



Esta obra está bajo una
[Licencia Creative Commons
Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
Vea una copia de esta licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

**Humedales artificiales con *Dracaena sanderiana*
para disminuir carga orgánica en aguas
residuales domésticas vertidas al barranco
Shango 1, Moyobamba**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

Autoras:

Marcela Valeria Flores Díaz
<https://orcid.org/0009-0001-4545-2540>

Maricielo Melendez Saavedra
<https://orcid.org/0009-0000-5927-491X>

Asesor:

Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez
<https://orcid.org/0000-0002-5682-5330>

Moyobamba, Perú

2025



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis


**Humedales artificiales con *Dracaena sandariana*
para disminuir carga orgánica en aguas
residuales domésticas vertidas al barranco
Shango 1, Moyobamba**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

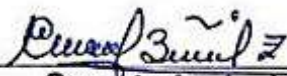
Autoras:

Marcela Valeria Flores Díaz
Maricielo Melendez Saavedra

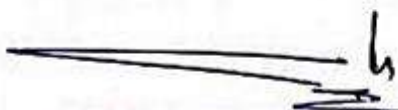
Sustentado y aprobado el 27 de noviembre del 2025, ante el honorable jurado:



Presidente de Jurado
Ing. Dr. Yrwin Francisco
Azabache Liza



Secretario de Jurado
Blga. M.Sc. Estela Bances
Zapata



Vocal de Jurado
Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala
Díaz



Asesor
Ing. M.Sc. Stanler Irigoín
Vasquez

Moyobamba, Perú

2025



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS CONDUCTENTES A
TÍTULO PROFESIONAL N° 063-2025-UNSM/EPIS/UI**

Jurado reconocido con Resolución N° 423-2024-UNSM/CF/FE, Moyobamba 29 de agosto de 2024.

**FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA SANITARIA**

A las 17:00 horas, del día jueves 27 de octubre de 2025, inició el acto público de sustentación del informe final de tesis “*Humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* para disminuir carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba*”, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario, presentado por Marcela Valeria Flores Díaz y Maricielo Melendez Saavedra, con la asesoría del Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez.

Instalada la Mesa Directiva conformada por el Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza (Presidente del jurado), Blga. M.Sc. Estela Bances Zapata (Secretario), Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz (Vocal) y acompañado por el Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez (Asesor), el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Resolución N° 680-2024-UNSM/CF/FE, de fecha 27 de diciembre de 2024.

Seguidamente las autores expusieron el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por las sustentantes y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia de las sustentantes y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue. **D.I.C.E.S.E.S... (16)**, tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es A.PROBATORIA.....y correspondiente a la calificación de...B.U.E.N.O...... Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que los autores deberán corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 002 del Programa de Estudios de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la UNSM.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y los autores del informe final de tesis en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 16:35..... horas, el mismo día jueves 27 de noviembre de 2025.

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
Presidente de Jurado

Blga. M.Sc. Estela Bances Zapata
Secretario de Jurado

Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz
Vocal del Jurado

Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez
Asesor

Marcela Valeria Flores Díaz
Autor

Maricielo Melendez Saavedra
Autor

Declaratoria de autenticidad



Marcela Valeria Flores Díaz, con DNI N° 73120315 y **Marcielo Melendez Saavedra**, con DNI N° 72676370, egresadas de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* para disminuir carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 27 de noviembre del 2025.



.....
Marcela Valeria Flores Díaz
DNI N° 73120315



.....
Marcielo Melendez Saavedra
DNI N° 72676370

Ficha de identificación

<p>Título: Humedales artificiales con <i>Dracaena sandariana</i> para disminuir carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y tecnología ambiental. Línea de investigación: Hidráulica y Saneamiento básico. Sublínea de investigación: Manejo Integral de Aguas Residuales, Excretas y Residuos Sólidos. Grupo de investigación: Hidráulica Y Saneamiento Básico, Resolución N° 137-2023-UNSM/CF/FE Moyobamba 28 de marzo del 2023 Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Marcela Valeria Flores Díaz</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0009-0001-4545-2540</p>
<p>Autor: Maricielo Melendez Saavedra</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0009-0000-5927-491X</p>
<p>Asesor: Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0000-0002-5682-5330</p>

Dedicatoria

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, Luana y Wagner, quienes con su ejemplo, sacrificio y apoyo incondicional me enseñaron a nunca rendirme y a luchar siempre por mis sueños y metas. Este logro les pertenece tanto a ustedes como a mí.

Marcielo

Dedico este trabajo a mi madre, la mujer que con su amor, sacrificio y fortaleza me enseñó a no rendirme nunca. A ti, mamá, que fuiste mi refugio en las dificultades, mi aliente en el cansancio y mi inspiración en cada paso. Este logro es el reflejo de todo lo que me has dado, tu paciencia, tus consejos, tus desvelos y, sobre todo tu amor incondicional. Gracias por ser la razón de mis esfuerzos y mayor motivación para alcanzar mis sueños.

Marcela

Agradecimientos

Al Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez, por su constante orientación, dedicación y valiosos aportes que guiaron el desarrollo de esta tesis.

Mi gratitud al señor Max, quien con generosidad nos brindó el espacio y el apoyo necesario para llevar a cabo la parte constructiva de esta investigación.

A mi madre Celia, mi mayor ejemplo de fortaleza y entrega, gracias por acompañarme en todo momento, por tu apoyo incondicional y por ser mi sostén emocional durante este camino. Tu apoyo no solo estuvo presente en lo emocional, sino también en el proceso constructivo y en la ejecución de este trabajo, donde supiste estar a mi lado con entrega y dedicación. Este logro no es solo mío, también es suyo, porque sin su presencia, su fe en mí y su inalcanzable apoyo, este sueño no habría sido posible.

A mi pareja Marco, por su presencia constante cuando más lo necesite, por su paciencia, aliento y respaldo en los momentos más difíciles, que me dieron fuerza y serenidad para culminar este proyecto.

Finalmente, agradezco a mi compañera Maricielo, con quien compartí este esfuerzo, por su compromiso y dedicación que hicieron posible alcanzar juntas este objetivo.

Marcela

Al Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez, por su orientación, paciencia y compromiso durante el desarrollo de la tesis, brindándome sus conocimientos y valiosas recomendaciones que fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Mi reconocimiento al señor Max, cuyo apoyo en el proceso constructivo fue indispensable para llevar a cabo nuestro proyecto; su colaboración práctica y disposición hicieron posible materializar lo que en un inicio solo era una idea en papel.

De manera muy especial, a mis padres, por ser el pilar de mi vida, por su amor incondicional y por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia se puede alcanzar cualquier meta. A mi hermano, por estar presente en todo momento, apoyándome de manera constante en el desarrollo de la tesis y animándome a seguir adelante.

A mi compañera de tesis Marcela Valeria, por su dedicación, compromiso y por compartir conmigo este camino, enfrentando juntas cada reto hasta alcanzar este resultado.

Maricielo

Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1. A nivel internacional.....	19
2.1.2. A nivel nacional	20
2.1.3. A nivel regional	21
2.2. Fundamentos teóricos.....	22
2.2.1. Aguas residuales	22
2.2.2. Carga orgánica en aguas residuales	24
2.2.3. <i>Dracaena sanderiana</i> “Bambú de la suerte”	25
2.2.4. Humedales artificiales.....	26
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	30
3.1.1. Contexto de la investigación	30
3.1.2. Periodo de ejecución	30
3.1.3. Autorizaciones y permisos.....	30
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad	30
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales	31
3.2. Sistema de variables.....	31

3.2.1. Variables principales	31
3.3. Procedimientos de la investigación	32
3.3.1. Diseño e implementación de los humedales artificiales con <i>Dracaena sanderiana</i> en el barranco Shango 1	34
3.3.2. Determinación de las concentraciones de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y carga orgánica (DBO ₅ y DQO) en el afluente y efluentes de los humedales artificiales con <i>Dracaena sanderiana</i>	37
3.3.3. Evaluación de la eficiencia de <i>Dracaena sanderiana</i> en la disminución de turbidez, SST y carga orgánica (DBO ₅ y DQO) en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1	39
3.3.4. Evaluación de los humedales artificiales con <i>Dracaena sanderiana</i> para disminuir la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba.....	40
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Diseño de los humedales artificiales con <i>Dracaena sanderiana</i> en el barranco Shango 1.....	42
4.2. Concentraciones de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y carga orgánica (DBO ₅ y DQO) en el afluente y efluentes de los humedales artificiales con <i>Dracaena sanderiana</i>	43
4.2.1. Concentraciones de turbidez, SST y carga orgánica (DBO ₅ y DQO) en el afluente de los humedales artificiales	44
4.2.2. Concentraciones de turbidez, SST y carga orgánica (DBO ₅ y DQO) en el efluente de los humedales artificiales	47
4.3. Eficiencia de <i>Dracaena sanderiana</i> en la disminución de turbidez, SST y carga orgánica (DBO ₅ y DQO) en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1.....	51
4.4. Humedales artificiales con <i>Dracaena sanderiana</i> para disminuir la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba.....	54
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

ANEXOS	69
Anexo 1. Mapa de ubicación del proyecto	69
Anexo 2. Permiso otorgado por la Municipalidad Provincial de Moyobamba	70
Anexo 3. Permiso otorgado para el uso del laboratorio de ingeniería sanitaria de la facultad de Ecología	71
Anexo 4. Ficha de cadena de custodia	72
Anexo 5. Planos del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales	73
Anexo 6. Datos de laboratorio	76
Anexo 7. Registro fotográfico.....	78

Índice de tablas

Tabla 1 Composición de aguas residuales sin tratamiento en determinados países... 23	23
Tabla 2 Parámetros de LMP de efluente para vertidos a cuerpos de aguas superficial	24
Tabla 3 Taxonomía del bambú de la suerte	25
Tabla 4 Descripción de variables por objetivo específico	31
Tabla 5 Procedimientos desarrollados para analizar las muestras.....	40
Tabla 6 Prueba de normalidad y homodadasticidad.....	40
Tabla 7 Parámetros de diseño del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales	42
Tabla 8 Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de turbidez en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales	54
Tabla 9 Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de SST en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales	55
Tabla 10 Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de DQO en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales	55
Tabla 11 Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de DBO ₅ en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales	56

Índice de figuras

Figura 1 Principales flujos de aguas residuales domésticas.....	23
Figura 2 Humedales artificiales basados en macrófitas enraizadas emergentes. (a) De flujo superficial, (b) Subsuperficial de flujo horizontal, (c) subsuperficial de flujo vertical.	28
Figura 3 Esquema del diseño de investigación.	34
Figura 4 Concentraciones de turbidez en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.....	44
Figura 5 Concentraciones de SST en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.....	44
Figura 6 Concentraciones de DQO en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.....	45
Figura 7 Concentraciones de DBO ₅ en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.....	46
Figura 8 Concentraciones de turbidez en los efluentes de los humedales artificiales.	47
Figura 9 Concentraciones de SST en los efluentes de los humedales artificiales.	48
Figura 10 Concentraciones de DQO en los efluentes de los humedales artificiales.	49
Figura 11 Concentraciones de DBO ₅ en los efluentes de los humedales artificiales.	50
Figura 12 Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de turbidez.	51
Figura 13 Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de SST.	52
Figura 14 Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de DQO.	53
Figura 15 Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de DBO ₅	53
Figura 16 Prueba de Tukey para evaluar el humedal óptimo en la disminución de carga contaminante en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1. (a) Turbidez, (b) SST, (c) DQO, (d) DBO ₅	56

RESUMEN

Humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* para disminuir carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba

Las aguas residuales domésticas se generan por las diversas actividades humanas en las viviendas y núcleos urbanos, y contienen una elevada concentración de materia orgánica y otros contaminantes. Cuando estos efluentes se descargan en ambientes naturales sin un adecuado tratamiento, pueden alterar la calidad del ambiente y afectar la salud poblacional. Esta situación es común en la ciudad de Moyobamba, que no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que provoca un gran número de vertimientos clandestinos, particularmente en los barrancos. Se tuvo como objetivo general Evaluar si los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* "Bambù de la suerte" disminuyen la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba. Se diseñó e implementó tres humedales artificiales (HA 1: testigo, HA 2: 20 plantas y HA 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*). Asimismo, se desarrolló el muestreo y análisis de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y carga orgánica como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), tanto en el afluente como en los efluentes del sistema de tratamiento. Finalmente se estimaron las eficiencias de disminución de la carga contaminante y se desarrollaron pruebas estadísticas como análisis de varianza (ANOVA) y Tukey para contrastar la hipótesis de estudio. Se diseñaron y construyeron tres humedales artificiales para tratar un caudal de 0,83 m³/día cada uno, donde se incorporaron medios filtrantes como grava, arena y piedra chancada. Se encontró que las aguas residuales vertidas en el barranco contienen contaminantes que exceden los límites máximos permisibles (LMP). No obstante, con el sistema de tratamiento, las concentraciones se redujeron a niveles inferiores a los LMP, alcanzando menores valores promedio con el humedal 2, con 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, que logró una reducción significativa en los parámetros: 32,6 NTU para turbidez, 47,8 mg/L para SST, 85,6 mg/L para DQO y 56,6 mg/L para DBO₅. Este sistema alcanzó también las mayores eficiencias promedio: 67,1 % para turbidez, 69,4 % para SST, 64,1 % para DQO y 65,3 % para DBO₅. Se concluyó que, *Dracaena sanderiana* es eficiente en la disminución de carga orgánica, turbidez y SST; sin embargo, una mayor densidad vegetal no necesariamente aumenta la eficiencia, lo que destaca su papel como factor clave en el rendimiento de los humedales artificiales.

Palabras clave: Aguas residuales domésticas, carga orgánica, *Dracaena sanderiana*, humedales artificiales.

