientes contaminantes en aguas residuales como sólidos suspendidos (SS); materia orgánica (DBO5 y DQO); nutrientes [nitrógeno y fósforo] (12). Lo demuestra que 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 (12), de sedimentación / lecho de arena; zona de radicular / poro de agua; basura / restos; agua; aire; plantas; raíces; biofilms: bacterias que crecen en la arena y están ligadas a las raíces (12).

En cuanto a los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS)

Hoffmann y Platzer, plantea que 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 (13). 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 (13).

Entre los HHAA FSS existe una amplia gama de líneas de desarrollo que son la dirección del flujo: flujo horizontal; el tipo de material para la filtración: grava, arena, mezcla de arena-suelo; los datos de diseño: Área por persona (m^2/pe); carga orgánica (DBO5 o DQO/ $m^2.d$); "carga hidráulica (mm/d); volumen de carga (DBO5 o DQO/ $m^3.d$), consumo entrada de oxígeno, y el tiempo de retención: no debe ser utilizado para fines de diseño. No es comúnmente aceptado el enfoque del diseño que utiliza el tiempo de retención.

Reúso agrícola

Para 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 (14). También, 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 (14). 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 (15).

El objetivo de la investigación es proponer la alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial (HH-FSS) que permite una mejor eficiencia para reúso agrícola, como consecuencia del estudio de investigación, se realizó los cálculos respectivos en Microsoft Excel para obtener el tamaño del sistema humedal subsuperficial in situ, luego en base monitoreo realizado a las aguas provenientes del tratamiento terciario al ingreso del humedal subsuperficial como agua residual afluyente, y luego de un tiempo de retención hidráulica se toma las muestras a la salida del sistema humedal

como agua residual efluente, en las fechas programadas, se accedió a los análisis respectivos para obtener los parámetros del estudio y comparar con la norma, para aplicar que al aplicar el análisis estadístico. El sistema de tratamiento tiene condiciones similares al fenómeno que ocurre en la naturaleza, como es el humedal artificial (HH-FSS), porque produce efluentes de buena calidad, también su costo de inversión, operación y mantenimiento son mínimos y no requieren de personal muy capacitado. El humedal artificial, reduce 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. La provincia de Lucanas tiene una extensión de 14 494,64 km² y se encuentra dividida en veintiún distritos. La investigación se realizó en el distrito de Lucanas, Figura 1,(16).

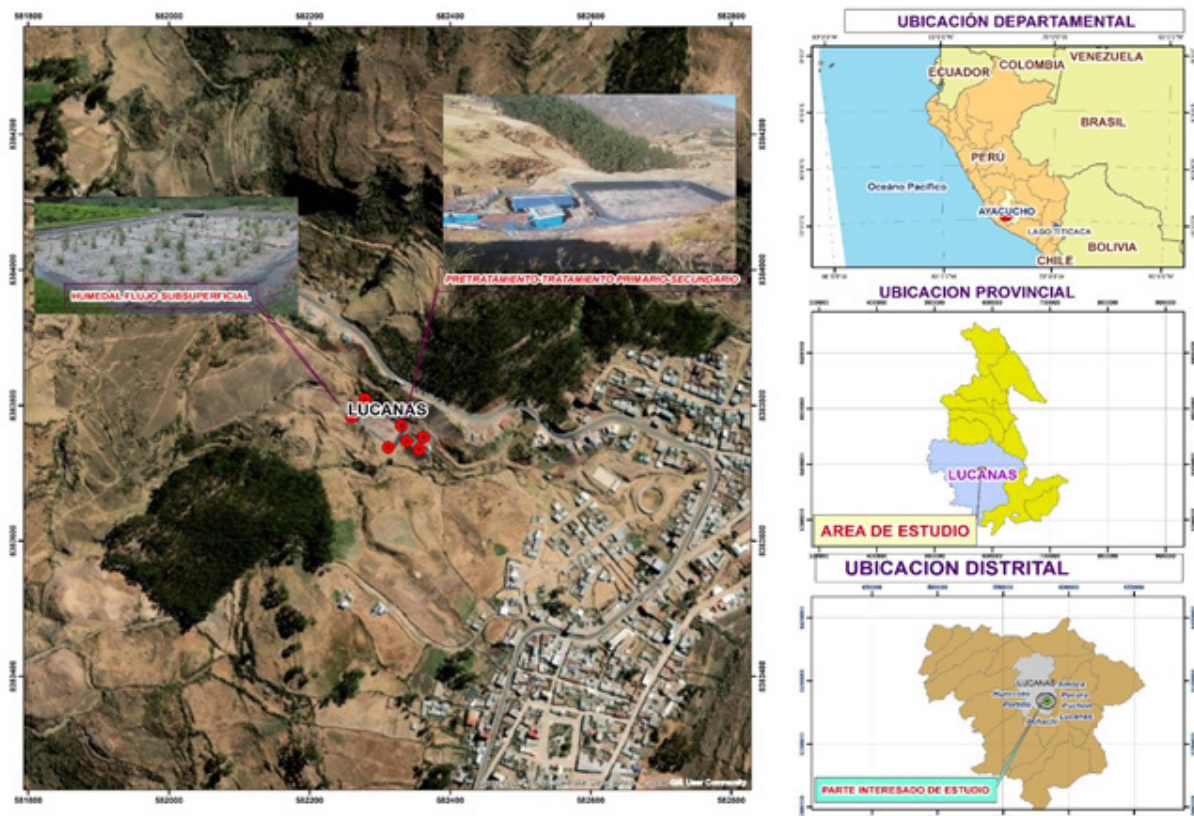


Figura 1. Parte interesada del estudio distrito de Lucanas, Lucanas. Ayacucho.

Ubicación Ecológica

- Altitud: media 3 363 m.s.n.m.
- Temperatura: 5°C
- Precipitación: 2435 mm/año
- Superficie: Total 1205 km²
- Densidad: 3.1 hab/km², (17).

La investigación

Se realizó seis pruebas a la salida del efluente del agua residual del humedal subsuperficial el proceso se llevó a nivel piloto en campo, la investigación se detalla de tipo observacional-prospectivo-longitudinal, nivel descriptivo-explicativo, diseño experimental”(18). En

la investigación en campo se consideró las siguientes etapas en el proceso humedal subsuperficial, caracterización del afluente de las aguas residuales provenientes del tratamiento terciario, caracterización del efluente de las aguas residuales.

Enfoque cuantitativo

Se realizó el tratamiento de las aguas residuales provenientes del tratamiento terciario aguas que se han tomado para el estudio para el sistema humedal subsuperficial a escala piloto, por lo que primeramente se implementó y diseño el humedal subsuperficial, para luego durante el tratamiento se tomaron muestras

representativas del efluente en seis fechas distintas para medir la concentración de la DBO5, DQO, coliformes termoestables, solidos totales. La población se consideró el humedal subsuperficial a nivel piloto, las muestras tomadas del afluente y efluente de las aguas residuales en el proceso del humedal subsuperficial (19).

Decreto Supremo N°003-2010-MINAM se comparó los resultados obtenidos con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales como se destaca en la Figura 2 (20).

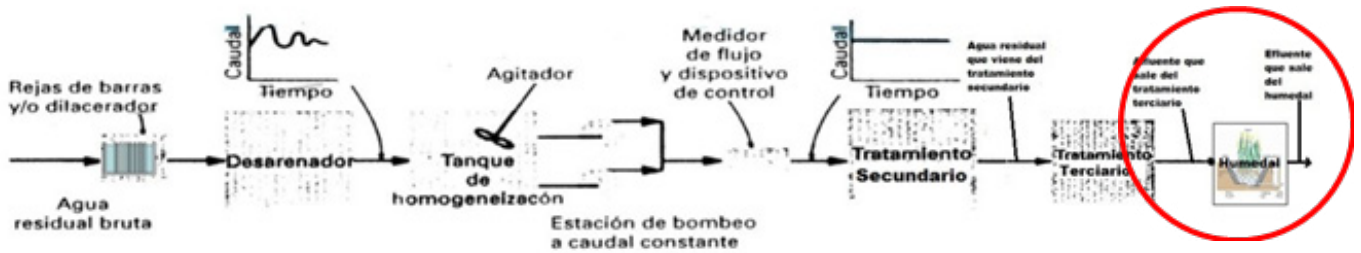


Figura 2. Proceso del agua residual domiciliaria, como afluente obtenido del tratamiento terciario y es alimentado al humedal subsuperficial para obtener efluente de agua residual para riego agrícola.