ABSTRACT

Artificial wetlands with *Dracaena sanderiana* to reduce organic load in domestic wastewater discharged into the Shango 1 ravine, Moyobamba

Domestic wastewater is generated by various human activities in homes and urban centers, and contains high concentrations of organic matter and other pollutants. When these effluents are discharged into natural environments without adequate treatment, they can alter the quality of the environment and affect public health. This situation is common in the city of Moyobamba, which does not have a wastewater treatment system, leading to a large number of illegal discharges, particularly into ravines. The overall objective was to evaluate whether artificial wetlands with *Dracaena sanderiana* 'Lucky Bamboo' reduce the organic load in domestic wastewater discharged into the Shango 1 ravine, Moyobamba. Three constructed wetlands were designed and implemented (CW 1: control, CW 2: 20 plants, and CW 3: 40 *Dracaena sanderiana* plants). Sampling and analysis of turbidity, total suspended solids (TSS), and organic load as chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD₅) were also carried out, both in the influent and effluent of the treatment system. Finally, pollutant load reduction efficiencies were estimated and statistical tests such as analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test were performed to test the study hypothesis. Three artificial wetlands were designed and constructed to treat a flow of 0.83 m³/day each, incorporating filter media such as gravel, sand, and crushed stone. It was found that the wastewater discharged into the ravine contains pollutants that exceed the maximum permissible limits (MPL). However, with the treatment system, concentrations were reduced to levels below the PML, reaching lower average values with wetland 2, with 20 *Dracaena sanderiana* plants, which achieved a significant reduction in the parameters: 32.6 NTU for turbidity, 47.8 mg/L for TSS, 85.6 mg/L for COD, and 56.6 mg/L for BOD₅. This system also achieved the highest average efficiencies: 67.1% for turbidity, 69.4% for TSS, 64.1% for COD, and 65.3% for BOD₅. It was concluded that *Dracaena sanderiana* is efficient in reducing organic load, turbidity, and TSS; however, higher plant density does not necessarily increase efficiency, highlighting its role as a key factor in the performance of constructed wetlands.

Keywords: Domestic wastewater, organic load, *Dracaena sanderiana*, constructed wetlands.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

Los efluentes domésticos son aguas producidas por el desarrollo de las diversas actividades del ser humano (Osorio-Rivera et al., 2021). Estas aguas son conducidas desde las instalaciones hacia alcantarillas, para luego ser transportadas a las conocidas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (García-Aljaro et al., 2019). En ciudades donde no existen PTARs o donde hay sistemas de tratamiento deficientes, los efluentes se vierten con elevada carga contaminante en ríos, quebradas y lagunas que pueden ser contaminadas (Edokpayi et al., 2017).

En toda sociedad uno de los principales requisitos sanitarios es recolectar, tratar y eliminar adecuadamente las aguas residuales, a la vez, estos procesos representan riesgos para el ambiente y la salud pública (Chawla y Singh, 2014). Por esta razón, los sistemas de saneamiento juegan un papel fundamental en el desarrollo y la planificación de la infraestructura urbana (Bonilla et al., 2019). A pesar de su importancia, el 48 % del total de aguas residuales generadas en el mundo ($359,4 \times 10^9$ m³/año) se vierte al ambiente sin un tratamiento adecuado (Jones et al., 2021), lo que puede ocasionar enfermedades transmitidas por el agua y el deterioro de la calidad de los recursos hídricos (Ferreira et al., 2021; Hafeez et al., 2021). Además, se proyecta que la producción mundial de aguas residuales (380×10^9 m³/año) aumentará un 24 % para 2030 y un 51 % para 2050 (Qadir et al., 2020). En términos de tratamiento, solo el 8 % de las aguas residuales se gestionan adecuadamente en países de bajos ingresos, mientras que en países de ingresos medianos bajos y medianos altos, las tasas de tratamiento alcanzan el 28 % y el 38 %, respectivamente. En los países de ingresos altos, la proporción de aguas residuales tratadas es considerablemente mayor, alcanzando el 70 % (Environment and Natural Resources Department, 2022).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) entre el año 2016 a 2022 el vertimiento de efluentes domésticos sin tratamiento en el Perú se redujo de 346 029 577 m³ a 211 343 633 m³ y en el departamento de San Martín aumentó de 9 810 508 m³ a 11 474 795 m³ (INEI, 2023). Además, solo el 34 % del total de aguas residuales vertidas en el país recibe un tratamiento antes de su vertimiento a cuerpos de agua y de acuerdo a informes emitidos por las municipalidades, las aguas residuales representan al tercer gran problema ambiental a nivel nacional que deteriora la calidad del agua de los ríos (Lima, 2020).

Las aguas residuales domésticas contienen diferentes contaminantes que incrementan las concentraciones de DQO y DBO₅ (Agarwal et al., 2022). Ambos parámetros estiman la contaminación orgánica en cuerpos hídricos superficiales y en aguas residuales, por ello resulta imprescindible mantener niveles bajos de estos parámetros e impedir de esta forma impactos en el ambiente (Edokpayi et al., 2017). Elevados niveles de carga orgánica dañan el ecosistema acuático debido a las variaciones en la calidad del agua y aumento de pH produciendo la desaparición de especies de flora y fauna acuática (Raffo & Ruiz, 2014).

El Bambú de la suerte es una planta ornamental que necesita de ambientes sombríos sin la presencia de luz solar directa (Aslam et al., 2013). Se describe como una especie floral acuática fitorremediadora en cursos de agua y es eficiente para reducir la contaminación hídrica a través de la biotransformación y bioacumulación de elementos orgánicos e inorgánicos en sus tejidos (Hassan et al., 2021). Algunos estudios han demostrado la eficiencia para tratar aguas residuales. Por ejemplo, Bich (2023) reportó que la especie en estudio tiene una alta eficiencia para tratar plomo en el agua, metal que se acumula sobre todo en las raíces y en menor proporción en los tallos y hojas. En el ámbito nacional, Peña (2021) demostró que *Guadua Angustifolia*, “Bambú” logró reducir en un 99 % concentraciones fisicoquímicas, microbiológicas y de metales pesados de aguas residuales domésticas, convirtiéndolo en apto para el riego. En tanto, en el ámbito regional, Herrera (2018) demostró eficiencias mayores al 80 % para DBO₅ y DQO con humedales artificiales de Bambú.

Moyobamba, no cuenta con un sistema para tratar sus aguas residuales domésticas, por lo que se vierten de forma directa en el río Mayo y en 17 puntos de vertimiento (Rodrigo, 2023). Por otro lado, la ciudad se caracteriza por sus barrancos, que son ambientes muy importantes para proveer una gama de servicios ecosistémicos para la población. Sin embargo, tal y como manifiesta Llaja (2024) estas áreas naturales están constantemente amenazadas por la contaminación de efluentes residuales.

El barranco Shango 1, es un área donde las viviendas aledañas vierten constantemente sus aguas residuales, si bien no se cuenta con un registro del número de viviendas que descargan sus efluentes, el caudal calculado en el cruce del Jr. Benavides con pasaje Benavides es de 1,213 l/s. Además, en esta zona natural se evidencia una elevada contaminación que causa problemas ambientales y de salud pública, que deben ser solucionados con la implementación de sistemas de tratamiento eficientes y económicos. Por tal motivo, el estudio buscó implementar humedales artificiales con

Dracaena sanderiana para disminuir la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1.

La investigación se realizó considerando la siguiente problemática: ¿En qué medida los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* disminuyen la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba? Con la finalidad de responder esta interrogante, se planteó la hipótesis nula (H_0): Los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* no disminuyen la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba. Mientras que la hipótesis alterna (H_1) fue: Los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* disminuyen la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba. Los objetivos específicos planteados fueron: 1ro: Diseñar e implementar los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* en el barranco Shango 1; 2do: Determinar las de las concentraciones de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y carga orgánica (DBO_5 y DQO) en el afluente y efluentes de los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana*; y, 3ro: Evaluar la eficiencia de *Dracaena sanderiana* en la disminución de turbidez, SST y carga orgánica (DBO_5 y DQO) en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

López & Magaña (2023) evaluaron la eficiencia de *Sagittaria latifolia* en humedales libres y subsuperficiales para remover contaminantes de aguas residuales, que fueron instalados en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en México. Implementaron 12 humedales, tres libres con especies y tres sin especies, tres subsuperficiales con especies y tres sin especies, con tiempos de retención de 6,7 días para los libres y 3,5 días para los subsuperficiales. Encontraron que los humedales subsuperficiales con especies presentaron un efluente con $4,4 \pm 0,8$ NTU de turbidez, $143,9 \pm 27,4$ UC de color y $33,9 \pm 25,7$ mg/L de DQO. En cambio, las muestras libres de especies mostraron $10,1 \pm 2,8$ NTU de turbidez, $346,3 \pm 87,0$ UC de color y $74,7 \pm 30,0$ mg/L de DQO. Asimismo, determinaron que el humedal con mayor rendimiento fue el subsuperficial con especies, eliminando DQO, color y turbidez en un 95,7, 89,4 y 95,9 %, respectivamente.

Nast et al. (2022) evaluaron el uso de especies de bambúes como alternativa a macrófitas en humedales construidos, mediante el análisis bibliométrico y una revisión basada en estudios de caso, los mapas obtenidos con el software VOSviewer y por los análisis de las bases de datos Web of Science y Scopus que favorecieron la revisión de conceptos típicos de humedales construidos y la identificación de beneficios potenciales del uso de bambúes en los humedales. Entre sus resultados identificaron aspectos prometedores como el uso de carbón de bambú en humedales subsuperficiales. Además, encontraron en seis estudios de caso eficiencias entre 89 – 99,7 % para DBO_5 y entre 47,6 – 99,7 % para DQO.

Nguyen et al. (2020) desarrollaron un sistema único combinando el flujo vertical empleando arcilla expandida y el humedal superficial de flujo libre para depurar y reutilizar aguas residuales en el campus de la Universidad de Hue-Quang Tri en Vietnam. El tanque de flujo vertical consistió en capas filtrantes de arcilla expandida, suelo arenoso, arena y grava, y sembraron *Colocasia esculenta*, en cambio el humedal superficial de flujo libre consistió en sustratos de suelo arenoso con especies de *Dracaena sanderiana* y fue instalado luego del sistema de flujo vertical. Además, el sistema funcionó durante más de 21 semanas incrementando la tasa de carga hidráulica de 0,02 m/d a 0,12 m/d. Encontraron que los efluentes del sistema cambiaban

proporcionalmente a la carga hidráulica y las máximas eficiencias de eliminación de DBO₅, SST, NH₄-N y coliformes totales fueron del 74±11 %, 76±13 %, 90±3 % y 59±18 %, respectivamente. Además, determinaron que el sistema de flujo vertical alcanzó mayores eficiencias en la eliminación de materia orgánica, nutrientes y bacterias en relación al humedal superficial de flujo libre.

2.1.2. A nivel nacional

Peña (2021) en el distrito El Alto, en Piura, evaluó la eficiencia de un humedal artificial de flujo horizontal utilizando *Guadua Angustifolia* para tratar aguas residuales del sector doméstico. Desarrolló un estudio cuasiexperimental y analizó concentraciones fisicoquímicas y microbiológicas antes y después del humedal no natural. Encontró que el humedal construido fue eficiente en un 99 % para la remoción de concentraciones fisicoquímicas, microbiológicas y de metales pesados de aguas residuales domésticas. La concentración de DBO₅ (410 mg/L) y DQO (200 mg/L) en el agua residual superaron los LMP establecidos en el Decreto Supremo 003-2010 y se redujeron hasta 12 mg/L para DBO₅ y 30 mg/L para DQO con la implementación del humedal artificial con *Guadua Angustifolia*.

Vizcarra (2021) evaluó la eficiencia en la remoción de sulfatos, manganeso y hierro de muestras de aguas ácidas utilizando un humedal de flujo sub superficial con especies de bambú de la suerte como elemento vegetativo, en el "Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR)" de la Universidad Nacional de Ingeniería. Construyó e instaló los componentes del humedal que consistió en un módulo de vidrio subdividido en cuatro compartimientos con individuos de bambú, para promover reacciones biológicas a nivel subsuperficial a fin de reducir sulfatos y metales pesados. Encontró una elevada efectividad del humedal artificial con la especie en estudio para remover concentraciones de hierro en aguas ácidas. En cambio, referente al manganeso corroboró que fue la concentración del metal más difícil de disminuir, reduciendo entre 44,01 y 86,61 % para marzo y entre 38,75 y 61,32 % para abril.

Torres & Torres (2019) en el distrito de Paccho, provincia de Huaura, estimaron el efecto de biofiltros con diferentes concentraciones de carbón vegetal de bambú en las características fisicoquímicas y microbiológicas del efluente doméstico. Utilizaron proporciones de 0 kg (control), 1 kg, 2 kg y 3 kg de carbón vegetal por 20 litros de efluente doméstico y analizó parámetros como temperatura, sólidos totales, disueltos y suspendidos totales, pH, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO₅, DQO y coliformes fecales. Entre sus resultados encontraron que la DBO₅ se redujo de 395,2

a 34,33 mg/L y la DQO de 388,83 a 52,7 mg/L. Además, encontraron que el biofiltro con 3 kg de carbón vegetal de bambú mostró efectos más significativos en reducción de concentraciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica.

2.1.3. A nivel regional

García (2021) evaluó la eficiencia de remoción de concentraciones de contaminantes de efluentes residuales domésticas mediante la aplicación del sistema biológico Tohá a escala de planta piloto construido en la ciudad de Moyobamba. El sistema implementado contó con un tanque de almacenamiento de 1 100 l de volumen, con una bomba sumergible de 1 hp. El filtro biológico fue de 8,13 m³ con materiales filtrantes como: aserrín, arena fina, malla raschel, piedra chancada, piedra over y lombrices. Además, los componentes auxiliares fueron: una caja de registro de 0,6 x 0,6 m y un lecho de secado de 0,6 x 0,6 m con piedra chancada, arena fina, piedra over y materiales filtrantes. Encontró porcentajes de remoción de: 76,12 % para DQO, 84,21 % para DBO₅, 23,56 % para pH, 20,79 % para SST y 52,86 % para coliformes termotolerantes. Asimismo, a excepción de SST y coliformes termotolerantes todos los demás parámetros cumplieron los LMP.

Guerra (2022) estudió la depuración de las aguas residuales municipales del distrito de Jepelacio, utilizando un humedal artificial con tamices flotantes de la especie *Scirpus Californicus* "totora". Midió concentraciones fisicoquímicas y microbiológicas de cada 15 días en un periodo de 3 meses tanto en el afluente como en el efluente del sistema. Construyó un humedal con dimensiones de 2,0 m de ancho y 5,7 m de largo, donde colocó tamices flotantes de totora con densidad de siembra de 16 plantas/m². Asimismo, reportó eficiencias de 51,57 % para SST, 61,15 % para DQO, 68,39 % para DBO₅ y 99,93 % para coliformes termotolerantes.

Herrera (2018) en el centro poblado Santa Catalina, distrito de Moyobamba, estimó la eficiencia de *Guadua angustifolia* para tratar aguas residuales del sector doméstico. El diseño de los humedales artificiales lo realizó con los efluentes domésticos de dos viviendas del centro poblado y construyó 3 humedades artificiales (el primero: 5 plantas, el segundo: sin plantas y el tercero: 10 plantas de bambú). Entre sus resultados encontró eficiencias que para DQO que variaron entre 81,76 y 87,42 % con el humedal 1 y entre 83,55 y 90,20 % con el humedal 3. En cambio, para DBO₅ las eficiencias fluctuaron entre 82,59 y 90,63 % con el primer humedal y entre 83,43 y 91,86 % con el tercer humedal.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son aguas cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alterados como resultado de la introducción de determinadas sustancias que hacen que sea inadecuado e inseguro para algunos usos, como el consumo humano (Amoatey & Bani, 2011).

Por su parte, Osorio et al. (2010) definen como agua residual al efluente que proviene del uso de agua natural o de la red para determinados usos y se conoce como vertimiento al proceso de eliminación de estos efluentes.

Las aguas residuales representan a una de las principales causas de la contaminación del agua. Se producen de forma continua sin un tratamiento adecuado y las instalaciones deficientes de tratamiento dan lugar a que se desarrollen inadecuados tratamientos de estos efluentes que son descargados en fuentes superficiales receptoras, lo que genera la contaminación (Owhonka et al., 2021).

2.2.1.1. Aguas residuales domésticas

De forma específica, las aguas residuales del sector doméstico son aquellas empleadas para fines higiénicos (lavanderías, cocinas, baños, etc.), consideran particularmente restos humanos que se transportan a la red de alcantarillado luego de ser vertidos desde instalaciones hidráulicas de las edificaciones y aquellos efluentes generados en establecimientos públicos, comerciales y similares (Díaz-Cuenca et al., 2012).

Las aguas residuales domésticas presentan una variedad de contaminantes como son materia orgánica particulada y soluble, constituyentes medicinales, patógenos, sales, residuos de cocina y baños, metales pesados, productos químicos domésticos, biorresiduos, detergentes, aceites y grasas, y nutrientes (Agarwal et al., 2022).

Las aguas residuales domésticas se caracterizan generalmente por dos flujos principales de residuos: los residuos de los inodoros, comúnmente denominados aguas negras, y los demás residuos domésticos, comúnmente denominados aguas grises o aguas residuales (Figura 1). Las aguas grises domésticas son las aguas residuales de los hogares que no han entrado en contacto con los residuos de los inodoros (Geary, 1998).

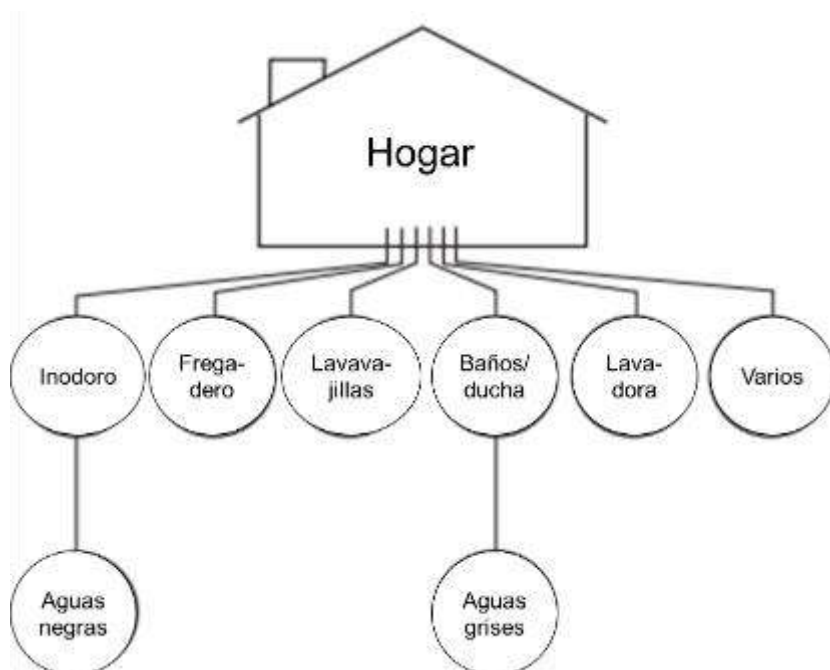


Figura 1

Principales flujos de aguas residuales domésticas.

Nota: Tomado y adaptado de Siegrist (1977, como se citó en Geary, 1998)

2.2.1.2. Composición de las aguas residuales del ámbito municipal y urbano

Las aguas residuales se encuentran compuestas por efluentes domésticos que consisten en aguas grises y aguas negras; escorrentía agrícola, acuícola y hortícola; efluentes industriales, aguas de lluvia y otras escorrentías del ámbito urbano; y también aguas de establecimientos e instituciones de comercio, incluyendo hospitales (Raschid-Sally & Jayakody, 2008). Principalmente se constituye del 0,1 % de orina y material fecal y del 99,9 % de agua (Manyuchi et al., 2018).

Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP, 2017) la composición exacta de las aguas residuales difiere a nivel mundial (Tabla 1), lo que se determina por un conjunto de factores como el uso doméstico del recurso hídrico y el grado de industrialización/comercialización.

Tabla 1

Composición de aguas residuales sin tratamiento en determinados países

Parámetros	EE.UU	Marruecos	Francia	Jordania	Pakistán
Fósforo total	4-15	4-5	1-25	36	nd
Nitrógeno total y potasio	20-85	29	30-100	28	nd
Sólidos suspendidos	100-350	160	150-500	nd	76-658
Demanda química de oxígeno	250-1000	200	300-1000	386	83-103
Demanda bioquímica de oxígeno	110-400	45	100-400	152	193-762

Nota. Tomado y adaptado de ONU-Agua (2015, como se citó en WWAP, 2017)

2.2.1.3. Límites máximos permisibles (LMP) para el vertimiento de efluentes de PTAR de aguas residuales domésticas o municipales

El Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM establece los LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales o domésticas para el sector vivienda, cuya finalidad se centra en controlar el exceso de las concentraciones fisicoquímicas y biológicas en efluentes, para de esta forma evitar daños al ambiente y la salud. Los LMP fijados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2

Parámetros de LMP de efluente para vertidos a cuerpos de aguas superficial

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpo receptor
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1 000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,8 – 8,5
Sólidos totales suspendidos	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. Tomado del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

2.2.2. Carga orgánica en aguas residuales

Generalmente, la concentración de carga orgánica en las aguas residuales se mide a través del contenido de carbono orgánico total (COT), carbono orgánico disuelto (COD), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (Yang et al., 2014). La relación entre la DBO₅/DQO indican la biodegradabilidad de los efluentes residuales (Rojas, 2002).

Entre los parámetros de mayor preocupación para la salud humana y el ambiente se encuentran los componentes de materia orgánica procedentes de efluentes residuales. Esta carga orgánica debe ser caracterizado de forma cuidadosa con el objetivo de encontrar métodos de tratamiento óptimos para reutilizar el agua (Shon et al., 2007).

2.2.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Parámetro que establece la proporción de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para llevar a cabo la oxidación aerobia del material orgánico presente en el agua. Esta oxidación es un procedimiento muy lento y se puede decir que la materia orgánica, para que se oxide de forma completa requiere de una infinidad de tiempo. A los 5 días se determina la DBO₅, periodo donde se contempló la oxidación entre un 60 a 70 % (Martos, 2004).

Las típicas fuentes de DBO son el carbono orgánico fácilmente biodegradable y el amoniaco. Estos compuestos son subproductos metabólicos o constituyentes comunes de los restos animales y vegetales, y de las actividades antrópicas (efluentes domésticos

e industriales). El vertimiento de residuos con alta carga de DBO puede ocasionar problemas de calidad hídrica, como grave agotamiento de oxígeno y el deceso de peces en cuerpos receptores (Penn et al., 2009).

2.2.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

Es un parámetro general para medir la contaminación orgánica y describe la proporción de oxígeno requerido en la oxidación de la materia orgánica e inorgánica del agua. Representa la fracción de DQO oxidable biológicamente por bacterias (Sasse, 1998).

El aumento de los niveles de DQO de las aguas residuales es el resultado de la acumulación de residuos sólidos, compuestos orgánicos solubles, anticongelantes, restos de comida, aceites emulsionados y células bacterianas moribundas que son responsables de la descomposición y liberación de carbono orgánico disuelto en las aguas residuales, lo que a su vez aumenta la DQO (Sharma & Dahiya, 2023).

2.2.2.3. Otros parámetros de estudio

Sólidos suspendidos totales: Este parámetro es particularmente de naturaleza orgánica y se encuentra conformado por materiales más objetables que forman parte del efluente residual. En gran mayoría, los sólidos suspendidos son restos del ser humano, trapos, papel, alimentos y células biológicas que forman masas de sólidos suspendidos en el efluente (Valdez y Vázquez, 2003).

Turbidez: Está conformada por la cantidad de partículas no disueltas en suspensión conocidas como coloides. Usualmente estas partículas se encuentran presentes en la masa hídrica que imposibilita condiciones de transparencia. Además, la turbidez favorece a la proliferación y desarrollo de elementos patógenos (Quispe et al., 2020).

2.2.3. *Dracaena sanderiana* “Bambú de la suerte”

2.2.3.1. Descripción taxonómica

En la Tabla 3 se muestra la descripción taxonómica de la especie en estudio.

Tabla 3

Taxonomía del bambú de la suerte

	Taxonomía
Phylum	: Euphyta
División	: Angiospermae
Clase	: Monocotyledones
Orden	: Liliiflorae
Familia	: Liliaceae
Género	: <i>Dracaena</i>
Especie	: <i>Dracaena sanderiana</i>

Nota. Tomado de Miguez (2011)

2.2.3.2. Descripción general del bambú de la suerte

Es nativa del Congo y Camerún, representa a una de las especies más comunes del género *Dracaena* (Bryan et al., 1976). Esta especie se distribuye en ambientes tropicales y subtropicales de África y la India, aunque en la actualidad se amplió a nivel mundial a excepción de Europa. Además, es reconocido como un vegetal ornamental que necesita de áreas sombrías sin recibir luz solar directa (Aslam et al., 2013).

2.2.3.3. Reproducción

Es adecuado utilizar el término micropropagación debido a que se multiplican a través de esquejes terminales de tallo que presentan longitudes entre los 5 y 8 cm. De un individuo adulto se puede obtener hasta 3 o 4 individuos a través de esqueje y tienen un periodo de vida mínimo entre 5 a 6 años (InfoAgro, s.f.).

2.2.3.4. Desarrollo

Las *Dracaenas* muestran un desarrollo normalmente bastante lento y logran alturas desde 40 a 60 cm hasta 1,20 m. Las condiciones adecuadas de temperatura para su desarrollo se encuentran entre los 20 y 28 °C. En el caso de que las *Dracaenas* se encuentren en el medio acuático, las condiciones de pH deben estar entre 6 y 8 (InfoAgro, s.f.).

2.2.3.5. Características

La especie es delgada y llega a alcanzar entre 0,9 a 1,0 m de alto, con tallo ramificado y leñoso donde sus hojas se encuentran dispuestas a lo largo del tallo de forma alternada en forma de roseta. Sus hojas son onduladas, lanceoladas, de ancho entre 3 a 4 cm y de largo entre 15 a 25 cm, de color verde con los márgenes provistos de una banda de color blanco (Bryan et al., 1976).

Además, se considera como una planta resistente y sobrevive muchos meses sumergido, aunque de preferencia se debe situar en lugares poco profundos o en zonas altas de acuarios destapados (Hiscock, 2024).

2.2.4. Humedales artificiales

Los humedales artificiales se caracterizan por ser una alternativa viable para remover múltiples contaminantes de efluentes (López-Ocaña & Magaña-Flores, 2023). Son efectivos para tratar aguas residuales con bajos costos de construcción y operación en relación a aquellos sistemas convencionales, debido a sus exigencias bajas en energía y mano de obra, convirtiéndose así en una buena alternativa de tratamiento (Kadlec & Wallace, 2009; Snyder, 2019)

Los humedales presentan tres funciones básicas que los hace como sistemas potencialmente atractivos para tratar aguas residuales: fijan de forma física los

contaminantes en la superficie del suelo y el material orgánico, emplean y convierten los elementos a través de los microorganismos y alcanzan altos niveles de tratamiento con consumo de energía relativamente bajo y con el mínimo mantenimiento (Lara, 1999).

2.2.4.1. Tipos de humedales

Se clasifican según tipo de macrófitas que utilizan para su funcionamiento: flotantes libres o fijas al sustrato (enraizadas). Asimismo, de acuerdo a la forma de vida de las macrófitas, los humedales se pueden clasificar en (Delgadillo et al., 2010):

a) Humedales artificiales basados en macrófitas de hojas flotantes:

Particularmente angiospermas que se localizan en suelos anegados. En este caso los órganos reproductores son aéreos o flotantes. *Lemna* sp “lenteja de agua” y *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua” son las especies que más se utilizan en este sistema (p. 8).

b) Humedales artificiales basados en macrófitas sumergidas:

Considera muchas angiospermas, numerosos carófitas y musgos, y algunos helechos. Se localizan en toda la zona donde llega la luz del sol (ambiente fótico), aunque las angiospermas vasculares solamente viven alrededor de los 10 m de profundidad. Los órganos reproductores son sumergidos, flotantes o aéreos (p. 8).

c) Humedales artificiales basados en macrófitas enraizadas emergentes:

Generalmente son especies perennes, cuyos órganos reproductores son aéreos. Se localizan en suelos anegados temporalmente o permanente (p. 8).

Asimismo, los humedales que consideran macrófitas enraizada emergentes pueden ser de dos tipos diferentes, según la circulación del agua a utilizar: 1) humedales de flujo superficial, cuando el recurso hídrico recorre de manera superficial por entre los tallos de las plantas y, 2) humedades de flujo subsuperficial, cuando el agua recorre por debajo de la superficie del estrato del humedal (Delgadillo et al., 2010).

2.2.4.2. Características de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial, basados en macrófitas enraizadas emergentes

a) Humedales artificiales de flujo superficial

En estos sistemas el agua recorre principalmente por los tallos de las plantas y se encuentran expuestas directamente al medio atmosférico. Los sistemas son una modificación a las lagunas convencionales, a diferencia que son menos profundas (no mayor a 0,6 m) y cuentan con plantas (Figura 3a) (Delgadillo et al., 2010).

b) Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Estos sistemas se caracterizan porque el recorrido del agua se desarrolla mediante un componente granular (subterráneo), con una profundidad de agua próxima a 0,6 m. Las

especies vegetales son plantadas en este medio granular y el agua permanece en contacto con las raíces y rizomas de las plantas (Delgadillo et al., 2010). Estos humedales pueden ser de flujo horizontal y de flujo vertical.