Técnicas de recopilación de datos, se utilizó la base de datos MyLOFT, con la finalidad de obtener información y funcionamiento del humedal subsuperficial, para tal efecto las aguas domiciliarias provenientes del distrito de Lucanas siguen todo un proceso hasta el tratamiento terciario, cuyas aguas residuales se toman como afluente para ser considerados en el sistema del humedal subsuperficial. Como instrumentos de recolección de datos: Materiales (En base de plásticos y de vidrio. Cal térmica para el traslado y conservación de las muestras). Equipos: Medidor pH de mesa, Marca: Oakton, Modelo: ION 2700, Serie: 2720841. Procesamiento con la herramienta Microsof Excel y para el análisis de datos el estadístico t-student (21).

Procedimiento: Diseño del humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola Tablas 1 y 2

Ecuación 2: (22) $K_T = K_{20}(1.06)^{(T-20)}$

Ecuación 3: (22) $A_s = \frac{Q(\ln(BDO_5)_e - \ln(BDO_5)_s)}{K_T(h)(\eta)}$

Ecuación 4: (22) $TRH = \frac{(A_s)(h)(\eta)}{Q}$

Ecuación 5: (23) $W = \frac{1}{h} * \sqrt{\frac{(Q)(A_s)}{(m)(K_s)}}$

Ecuación 6: (24) $L = \frac{A_s}{W}$

Tabla 1. Características típicas de los medios para humedales (23).

| Tipo de material | Tamaño efectivo D_{10} (mm) | Porosidad (%) | Conductividad hidráulica k , ($m^3/m^2/d$) |
|------------------|-------------------------------|---------------|--|
| Arena gruesa | 2 | 28 - 32 | 100 – 1 000 |
| Arena gravosa | 8 | 30- 32 | 500 – 5 000 |
| Grava fina | 16 | 35 – 38 | 1 000 – 10 000 |
| Grava media | 32 | 32 – 40 | 10 000 – 50 000 |
| Roca gruesa | 128 | 38 – 45 | 50 000 – 250 000 |

Tabla 2. Construcción de un HHAA FSS mediante la utilización de vegetación herbácea.

| Tratamiento | Código | Característica |
|-------------|---------|-------------------------------------|
| T-FSS | HHAA-01 | Schonoplectus Californicus (totora) |

RESULTADOS Consideraciones

Diseño del humedal subsuperficial para riego agrícola (Tabla 3).

- Cálculo del área necesaria,
- Profundidad del humedal
- Pendiente,
- Sustrato,
- Relación larga–ancho

$Q = 7.8 \text{ m}^3/\text{día}$ (529,34358 pies³/día)

$DBO_5 = 80 \text{ mg/L}$

$T = 5^\circ\text{C}$

Condiciones de salida $DBO_5 < 10 \text{ mg/L}$

Profundidad del Humedal HHAA FSS = 0.25 m

Tabla 3. Reducción de DBO_5 como función del tiempo de retención y temperatura.

| Temperatura | Tiempo de retención | Reducción de DBO_5 |
|-------------|---------------------|----------------------|
| 10 | 5 | 0 - 10 |
| 10 -15 | 4 - 5 | 30 - 40 |
| 15 - 20 | 2 - 3 | 40 - 50 |
| 20 -25 | 1 - 2 | 50 - 60 |
| 25 -30 | 1 - 2 | 60 -80 |

Fuente: Llagas y Gómez "Wastewater Stabilization Ponds, Principles of Planning & Practice, WAO, 1987"(25).

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 4.

Tabla 4. Caudal promedio (Q).

| Semana | Caudal promedio (m ³ /d) |
|------------------------|-------------------------------------|
| S-1 | 7.9 |
| S-2 | 7.7 |
| S-3 | 8.0 |
| S-4 | 7.6 |
| Caudal promedio diario | 7.8 (m ³ /d) |

Parámetros de diseño

Se consideró 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 5), 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 humedal efluente tiene un caudal de 7.8 m³/día y la temperatura del tiene un promedio de 10°C.

Tabla 5. Datos iniciales necesarios para implementación y diseño.

| Descripción | Cantidad | Unidad |
|---------------------------------------|----------|-----------------------------------|
| DBO5 (entrada) | 80 | mg/L |
| DBO5 (salida) | 10 | mg/L |
| Caudal | 7.8 | m ³ /d |
| Profundidad del humedal | 0.25 | m |
| Medio | | |
| Porosidad (η) | 0.38 | |
| Conductividad hidráulica (ks) | 25 000 | m ³ /m ² *d |
| Constante de temperatura (k20) | 1.104 | días-1 |
| 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 y Rivadeneira, sobre los parámetros que se muestran en la (Tabla 6), donde, “la constante de temperatura del humedal es $KT= 1,0400$ días⁻¹, el área superficial total del humedal es $As=370,6$ m², 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,(26).