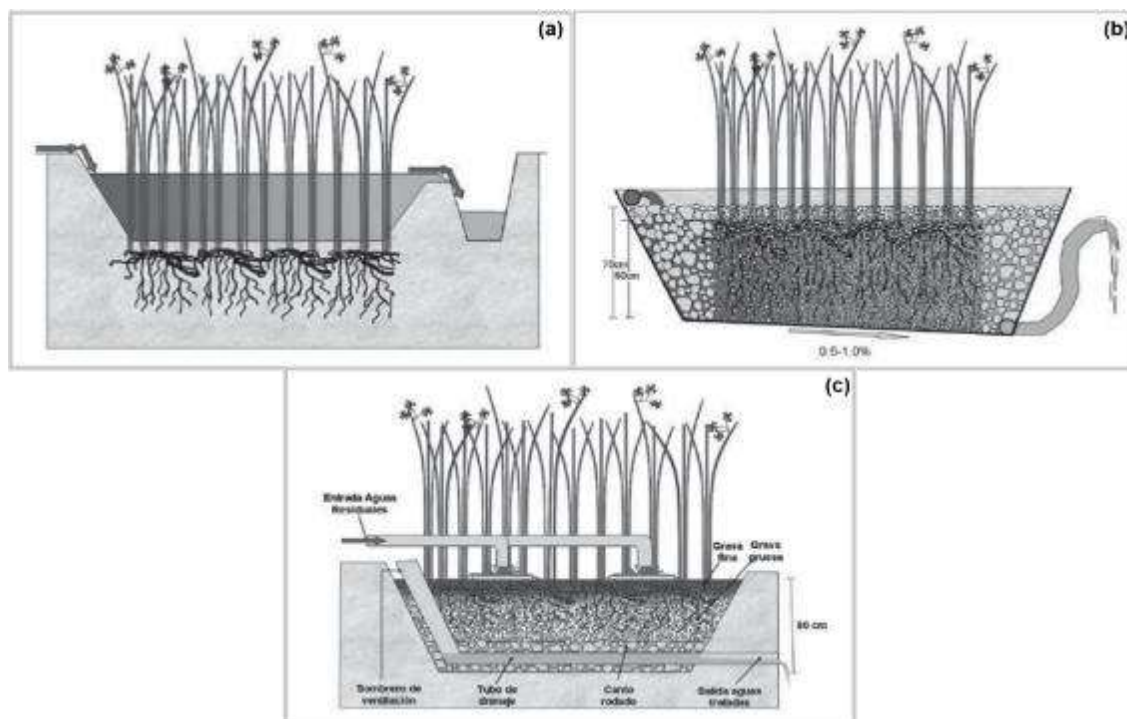


Figura 2

Humedales artificiales basados en macrófitas enraizadas emergentes. (a) De flujo superficial, (b) Subsuperficial de flujo horizontal, (c) subsuperficial de flujo vertical.

Nota. Tomado de Delgadillo et al. (2010)

Los humedales subsuperficiales de flujo horizontal, generalmente consisten en una cama de tierra o grava y arena, con macrófitas acuáticas. Para evitar filtraciones en el suelo, toda la cama se cubre con una membrana impermeable. El agua residual entra directamente por la parte superior de un extremo y se recoge por un tubo en la zona opuesta inferior. El lecho tiene una pendiente de entre 0,5 a 1 % y su profundidad difiere entre 0,45 m a 1,0 m (Figura 2b). No existe un ingreso directo del agua residual al medio granular principal (cuerpo), ya que hay un área de amortiguamiento compuesto de grava de mayor tamaño. El diámetro de la grava varía entre 50 a 100 mm y en el área de plantación se utiliza grava fina de diámetro (entre 3 y 32 mm). Resulta muy importante que el agua que entra al humedal debe mantenerse en una magnitud inferior a la superficie (entre 5 a 10 cm) (Delgadillo et al., 2010).

Los humedales subsuperficiales de flujo vertical se cargan intermitentemente, por lo que se conocen también como filtros intermitentes. En este sistema las aguas residuales se reciben de arriba hacia abajo mediante tuberías (Figura 2c). Las aguas residuales se infiltran de forma vertical mediante un sustrato inerte (gravas, arenas) y son recogidas en el fondo del humedal en una red de drenaje. Las especies vegetales emergentes se

plantan en el medio granular. Además, con el fin de promover condiciones aerobias del ambiente poroso, se desarrolla sistemas de aireación con chimeneas (tuberías con salidas a la zona exterior). En estos humedales, el sustrato se conforma por diferentes capas, en la parte superior están las más finas y el diámetro se incrementa hacia abajo (Delgadillo et al., 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

3.1.1.1. Ubicación política

- Área : Barranco Shango 01
- Distrito : Moyobamba
- Provincia : Moyobamba
- Departamento : San Martín

3.1.1.2. Ubicación geográfica

El área de estudio y el lugar donde se implementarán los humedales artificiales se localiza en el barranco Shango 1, en el cruce del Jr. Benavides con el pasaje Benavides, barrio de Calvario del distrito y provincia de Moyobamba, departamento de San Martín. Específicamente el área se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Z 18S: X: 281604; Y: 9332307, a una altitud aproximada de 872 m.s.n.m. (ver Anexo 1).

3.1.2. Periodo de ejecución

Seis meses contados desde el 27 – 12 – 2024 al 26 – 06 – 2025, con un periodo de ampliación de 2 meses, hasta el 26 – 08 – 2025.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Se solicitó la autorización correspondiente a la Municipalidad Provincial de Moyobamba (MPM), a fin de obtener el permiso para la instalación de los humedales artificiales en un área del barranco Shango 1, en el cruce del Jr. Benavides con el pasaje Benavides, en el barrio de Calvario. El permiso otorgado se muestra en el Anexo 2.

Asimismo, se pidió el permiso a la autoridad competente de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín (UNSM) para el uso de equipos y materiales, así como el ingreso al laboratorio de la Ingeniería Sanitaria, con la finalidad de analizar las muestras de agua residual recolectadas en el área de estudio. El permiso otorgado se muestra en el Anexo 3.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Se consideró medidas de bioseguridad durante la construcción de los humedales en el área de estudio, así como en la toma y análisis de muestras en el laboratorio.

Por otro lado, se evitó la disposición inapropiada de residuos sólidos en el ambiente. Para ello, se utilizaron bolsas plásticas y contenedores para el depósito de todos los desechos generados durante la construcción y operación del sistema de tratamiento. Luego, los residuos fueron transportados por el camión recolector de la ciudad de Moyobamba.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Se respetaron un conjunto de principio éticos de investigación. Entre estos destaca el respeto hacia el ecosistema, respetos hacia las personas, la justicia, integridad, beneficencia, además de otros principios como la transparencia y confidencialidad.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

- Variable independiente : *Dracaena sanderiana*.
- Variable dependiente : Carga orgánica (DBO₅ y DQO).

Tabla 4

Descripción de variables por objetivo específico

Objetivo específico Nº 1: Diseñar e implementar los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* en el barranco Shango 1.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Diseño de los humedales artificiales	- Caudal de diseño.	Recolección directa en campo mediante balde, cronómetro, materiales de construcción, tuberías, wincha, plantas de <i>Dracaena sanderiana</i> y registro fotográfico.	- m ³ /día.
	- Área superficial.		- m ² .
	- Profundidad.		- m.
	- Pendiente.		- %.
	- Sustrato.		- mm.
	- Largo.		- m.
	- Ancho.		- m.
	- Tiempo de retención hidráulica.	- Días.	
Objetivo específico Nº 2: Determinar las de las concentraciones de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y carga orgánica (DBO ₅ y DQO) en el afluente y efluentes de los humedales artificiales con <i>Dracaena sanderiana</i> .			
Carga orgánica del agua residual doméstica	- Turbidez.	Recolección directa en campo mediante frascos de plástico color transparente y tapa de color blanca, cadena de custodia, registro fotográfico.	- NTU.
	- SST.		- mg/L.
	- DQO.		- mg/L.
	- DBO ₅ .		- mg/L.
	- Cumplimiento de LMP.		- SST = 150 mg/L. - DBO ₅ = 100,0 mg/L. - DQO = 200,0 mg/L.

Objetivo específico № 3: Evaluar la eficiencia de *Dracaena sanderiana* en la disminución de turbidez, SST y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1.

Eficiencia de <i>Dracaena sanderiana</i>	- Eficiencia del humedal artificial 1.	Procedimiento indirecto a partir de resultados obtenidos en laboratorio.	%.
	- Eficiencia del humedal artificial 2.		%.
	- Eficiencia del humedal artificial 3.		%.

Objetivo general: Evaluar si los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* disminuyen la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba.

Disminución de carga orgánica en aguas residuales domésticas	- Eficiencias en la disminución de concentraciones. - Humedal artificial óptimo.	Procedimiento indirecto a partir de resultados obtenidos en laboratorio.	- %.
--	---	--	------

3.3. Procedimientos de la investigación

3.3.1. Diseño de la investigación

Investigación Aplicada: Debido a que se tuvo como finalidad evaluar la eficiencia de *Dracaena sanderiana* para disminuir SST, turbidez y carga orgánica (DBO₅ y DQO) del agua residual doméstica vertido al barranco Shango 1 de la ciudad de Moyobamba. De acuerdo a Sánchez & Reyes (2006) las investigaciones aplicadas tienen como objetivo solucionar problemas prácticos de forma inmediata y la intención de aportar al conocimiento teórico es secundario.

Nivel de investigación: Experimental: Porque se experimentó la disminución de SST, turbidez y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en el agua residual doméstica vertida al barranco Shango 1 utilizando humedales artificiales con diferentes cantidades de especies *Dracaena sanderiana*. Según Caballero (2009) la investigación experimental se realiza posterior al conocimiento de las propiedades de los fenómenos o hechos estudiados (variables) y las causas que determinaron tales y cuales propiedades.

Explicativo: Debido a que se explicó aquellas posibles causas que determinaron la eficiencia del bambú de la suerte para disminuir las concentraciones de SST, turbidez y carga orgánica (DBO₅ y DQO) mediante humedades artificiales. Sánchez & Reyes (2006) manifiestan que este nivel de investigación tiene como fin buscar el porqué de los hechos o fenómenos estableciendo asociaciones causa-efecto.

Población: La población estuvo conformada por el caudal de aguas residuales domésticas en el barranco Shango 1. Para determinar este valor se desarrolló el método volumétrico empleando un balde de 20 litros y un cronómetro (Alvarado, 2017, p. 3). Se determinó un caudal de 1,21 L/s.

Muestra: La muestra se conformó por un caudal de 2,64 m³/día, distribuyéndose 0,88 m³/día para cada humedal. Este valor se calculó después de visitar a 20 viviendas para obtener el número de habitantes, para así determinar la cantidad de personas promedio que habitan por vivienda. Con esta información, se determinó el consumo diario y el caudal de contribución al alcantarillado generado por un hogar en promedio, siguiendo los criterios establecidos en la Norma OS.100 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La muestra también consideró el volumen de agua recolectada para el análisis de turbidez, SST y carga orgánica (DQO y DBO₅) tanto en el afluente como en el efluente de los humedales artificiales. El volumen total de agua fue 32,0 litros, estimado considerando el número de muestreos (n = 8), parámetros analizados (n = 4), puntos de monitoreo (n = 4) y cantidad de agua recolectada para cada parámetro (250,0 mL).

El tipo de muestreo fue por conveniencia. Según Otzen & Manterola (2017), este tipo de muestreo “permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos. Esta, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador” (p. 4).

Diseño experimental o muestral: Preexperimental con tres grupos experimentales, donde se analizó la disminución de SST, turbidez y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en el agua residual vertida al barranco Shango 1. Se utilizó diferentes cantidades de plantas de *Dracaena sanderiana* en humedales artificiales (HA 1 = 0, HA 2 = 20 y HA 3 = 40 plantas).

De acuerdo a Ramos (2021) en este diseño de estudio la variable independiente tiene un nivel conocido como “grupo experimental”, lo cual es parte de la intervención que los investigadores realizan, en cambio, la variable dependiente se mide utilizando un instrumento a través de dos momentos (pre y post test). El esquema del presente estudio fue el siguiente:

GE1:	A1	X1	A2
GE2:	A1	X2	A3
GE3:	A1	X3	A4

Donde:

GE: Grupo experimental.

A1: Medición inicial de la carga orgánica (DBO₅ y DQO).

A2, A3 y A4: Medición final de la carga orgánica (DBO₅ y DQO).

X1, X2 y X3: Humedales artificiales con cantidades de 0, 20 y 40 plantas de *Dracaena sanderiana*.

En la Figura 3 se presenta un esquema del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales, considerando el diseño de investigación.

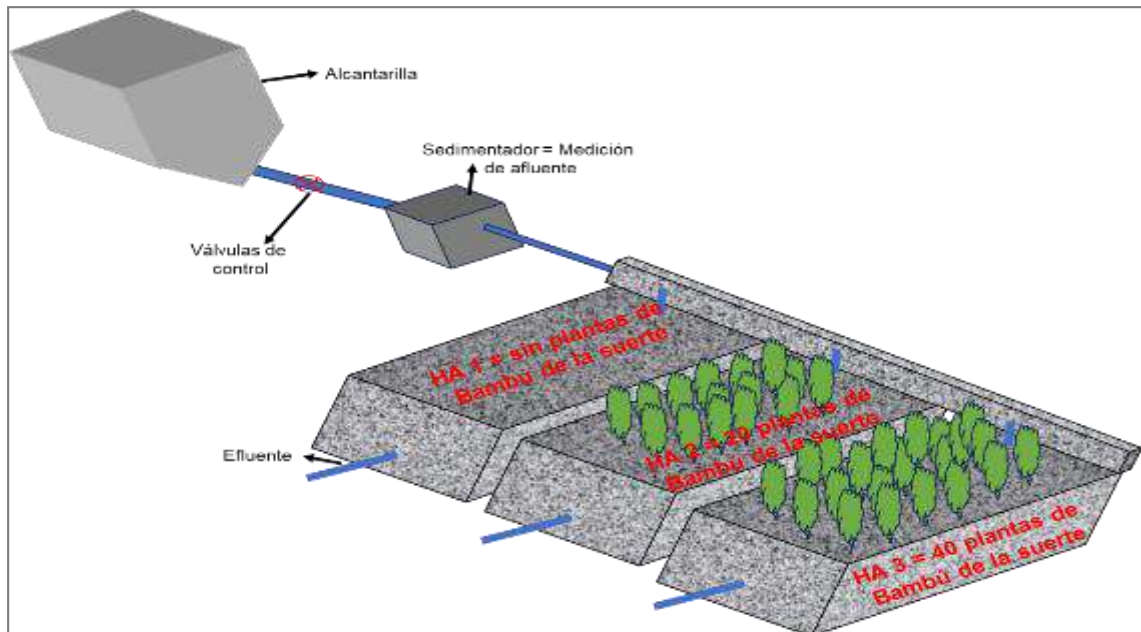


Figura 3
Esquema del diseño de investigación.

Análisis estadístico: Se aplicaron estadísticos descriptivos como sumas, restas, promedios, desviación estándar y otros, con el objetivo de procesar los resultados obtenidos en el laboratorio, así como para determinar las eficiencias en la disminución de concentraciones de los parámetros estudiados. Para ello se utilizó el programa Excel.

Se aplicaron estadísticos inferenciales como la prueba de Shapiro-Wilk y Levene para analizar los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Además, se utilizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) con una confiabilidad del 95 %, con la finalidad de contrastar la hipótesis de estudio. Estos procesos estadísticos se desarrollaron en el programa IBM SPSS Statistics 27.

3.3.2. Diseño e implementación de los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* en el barranco Shango 1

a) Actividades y tareas:

- Diseño de los humedales artificiales.
- Implementación de los humedales artificiales.
- Procesamiento y análisis de datos.

b) Descripción de procedimientos:

Diseño de los humedales artificiales: Se volvió a determinar el caudal del efluente en la alcantarilla del barranco Shango 1 mediante el método volumétrico (ecuación 1). Para ello, se realizaron 10 mediciones con la ayuda de un balde de 20 litros y un cronómetro. El valor encontrado representó el caudal de diseño (Q), el mismo que, al considerar la implementación de tres humedales artificiales, se dividió entre tres para determinar el caudal por cada unidad de tratamiento.

$$Q_d = \frac{V}{T} \dots (1)$$

Donde:

Qd: caudal de diseño (L/s).

V: volumen (L).

T: tiempo (s).

Para el diseño de los humedales artificiales, se consideró los criterios de la “Guía de depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales” (Delgadillo et al., 2010) y otros estudios previos. Se realizó un análisis previo de la DBO₅ y se midió la temperatura. Estos valores, junto con el caudal, permitieron diseñar los humedales artificiales. El cálculo del área superficial de los humedales artificiales se ejecutó utilizando la ecuación 2:

$$AS = \frac{Q \cdot LN\left(\frac{C_o}{C}\right)}{K_T \cdot h \cdot \eta} \dots (2)$$

Donde:

Q: caudal de diseño del humedal en m³/día.

C_o: concentración en el afluente (mg/L).

C: concentración en el efluente (mg/L).

K_T: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d⁻¹).

η: porosidad del medio granular representado en fracción.

h: profundidad del humedal en m.

Para estimar la constante de reacción de primer orden se utilizó la ecuación 3:

$$K_T = 1,104 \cdot 1,06^{T_2-20} \dots (3)$$

Donde:

T₂: temperatura del agua residual (°C).

Generalmente la profundidad de los humedales difiere entre 0,3 a 1,0 m (valor usual = 0,6 m) y el valor de la pendiente difiere entre 0,1 a 1 %, siendo el valor normal 0,5 %. Además, se definió el diámetro y tipo de sustratos a utilizar en los humedales.

Para determinar el ancho de los humedales se consideró la “ley de Darcy” (ecuación 4) para flujos en medio poroso. Además, se aplicó la ecuación 5 que considera el área vertical (A_c) y la profundidad del agua que se desea tratar.

$$A_c = \frac{Q}{K_s * S} \dots (4)$$

Donde:

A_c : área vertical en m^2 .

Q : caudal promedio en m^3/s .

K_s : conductividad hidráulica en m/s .

S : pendiente en m/m .

$$W = \frac{A_c}{h} \dots (5)$$

Donde:

W : ancho del humedal en m .

A_c : área vertical en m^2 .

h : profundidad del nivel del agua.

Luego se calculó el largo del humedal (L) en función del área superficial (A_s) y el ancho (W) (ecuación 6).

$$L = \frac{A_s}{W} \dots (6)$$

Se determinó la relación largo-ancho (L/w), tomando en cuenta como recomendación una relación L/A de 2:1, 3:1 y 4:1.

Finalmente, se determinó el tiempo de retención hidráulica (TRH) utilizando la siguiente ecuación (González et al., 2022):

$$TRH = \frac{L * W * n * h}{Q} \dots (7)$$

Donde:

L : Longitud del humedal (m).

Q : Caudal medio del sistema ($m^3/día$).

W : Ancho del humedal (m).

h : Profundidad del agua en el sistema (m).

n : Porosidad o espacio empleado por el agua para fluir en fluir por el sistema.

Implementación de los humedales artificiales: Luego de finalizar el diseño de los humedales, se continuó con su construcción e implementación en la zona de estudio. Los sistemas se construyeron con ladrillos y el interior fue tarrajado para evitar filtraciones hacia el suelo. Se instalaron tuberías PVC con válvulas de control y se construyó un sedimentador antes de la distribución del agua a los humedales. El agua residual se derivó directamente desde una alcantarilla que se encuentra en el lugar.

Se adquirieron las plantas de un vivero de la ciudad de Moyobamba, las mismas que presentaron una altura de 40 a 50 cm de altura. Luego se adaptaron en los humedales durante un periodo de un mes. Este proceso incluyó la introducción de agua limpia en los sistemas durante un tiempo determinado, seguido de una incorporación gradual del efluente hasta completar el 100 % del volumen durante un mes.

El humedal artificial 1 (HA 1) funcionó como tratamiento testigo, sin plantas de *Dracaena sanderiana*, mientras que el HA 2 y HA 3 se sembraron 20 y 40 plantas, respectivamente (Figura 3).

c) Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

Se usaron ecuaciones matemáticas obtenidas de las fuentes consideradas para el diseño del humedal. Asimismo, se emplearon estadísticos descriptivos y se organizó la información en tablas para representar los resultados obtenidos. Para diseñar los humedales artificiales, se utilizó el programa AutoCAD.

3.3.3. Determinación de las concentraciones de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en el afluente y efluentes de los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana*

a) Actividades y tareas:

- Muestreo y análisis del agua residual doméstica en el afluente y efluente por humedales artificiales.
- Evaluación del cumplimiento de límites máximos permisibles (LMP).
- Procesamiento y análisis de datos.

b) Descripción de procedimientos:

Muestreo y análisis del agua residual doméstica en el afluente y efluente por humedales artificiales

Después del primer mes de adaptación de las plantas de *Dracaena sanderiana* en los humedales artificiales se procedió a tomar muestras de agua residual cruda (afluente) y tratada (efluentes de los humedales), considerando lo mostrado en la Figura 3.

Se recolectaron en total de 8 muestras para el análisis de turbidez, SST, DQO y DBO₅ durante un periodo de 2 meses (entre el 16 de abril al 18 de junio de 2025), es decir, se

recolectó una muestra por cada semana. Se utilizarán frascos de plástico de 250 mL para todos los parámetros. Se consideró los siguientes procedimientos:

- a. Abertura de frascos y comienzo de recolección de las muestras.
- b. Para el caso de DBO_5 , los envases se llenaron en su totalidad a fin de evitar la formación de burbujas.
- c. Después de recolectar las muestras se procedió a rotularlos y se trasladaron al laboratorio.
- d. Por último, se llenó la ficha de cadena de custodia (ver Anexo 4).

Las muestras se analizaron en el laboratorio de ingeniería sanitaria de la Universidad Nacional de San Martín, cuyos procedimientos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5
Procedimientos desarrollados para analizar las muestras

Parámetros	Procedimientos
Turbidez	Se realizó la medición colocando las muestras en el “cubeta de muestra” de un Turbidímetro Portátil Digital 2100Q, para luego proceder con la medición y registro del valor del parámetro.
SST	Se colocó 75 mL de la muestra en un vaso precipitado y se homogenizó agitándolo. Se introdujo el sensor del equipo DIST1 y se procedió a registrar el dato medido.
DQO	Se colocó 75 mL de la muestra en un vaso precipitado. Se diluyó la muestra (relación: 1 en 10), para lo cual se empleó una fiola de capacidad de 50 mL (en 45 mL de agua destilada se mezcló 5 mL de la muestra). En los viales de medición de DQO se añadió 2,5 mL del volumen de muestra diluida y se homogenizó de forma lenta. Se procedió a ubicar los viales dentro del equipo digestor y se climatizó durante un tiempo de 2 horas. Luego de acabar la climatización se retiró los viales y se dejó enfriar durante un tiempo de 1 hora como mínimo. Se estabilizó el equipo DR 900 a través de la lectura de un vial con agua destilada como muestra blanca. Se midió la DQO con los viales preparados.
DBO_5	Se programó el equipo y se midió el valor inicial de oxígeno de la muestra empleando el equipo H198193, cuyo dato fue registrado en una ficha. Se añadió 1 nutriente por cada 3 litros de agua residual en un balde de 9 litros, y se homogenizó la mezcla antes de transferirla a los frascos Winkler, asegurándose de evitar la formación de burbujas. Se colocó los frascos Winkler dentro de la incubadora (labForce - Incu 22) durante 5 días a una temperatura de 20 °C. Se retiró los frascos, se colocó las muestras en vasos precipitados y se midió el oxígeno. Se calculó la DBO_5 considerando los datos de oxígeno disuelto ingresado.

Nota. Tomado y adaptado de HANNA y HACH

Evaluación del cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP)

Con el objetivo de determinar si el agua tratada por los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* cumple la normativa peruana para su vertimiento a fuentes hídricas, se llevó a cabo una comparación entre los resultados obtenidos y los LMP fijados para los efluentes de PTAR, de acuerdo a lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (2010). Los LMP establecidos son: 150 mg/L para SST, 200,0 mg/L para DQO y 100,0 mg/L para DBO₅.

c) Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se aplicó la estadística descriptiva (sumas, restas, promedios, desviación estándar), con el objetivo de procesar y analizar la información de resultados de los parámetros obtenido en el laboratorio. Para ello se utilizó el programa Excel.

3.3.4. Evaluación de la eficiencia de *Dracaena sanderiana* en la disminución de turbidez, SST y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1

a) Actividades y tareas:

- Determinación de la eficiencia (%).
- Procesamiento y análisis de datos.

b) Descripción de procedimientos:

Determinación de la eficiencia (%)

Se desarrolló tomando en cuenta las concentraciones de los parámetros en el afluente o agua cruda (Ca: concentración en el afluente) y en el efluente o agua tratada (Ce: concentración en el efluente). Se empleó la siguiente ecuación (Valencia et al., 2012):

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100 \dots (8)$$

La eficiencia de los humedales artificiales se estimó para cada muestreo y parámetro analizado. Los resultados se representan en figuras mostrando las eficiencias promedio y la desviación estándar.

c) Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

Se aplicó la estadística descriptiva (sumas, restas, promedios, desviación estándar), con el objetivo de determinar las eficiencias. Para ello se utilizó el programa Excel.

3.3.5. Evaluación de los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* para disminuir la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba

a) Actividades y tareas:

- Sistematización de datos y análisis de supuestos.
- Desarrollo de la prueba estadística.
- Procesamiento y análisis de datos.

b) Descripción de procedimientos:

Sistematización de datos y análisis de supuestos

Se ordenó los datos de eficiencias según parámetro y muestreo realizado. Esto permitió facilitar el análisis de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Levene), así como la prueba estadística para contrastar la hipótesis de estudio.

Tabla 6

Prueba de normalidad y homocedasticidad

Parámetros	Shapiro-Wilk			Levene*
	Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3	
Turbidez	0,565	0,068	0,573	0,580
SST	0,970	0,257	0,181	0,132
DQO	0,183	0,262	0,486	0,188
DBO ₅	0,371	0,174	0,250	0,133

Nota. Los valores presentados corresponden a los niveles de significancia considerando como factor las concentraciones de los parámetros. *El estadístico de Levene se basó en la media

Se encontró que los valores de eficiencias mostraron una distribución normal (p -valor $> 0,05$) y homogeneidad (p -valor $> 0,05$) para todos los parámetros analizados. En este contexto, se eligió como mejor prueba estadística al análisis de varianza (ANOVA) y la prueba post hoc de Tukey.

Desarrollo de la prueba estadística

Se aplicó el estadístico de ANOVA a fin de determinar la hipótesis de estudio que se presenta a continuación. Al encontrar diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de disminución de concentraciones entre humedales, se desarrolló la prueba de Tukey para identificar el humedal óptimo. Estas pruebas estadísticas se realizaron con un nivel de confianza del 95 %.

H_0 : Los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* no disminuyen la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba.

H_1 : Los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* disminuyen la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba.

La regla de decisión se sustentó en: aceptar H_0 si p -valor $> 0,05$.

c) Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

Desarrolló de estadísticos inferenciales como la prueba de Shapiro-Wilk y Levene para analizar los supuestos de normalidad y homocedasticidad, respectivamente. Además, aplicación de la prueba de ANOVA y Tukey para contrastar la hipótesis de estudio. Para ello se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 27.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diseño de los humedales artificiales con *Dracaena sandariana* en el barranco Shango 1

Se desarrollaron los cálculos de los parámetros de diseño del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales, siguiendo los criterios establecidos en la “Guía de depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales” de Delgadillo et al. (2010), así como en otros estudios previos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7

Parámetros de diseño del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales

Parámetros	Unidad	Valor
Datos de entrada		
Caudal de diseño (Q)	m ³ /día	2,64
Número de humedales	Unidad	3
Caudal por unidad (Q _u)	m ³ /día	0,88
DBO afluente (C _o)	mg/L	170,0
DBO efluente (C _e)	mg/L	20,0
Constante para 20 °C (K ₂₀)	día ⁻¹	1,277
Altura adoptada (d)	d	0,75
Porosidad del medio (n)	Unidad	0,40
Pendiente (s)	%	0,5
Dimensionamiento de cada unidad		
Constante corregida con temperatura DBO (K _t)	día ⁻¹	1,48
Área superficial (AS)	m ²	4,2
Ancho del humedal (w)	m	0,70
Largo del humedal	m	1,35
Relación largo:ancho	Unidad	2:1
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	día	0,322
Área de la sección transversal	m ²	0,53

Se diseñaron tres humedales para tratar un caudal total de 2,64 m³/día, distribuidos de forma de cada uno trabaje con un caudal de 0,88 m³/día, correspondiente al vertimiento promedio de aguas residuales de una vivienda hacia el barranco Shango 1. Cada humedal fue construido con una pendiente de 0,5 % para facilitar el flujo horizontal del agua y se definió una profundidad de 0,75 m, aunque por fines constructivos se consideró una altura total de 0,85 m. Asimismo, se tomó en cuenta una relación largo:ancho de 2:1, con dimensiones calculadas de 1,37 m y 0,68, respectivamente. Sin embargo, por motivos de construcción, se optó por un largo de 1,35 m y un ancho de 0,70 m. Los planos del humedal se presentan en el Anexo 5.