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

Tabla 6. Datos iniciales necesarios para implementación y diseño.

| Ecuación | Característica | Símbolo | Valor | Unidades |
|------------|----------------------------------|---------|--------|--------------------|
| Ecuacion-2 | Constante de temperatura | KT | 0.4607 | días ⁻¹ |
| Ecuacion-3 | Área superficial | As | 370.6 | m ² |
| | “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 |

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, en la Tabla 7 se analizó la DBO_5 , DQO , SST y coliformes termoestables” y tomo en cuenta la norma “Decreto Supremo N°003-2010-MINAM (20).

Tabla 7. Análisis del agua residual Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

| Indicador | Unidades | Procedimiento | Tiempo de muestra | | | | | |
|-----------------|----------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | | | 2/04/2022 AR-1 | 9/04/2022 AR-2 | 16/04/2022 AR-3 | 23/04/2022 AR-4 | 30/04/2022 AR-5 | 7/05/2022 AR-6 |
| DBO5 | mg/L | APHA 5210 B(27) | 11 | 15 | 13 | 10 | 17 | 14 |
| DQO | mg/L | SM5220 D | 36 | 46 | 42 | 34 | 50 | 44 |
| Colif. Termo. | mg/L | APHA 9221 B | 2,5 x 103 | 4.0 x 103 | 3,2 x 103 | 2,9 x 103 | 4.2 x 103 | 3.8 x 103 |
| Solidos Totales | mg/L | APHA 2540 B | | 149 | 138 | 130 | 166 | 132 |

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 en la Tabla 7 con código: AR-1, AR-2, AR-3, AR-4, AR-5 y AR-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), siendo el $t_{\text{Crítico}}$ de (-2.015), quiere decir que el tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial SI contribuye significativamente en la calidad ambiental del agua. Por lo que el monitoreo que se realizó como se mostró en la Tabla 7, se analizó la DBO5 en los seis tratamientos de muestreo y se determinó que los tratamientos respectivos, se encuentre dentro de la norma del Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

DISCUSIÓN

El 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 m², 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.,(22). 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., (15). 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 10 de 25 mm, con porosidad de 38% y la conductividad hidráulica de 25000 m³/m²/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.

El tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial y 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 AR-1, AR-2, AR-3, AR-4, AR-5 y GAR-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 $t_{\text{Experimental}}$ (-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 y Rivadeneira, (26), en cuanto a la DBO5, además los investigadores probaron con varias especies vegetales.

CONCLUSIONES

El 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 al aplicarse la estadísticas de prueba de t -student, 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 AR-1, AR-2, AR-3, AR-4, AR-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.