Además de la *Dracaena sanderiana*, que es el componente principal, se utilizaron grava, arena y piedra chancada como medios filtrantes, con la finalidad de maximizar la filtración física y la adsorción de los contaminantes. La grava utilizada tenía una dimensión inferior a 30 mm (3/4"), ni muy grandes, ni muy pequeñas. De acuerdo a Delgadillo et al. (2010), las gravas con diámetros muy grandes incrementan la velocidad del paso del agua, provocando un flujo turbulento. Mientras que, gravas con diámetro demasiado pequeño, reduce la velocidad del paso del agua, ocasionando flujos preferenciales y zonas con presencia de agua en la superficie.

Se desarrolló un diseño que puede ser implementado en las viviendas de la zona, tomando como base el caudal promedio de vertimiento calculado a partir de la dotación del agua y el caudal de contribución al sistema de alcantarillado. El valor del caudal de tratamiento y otros parámetros de entrada fueron fundamentales para delimitar un diseño con dimensiones adecuadas para el espacio disponible en la intersección del Jr. Benavides con el pasaje Benavides. En contraste, un estudio desarrollado por Guerra (2022) en el distrito de Jepelacio, documentó el diseño de un humedal de 2,0 m de ancho, 5,7 m de largo y una profundidad de nivel de agua de 0,70 m, para tratar un caudal de 0,734 m³/día. Por su parte, Herrera (2018), en el poblado Santa Catalina del distrito de Moyobamba, construyó tres humedales, cada uno con dimensiones de 1,15 m de ancho, 2,30 m de largo y profundidad total de 0,75 m, con un nivel de agua de 0,60 m, para el tratamiento de un caudal de 0,91 m³/día. En general, estas investigaciones respaldan la viabilidad del diseño elaborado, al mostrar que, independientemente de las diferencias en el caudal tratado y en las dimensiones, estos sistemas se pueden dimensionar de manera eficiente para adaptarse a las necesidades de tratamiento de efluentes como a las limitaciones de espacio en áreas urbanas como los barrancos.

4.2. Concentraciones de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en el afluente y efluentes de los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana*

Se desarrollaron ocho muestreos durante un periodo de dos meses, con la finalidad de determinar las concentraciones de SST, turbidez y carga orgánica (DBO₅ y DQO) tanto en el afluente (sedimentador) como en el efluente de cada humedal artificial implementado. Además, los hallazgos se compararon con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (2010). Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

4.2.1. Concentraciones de turbidez, SST y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en el afluente de los humedales artificiales

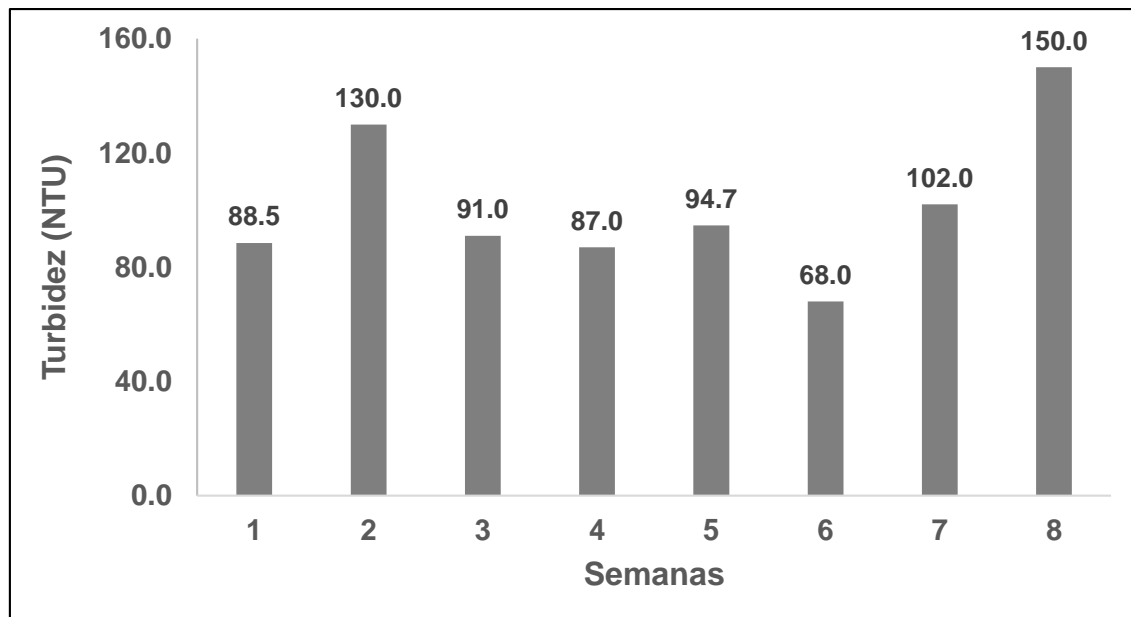


Figura 4

Concentraciones de turbidez en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.

Los hallazgos revelan las concentraciones de turbidez en el agua residual doméstica descargada al barranco Shango 1, que se midieron en el afluente del sistema de tratamiento. Se encontró las concentraciones más altas en las semanas 2 y 8, con 130,0 y 150,0 NTU, respectivamente. En contraste, los niveles más bajos se determinaron en las semanas 4 y 6, con 87,0 y 68,0 NTU, respectivamente. En general, las concentraciones de turbidez experimentan variaciones a lo largo del periodo de estudio.

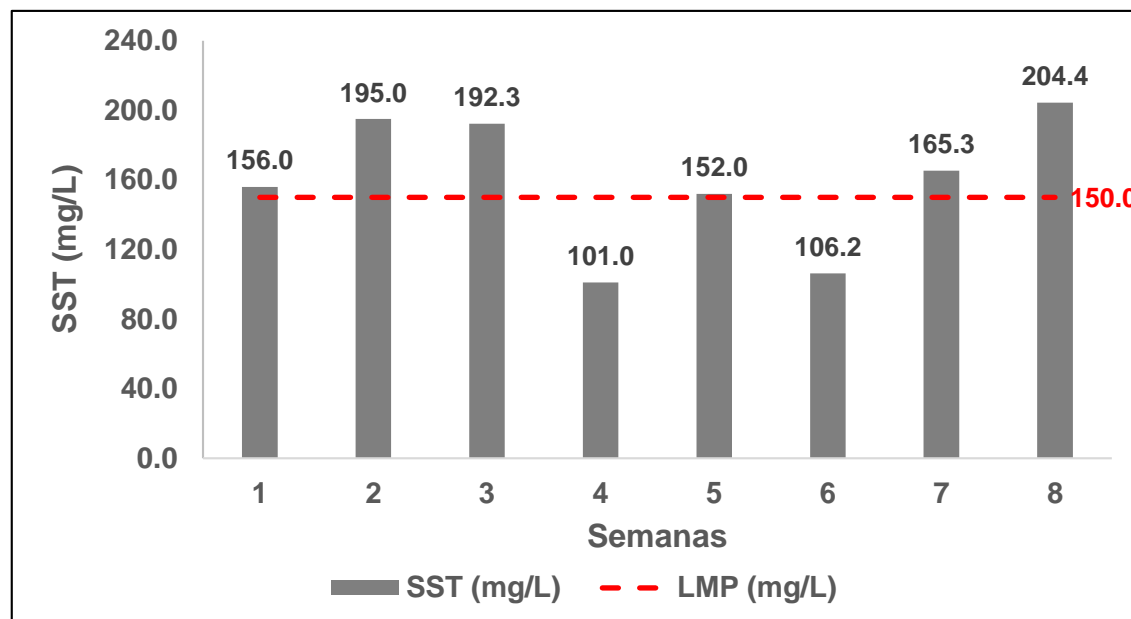


Figura 5

Concentraciones de SST en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.

Los resultados revelan los niveles de SST en el agua residual doméstica descargada al barranco Shango 1, medida en el afluente del sistema de tratamiento. Se evidencia que, en la mayoría de semanas, los valores superaron el LMP de 150,0 mg/L. En específico, en las semanas 2 y 8 se reportaron las concentraciones más elevadas, con 195,0 y 204,4 mg/L, respectivamente. Por el contrario, en las semanas 4 y 6 se registraron los niveles más bajos, por debajo del LMP, con valores de 101,0 y 106,2 mg/L, respectivamente. De igual manera, las concentraciones de SST muestran variación durante el periodo de estudio y mayormente se encuentran por encima del límite aceptable.

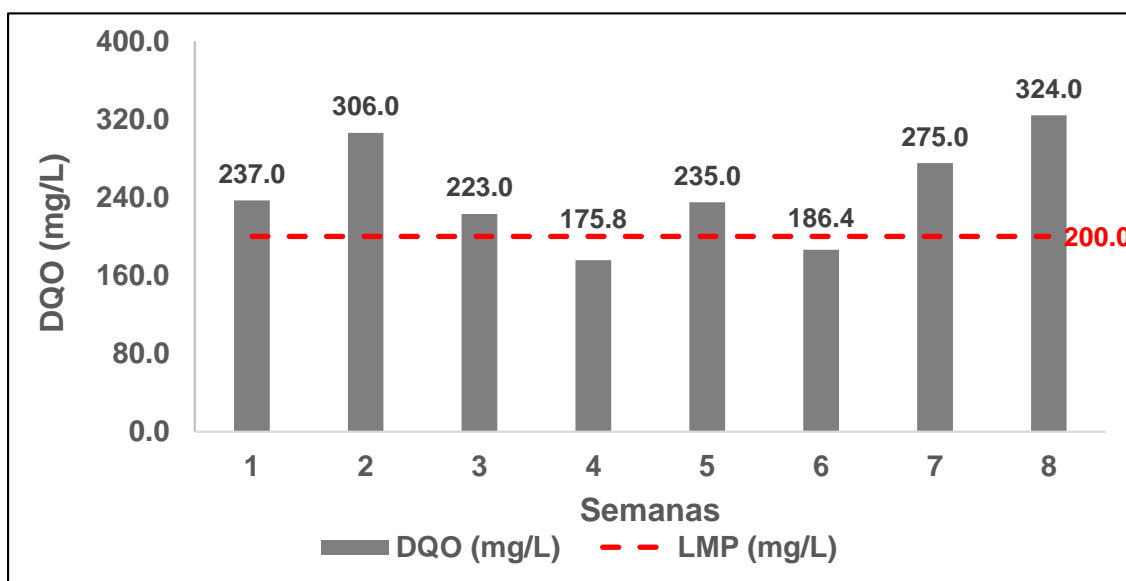


Figura 6

Concentraciones de DQO en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.

Con respecto a la DQO medida en el afluente del sistema de tratamiento, se observa que, en casi todos los muestreos, los niveles registrados superaron el LMP de 200,0 mg/L. Las mayores concentraciones también se registraron en las semanas 2 y 8, con valores de 306,0 y 324,0 mg/L, respectivamente. En cambio, los niveles más bajos se determinaron en las semanas 4 y 6, con valores de 175,8 y 186,4 mg/L, respectivamente. De manera similar, las concentraciones de DQO también experimentaron variabilidad durante el periodo de muestreo y mayormente los valores superaron el límite aceptable.

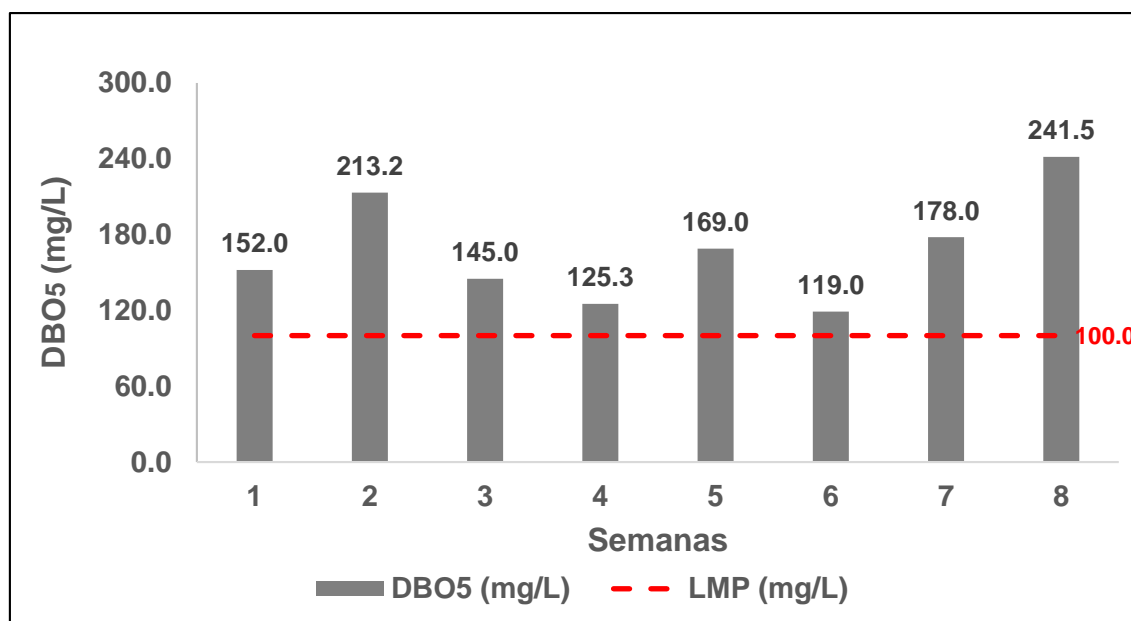


Figura 7

Concentraciones de DBO₅ en el agua residual doméstica vertida en el barranco Shango 1.

Finalmente, en relación a la DBO₅ determinada en el afluente del sistema de tratamiento, se evidencia que todas las concentraciones registradas excedieron el LMP de 100,0 mg/L. Asimismo, los mayores niveles se encontraron en las semanas 2 y 8, con 213,2 y 241,5 mg/L, respectivamente. Por el contrario, los valores más bajos se registraron en las semanas 4 y 6, con 125,3 y 119,0 mg/L, respectivamente, coincidiendo con los niveles más bajos observados en otros parámetros. En términos generales, las concentraciones de DBO₅, al igual que de los otros parámetros, experimentaron variaciones durante las ocho semanas de muestreo.

Los resultados evidenciaron fluctuaciones en las concentraciones de todos los parámetros durante los dos meses de estudio. Estas variaciones se podrían explicar en gran medida por las condiciones climáticas registradas en esos días, las cuales se corroboraron en la página del SENAMHI para la estación meteorológica de Moyobamba. En particular, en los muestreos 2 y 8 que coinciden con días de lluvia, se registraron las concentraciones más altas, probablemente debido al mayor arrastre de contaminantes a lo largo del barranco, provenientes de diferentes zonas. En ese sentido, Suchowska-Kisielewicz & Nowogoński (2021) documentaron un incremento del impacto negativo sobre la calidad del agua de un cuerpo receptor durante periodos de lluvia, mientras que Ugarte (2012) señaló que la carga contaminante en la escorrentía suele ser más elevada en situaciones de precipitación, sobre todo en los primeros instantes del evento.

En contraste a los valores reportados para los parámetros estudiados en el agua residual vertida al barranco Shango 1, otros estudios previos han reportado resultados sobre la caracterización del agua residual doméstica. Por ejemplo, Peña (2021) reveló

concentraciones de 410,0 mg/L para DBO₅ y 200,0 mg/L para DQO. Por su parte, Torres & Torres (2019) informaron niveles de 395,2 mg/L para DBO₅ y 388,83 mg/L para DQO. Garcia (2021) documentó concentraciones promedio de 1 355,67 mg/L para SST, 50,56 mg/L para DBO₅ y 275,22 mg/L para DQO. Por su parte, Herrera (2018) registró en el afluente de un sistema de tratamiento valores de turbiedad entre 78,0 NTU y 221,0 NTU, SST entre 694,0 mg/L y 920,0 mg/L, DQO entre 250,0 mg/L y DBO₅ entre 158,0 mg/L y 247,0 mg/L. Estos resultados muestran diferencias en los valores reportados, lo que puede explicarse por las condiciones específicas de cada estudio. Sin embargo, todos los hallazgos coinciden en afirmar que las aguas residuales domésticas presentan concentraciones que superan los límites permitidos según la normativa peruana.

4.2.2. Concentraciones de turbidez, SST y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en el efluente de los humedales artificiales

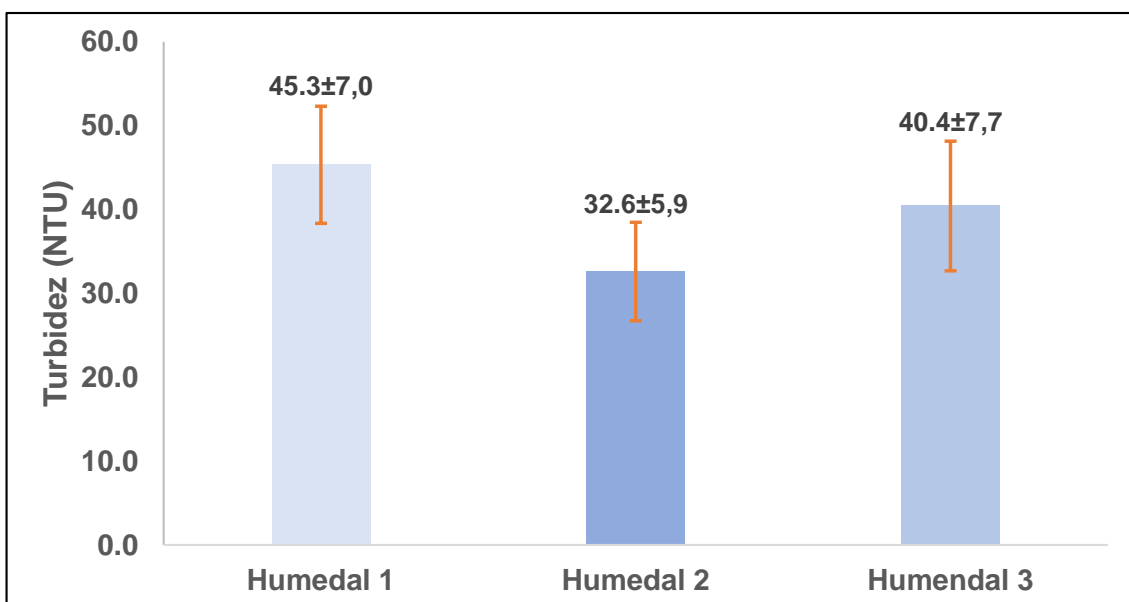


Figura 8

Concentraciones de turbidez en los efluentes de los humedales artificiales.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sanderiana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*

Para el parámetro turbidez, se encontró menores concentraciones al tratar las aguas residuales con el humedal 2, registrando un promedio de 32,6±5,9 NTU. Le sigue el humedal 3 que registró una media de 40,4±7,7 NTU, situándose entre los dos humedales en términos de reducción del contaminante. Mientras que, el humedal 1 alcanzó los mayores valores, con una media de 45,3±7,0 NTU. Las desviaciones estándar en todas las unidades de tratamiento indicaron cierta variabilidad en las cifras determinadas, siendo particularmente elevada en el tercer humedal y menor en el segundo. En general, los tres sistemas demostraron capacidad para reducir la turbidez en comparación al valor inicial, destacándose el humedal 2, que incluye 20 plantas de

Dracaena sanderiana, como el sistema que disminuyó una mayor concentración de turbidez en relación con los otros dos estudiados.

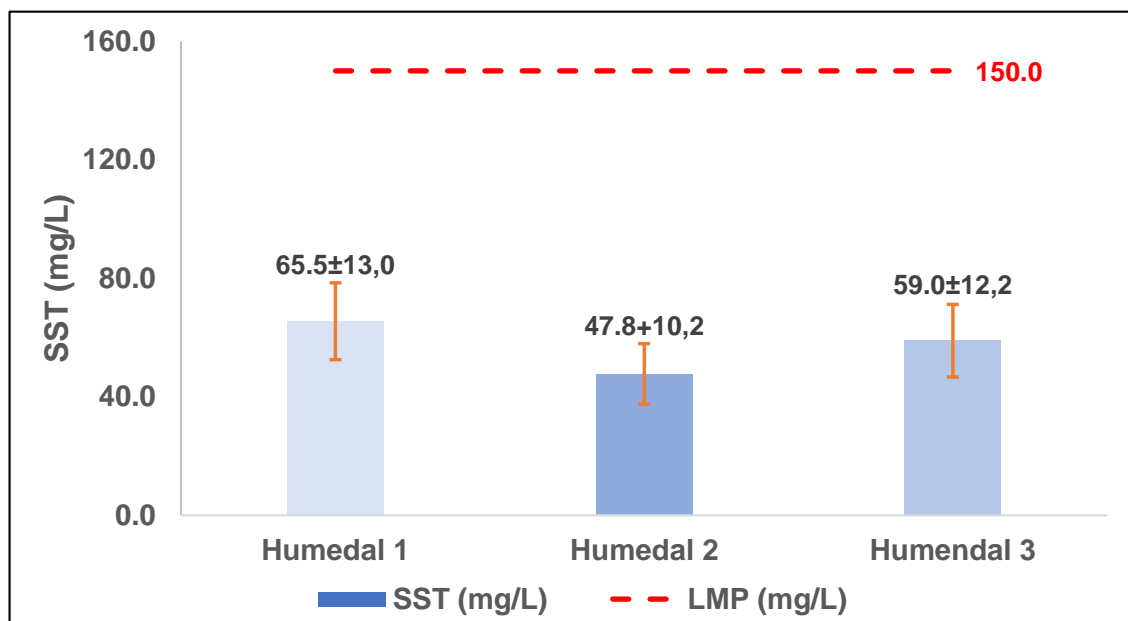


Figura 9

Concentraciones de SST en los efluentes de los humedales artificiales.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sanderiana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*

Con respecto al parámetro SST, también se encontró menores concentraciones con el humedal 2, alcanzando un promedio de $47,8 \pm 10,2$ mg/L. Le sigue el humedal 3 que registró una media de $59,0 \pm 12,2$, lo que lo ubica en un punto intermedio entre los dos humedales en lo referente a la reducción del contaminante. En cambio, el humedal 1 también reportó mayores valores, con una media de $65,5 \pm 13,0$ mg/L. Las desviaciones estándar en todas las unidades de tratamiento indicaron cierta variabilidad en las cifras determinadas, siendo más alta en el primer humedal y más baja en el segundo. Además, los tres sistemas demostraron capacidad para reducir los sólidos suspendidos totales por debajo del LMP en comparación con el valor inicial, destacándose el humedal 2, que incluye 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, como el sistema que disminuyó una mayor concentración de SST en relación con los otros dos estudiados.

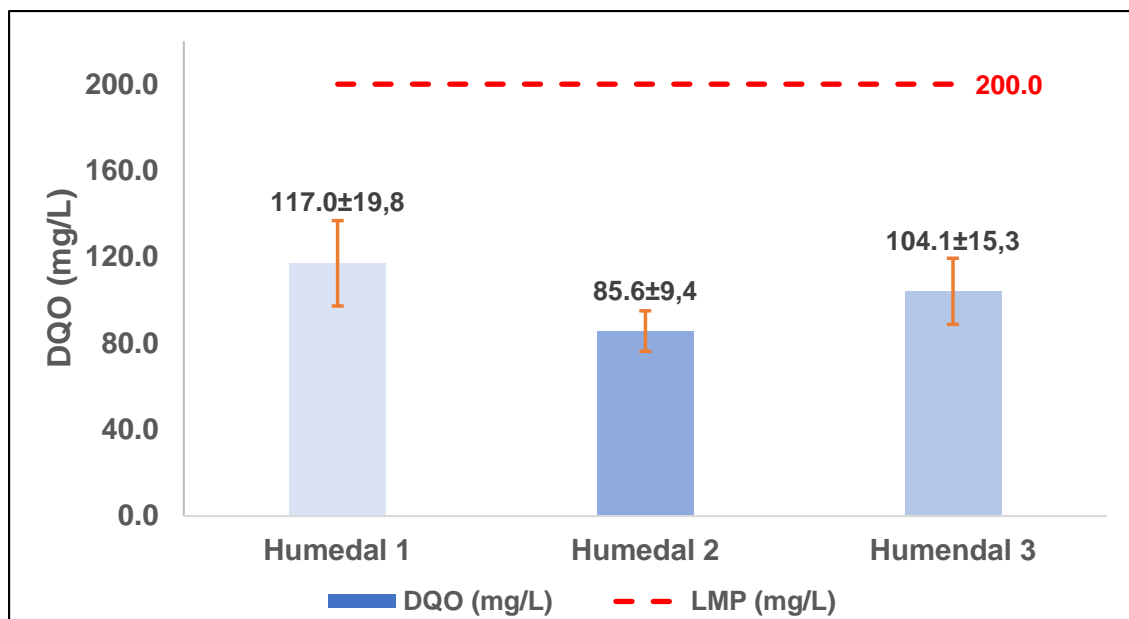


Figura 10

Concentraciones de DQO en los efluentes de los humedales artificiales.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sanderiana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*

En cuanto al parámetro DQO, los resultados revelaron la obtención de menores concentraciones con el humedal 2, con un promedio $85,6 \pm 9,4$ mg/L. Le sigue el humedal 3 que alcanzó una media de $104,1 \pm 15,3$, situándose entre los dos sistemas en términos de disminución del contaminante. En contraste, mayores valores se reportaron con el humedal 1, alcanzando una media de $117,0 \pm 19,8$ mg/L. Las desviaciones estándar en todas las unidades de tratamiento indicaron cierta variabilidad en las cifras determinadas, siendo mayor en el primer humedal y menor en el segundo. Además, los tres sistemas demostraron capacidad para reducir la demanda química de oxígeno por debajo del LMP en comparación con el valor inicial, resaltando el humedal 2, que incluye 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, como el sistema que disminuyó una mayor concentración DQO en relación con los otros dos estudiados.

Finalmente, con respecto a la DBO_5 (Figura 11), los hallazgos mostraron menores concentraciones con el humedal 2, con una media de $56,6 \pm 8,1$ mg/L. Le sigue el humedal 3 que registró un promedio de $70,7 \pm 11,5$ mg/L, ubicándose entre los dos sistemas en lo referente a la disminución del contaminante. En contraste, mayores valores se alcanzaron con el humedal 1, alcanzado una media de $78,9 \pm 15,1$ mg/L. Las desviaciones estándar en todas las unidades de tratamiento refieren variabilidad en los resultados, siendo más alta en el primer humedal y menor en el segundo. Asimismo, los tres sistemas mostraron capacidad para reducir la demanda bioquímica de oxígeno por debajo del LMP en comparación con el dato inicial, aunque con el humedal 1 los valores se acercaron más al límite permitido. En este contexto, el humedal 2, que incluye 20

plantas de *Dracaena sandariana*, resaltó como el sistema que disminuyó mayores concentraciones de DBO₅ en relación con los otros dos estudiados.

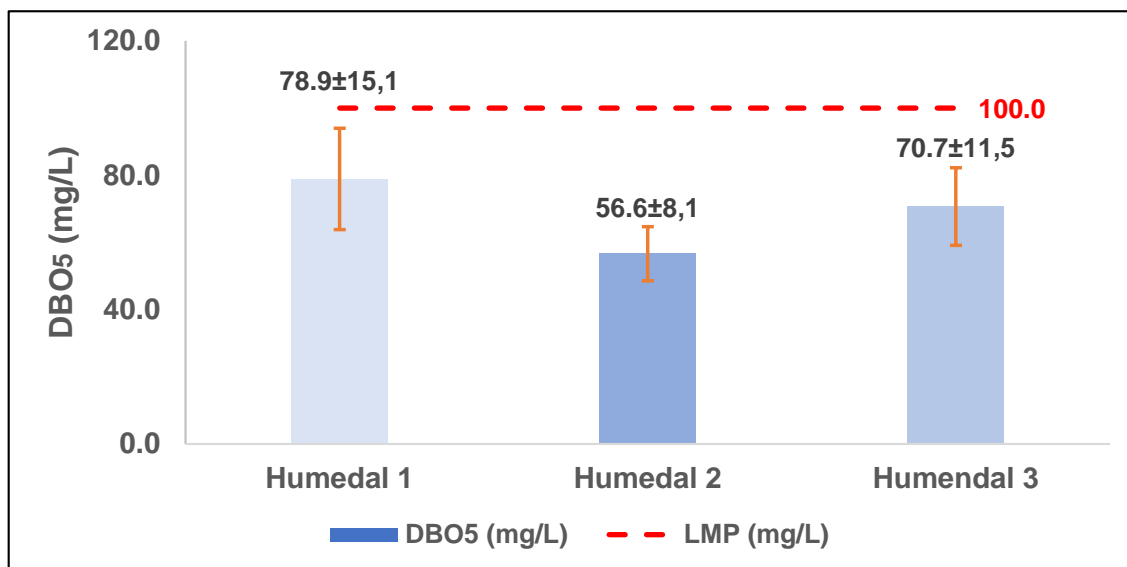


Figura 11

Concentraciones de DBO₅ en los efluentes de los humedales artificiales.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sandariana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sandariana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sandariana*

Los hallazgos identificaron al humedal 2, que incluye 20 ejemplares de *Dracaena sandariana*, como el sistema que permitió obtener las menores concentraciones de turbidez, SST, DQO y DBO₅. Al comparar el tercer humedal, que contiene 40 plantas de la misma especie, con el sistema sin plantas, se evidenció que también logró registrar menores niveles de los contaminantes. Estos resultados señalan a los humedales con especies vegetales como las unidades de tratamiento que generan efluentes con menor carga contaminante. En una investigación similar, López-Ocaña & Magaña-Flores (2023) también documentaron que el empleo de humedales subsuperficiales con especies vegetales produjo efluentes tratados con valores más bajos de turbidez, color y DQO, en relación con los sistemas sin especies.