Con el sistema humedal de flujo subsuperficial se busca contribuir con el medio ambiente, como lo plantea los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), definidos por Naciones Unidas que abordan los mayores retos de la humanidad desde una perspectiva global y transversal, con una visión a futuro hacia el año 2030. Por lo tanto, con esta investigación se permitió ser parte del fortalecimiento del objetivo 6 de la ODS, sobre la calidad de agua y saneamiento, además la escasez de agua, los problemas de calidad del agua y el saneamiento inadecuado trabajando por su uso racional y sostenible de ese recurso de primera necesidad y afrontando los riesgos relacionados con su escasez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Takeuchi H, Tanaka H. Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives. *Water Cycle*. 2020;1(May):1-12. doi:10.1016/j.watcyc.2020.05.001
2. Chung TS, Li X, Ong RC, Ge Q, Wang H, Han G. Emerging forward osmosis (FO) technologies and challenges ahead for clean water and clean energy applications. *Curr Opin Chem Eng*. 2012;1(3):246-257. doi:10.1016/j.coche.2012.07.004
3. Sikosana ML, Sikhwivhilu K, Moutloali R, Madyira DM. Municipal wastewater treatment technologies: A review. *Procedia Manuf*. 2019;35:1018-1024. doi:10.1016/j.promfg.2019.06.051
4. Miranda Castañón JR. 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". Published online 2012.
5. Wu H, Fan J, Zhang J, et al. Decentralized domestic wastewater treatment using intermittently aerated vertical flow constructed wetlands: Impact of influent strengths. *Bioresour Technol*. 2015;176:163-168. doi:10.1016/j.biortech.2014.11.041
6. Truu M, Juhanson J, Truu J. Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands. *Sci Total Environ*. 2009;407(13):3958-3971. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.11.036
7. Lu S, Wang J, Pei L. 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*. 2016;13(3):10 pag. doi:10.3390/ijerph13030298
8. Lu S, Zhang X, Liang P. 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*. 2016;139:561-566. doi:10.1016/j.jclepro.2016.08.013
9. Lu S, Zhang X, Wang J, Pei L. Impacts of different media on constructed wetlands for rural household sewage treatment. *J Clean Prod*. 2016;127:325-330. doi:10.1016/j.jclepro.2016.03.166
10. Huang X, Zhao F, Song C, Gao Y, Geng Z, Zhuang P. Effects of stereoscopic artificial floating wetlands on nekton abundance and biomass in the Yangtze Estuary. *Chemosphere*. 2017;183:510-518. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.05.091
11. Adminmgv. Tratamiento agua residual, Tratamiento Secundario, Tratamiento terciario. Sumyt. Published 2016. <https://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-maduracion/>
12. Rustige H, Platzer C. Nutrient removal in subsurface flow constructed wetlands for application in sensitive regions. *Water Sci Technol*. 2001;44(11-22):149-155. http://brasil.rotaria.net/wp-content/uploads/2017/09/01_2001-Platzer-Rustige-Water-Sci-Technol-Nutrient-removal.pdf
13. Hoffmann H, Platzer C. *Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo*. (Von Münch E, ed.). Technology review «Constructed Wetlands» Sustainable; 2010. <http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/ManualHumedal.pdf>
14. Rivas-Lucero BA, Nevárez-Moorillón VG, Bautista-Margulis RG, Pérez-Hernandez A, Saucedo-Terán R. Wastewater Treatment for Agricultural Use in a Fixed Bed Bioreactor. *Agrociencia*. 2003;37(2):157-166. <http://www.redalyc.org/pdf/302/30237206.pdf>
15. Ferrer-Sánchez MI, Bautista-Margulis RG, López-Hernández ES, et al. Environmental restoration and management of the seco river in tabasco, southern coast of the Gulf of Mexico. *WIT Trans Ecol Environ*. 2014;182(February):365-378. doi:10.2495/WP140321

- 16.** INEI. *Instituto Nacional de estadística e Informatica. Sistema ESTADISTICO nacional.* Oficina Departamental de Estadística e Informatica de ICA; 2017. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1496/libro.pdf
- 17.** Wikipedia. Wikipedia: Lucanas. Published online 2012:2. https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Lucanas
- 18.** Hernandez R, Fernandez C, Baptista P. *Metodología de la Investigación.* Sexta Edic. (McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES SADCV, ed.). Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736; 2014. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- 19.** Supo J. *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis.* Primera Ed. BIOESTADISTICO EIRL; 2015. <https://www.amazon.com/-/es/Dr-José-Supo/dp/1514270005>
- 20.** 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 Leg El Peru.* Published online 2010:1-2. <https://n9.cl/nrcey>
- 21.** Huaman E, Tarazona E. *Estadística para Ingeniería 2 (CE55), ciclo 2013-1.* Primera Ed.; 2021. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/292963>
- 22.** Delgadillo O, Camacho A, Andrade M, Pérez L. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua; 2010.
- 23.** Lara J. *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales.* Master. Published online 1999. <https://n9.cl/uw7i1>
- 24.** Romero M, Colín A, Sánchez E, Ortíz L. Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales: Evaluación de la Remoción de la Carga Orgánica. *Contam Ambient.* 2009;25(3):157-167. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>
- 25.** Llagas Chafloque W, Guadalupe Gómez E. Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de aguas Residuales en la UNMSM. *Revista del Inst Investig FIGMG.* 2006;15(17):85-96.
- 26.** Cueva TE, Rivadeneira BF. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea. Tesis. Published online 2013.
- 27.** Young J, Bowman G, Kamhawy S, Mills T, Patillo M, Whittemore R. Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.). 5210 A. Published online 2001:12. doi:10.1007/978-1-4419-6247-8_1310
- Conflicto de Intereses.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.