En cuanto a las concentraciones registradas para cada parámetro en el efluente de los sistemas de tratamiento, López-Ocaña & Magaña-Flores (2023) al utilizar *Sagittaria latifolia* en humedales libres y subsuperficiales, reportaron valores de 4,4±0,8 NTU para turbidez y 33,9±25,7 mg/L para DQO. Peña (2021) alcanzó niveles de hasta 12 mg/L para DBO₅ y 30 mg/L para DQO utilizando un humedal artificial de flujo horizontal con *Guadua Angustifolia*. Torres & Torres (2019), al usar un carbón vegetal de bambú, reportaron concentraciones postratamiento de 34,33 mg/L para DBO₅ y 52,7 mg/L para DQO. Mientras tanto, Guerra (2022) documentó que el uso de *Scirpus Californicus* alcanzó valores de DBO₅ entre 89,0 y 158,0 mg/L, DQO entre 156,6 y 282,4 mg/L y SST entre 102,0 y 186,0 mg/L. Estos resultados señalan que los humedales artificiales u

otros sistemas de tratamiento pueden disminuir la carga contaminante por debajo de los LMP, aunque Guerra (2022) registró algunos valores que excedían los LMP. Es relevante resaltar que, muy aparte del tipo de sistema de tratamiento, las especies vegetales y medios filtrantes, otros factores como el diseño y parámetros operativo pueden determinar las variaciones evidenciadas entre los valores de cada estudio.

4.3. Eficiencia de *Dracaena sanderiana* en la disminución de turbidez, SST y carga orgánica (DBO₅ y DQO) en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1

A partir de las concentraciones iniciales medidas en el afluente (sedimentador) y los valores finales registrados en el efluente de cada humedal artificial, se determinó la eficiencia para cada parámetro en estudio. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

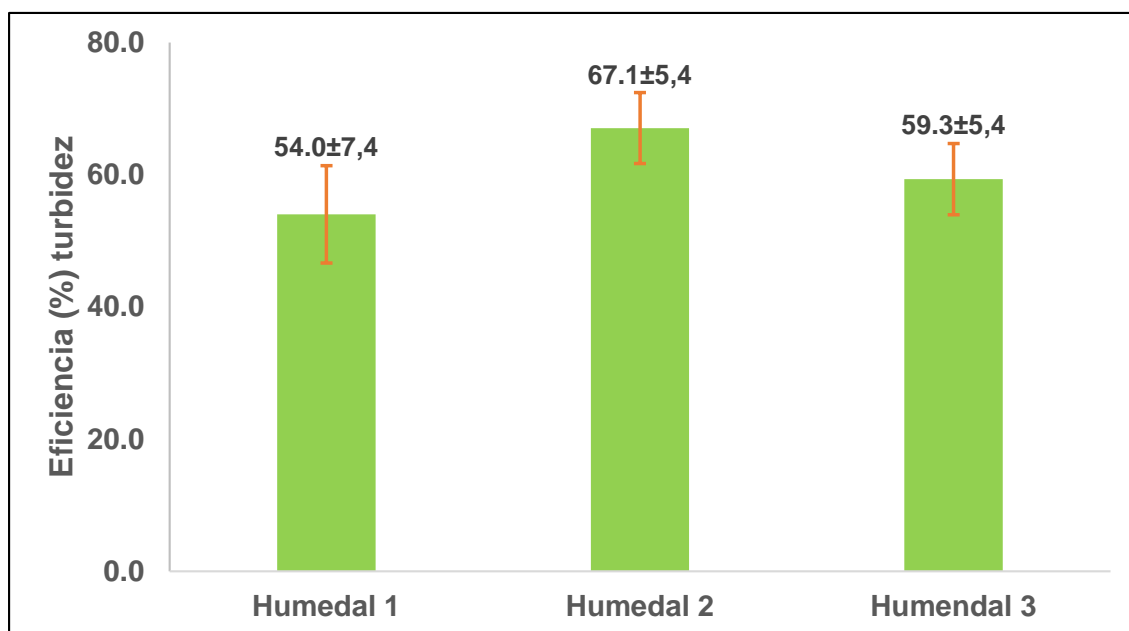


Figura 12

Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de turbidez.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sanderiana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*

Los resultados revelaron mayores eficiencias en la disminución de turbidez con el humedal 2, que incluyó 20 ejemplares de la especie estudiada, alcanzando un valor medio de 67,1±5,4 %. Le sigue el humedal 3, que contenía el doble de plantas, con un nivel promedio de 59,3±5,4 %. Mientras que, con el humedal 1, que no consideró especies vegetales, se registraron las eficiencias más bajas, con un promedio de 54,0±7,4 %. Las desviaciones estándar indicaron una mayor variabilidad de las eficiencias con el primer humedal, en relación con las otras dos unidades de tratamiento.

En general, el sistema con 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, mostró mayor eficiencia en la disminución de la turbidez en el agua residual tratada.

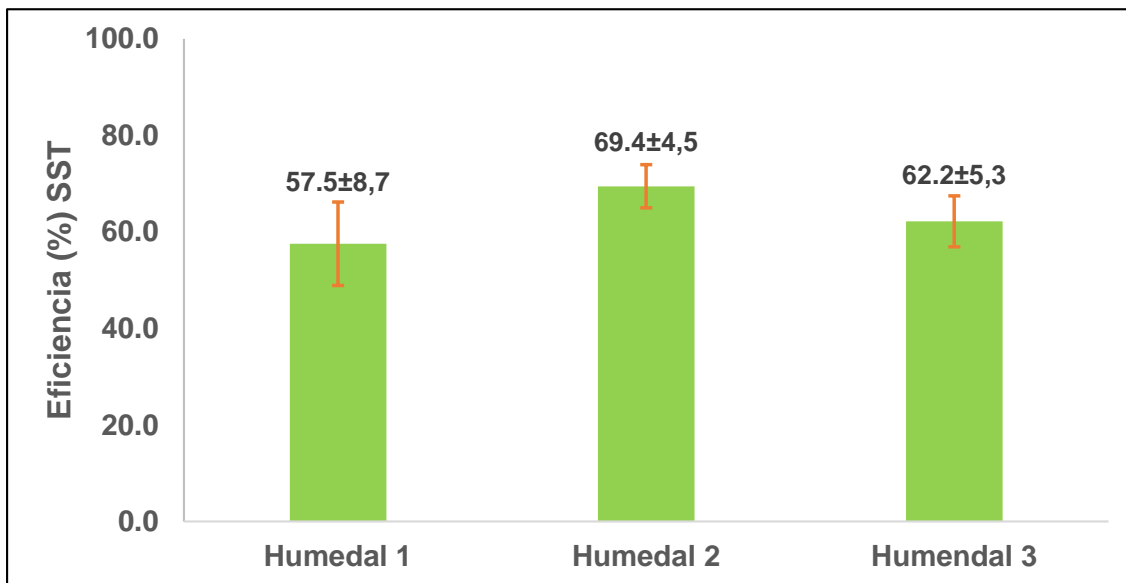


Figura 13

Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de SST.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sanderiana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*

Con respecto a los SST, se encontró que el humedal 2 permitió obtener mayores eficiencias en la reducción de esta carga contaminante, con un valor promedio de $69,4 \pm 4,5$ %. Le sigue el humedal 3, que presentaba 40 plantas de la especie en estudio, con un nivel medio de $62,2 \pm 5,3$ %. En cambio, los menores valores se lograron con el humedal 1, que no incluyó la especie vegetal estudiada, con un promedio de $57,5 \pm 8,5$ %. Las desviaciones estándar señalaron una variabilidad más alta de las eficiencias con el primer humedal y más baja con el segundo sistema. De manera global, la unidad de tratamiento con 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, demostró mayor eficiencia en la disminución de los SST en el agua residual tratada.

En cuanto a la DQO (Figura 14), el humedal 2 también logró las mayores eficiencias, con un valor promedio de $64,1 \pm 5,7$ %. Le sigue el humedal 3, con una media de $56,9 \pm 4,2$ %, que contenía 20 plantas más de la especie estudiada en relación con el segundo humedal. En contraste, el humedal 1, donde no se añadió especies vegetales, también registró las menores eficiencias, alcanzando un promedio de $51,6 \pm 6,8$ %. Las desviaciones estándar refieren una variabilidad más alta de las eficiencias con el primer humedal y más baja con el tercer sistema. Al igual que para los dos parámetros anteriores, la unidad de tratamiento con 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, demostró mayor eficiencia en la disminución de los DQO en el agua residual tratada.

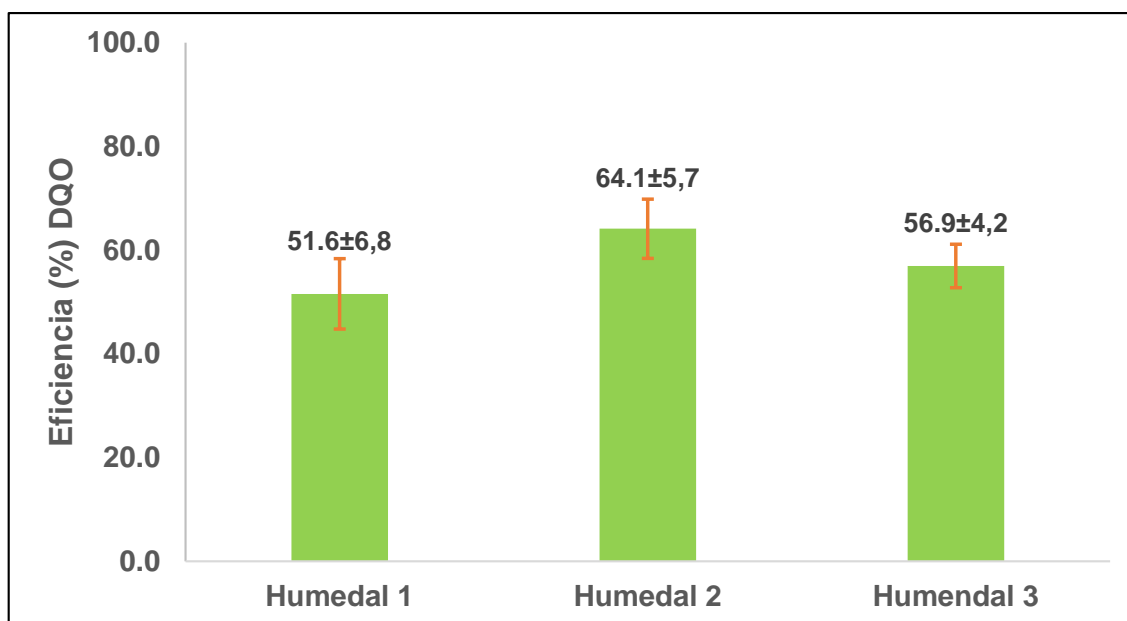


Figura 14

Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de DQO.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sanderiana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*

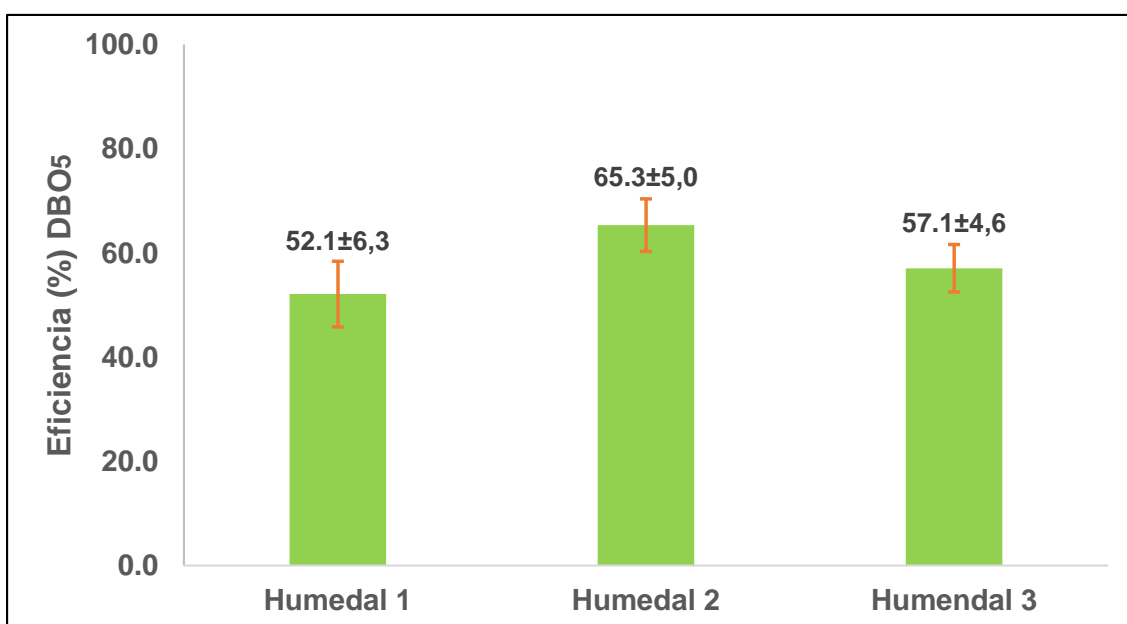


Figura 15

Eficiencias de los humedales artificiales en la disminución de DBO₅.

Nota. Los valores representan los promedios ± desviación estándar. Humedal 1: Sin *Dracaena sanderiana*, Humedal 2: 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, Humedal 3: 40 plantas de *Dracaena sanderiana*

Por último, en cuanto a la DBO₅, los resultados demostraron que el humedal 2 también reportó mayores eficiencias, con un promedio de 65,3±5,0 %. Le sigue el humedal 3, donde se incorporó 40 plantas de la especie estudiada, alcanzando una media de 57,1±4,6 %. Por el contrario, el sistema 1 donde no se añadió especies vegetales, también registró menores eficiencias para este contaminante, logrando un promedio de 52,1±6,3 %. Las desviaciones estándar indicaron una mayor variabilidad de los datos con el primer humedal y menor con el tercer sistema. Asimismo, al igual que para los

tres parámetros anteriores, la unidad de tratamiento con 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, demostró mayor eficiencia en la disminución de los DBO₅ en el agua residual tratada.

El uso de *Dracaena sanderiana* en los humedales artificiales permitió obtener mayores eficiencias para turbidez, SST, DQO y DBO₅, en comparación al sistema donde no se incorporó vegetales. En contraste, Nast et al. (2022) encontraron que el uso de bambúes como macrófitas en humedales logra eficiencias entre 89 – 99,7 % para DBO₅ y entre 47,6 – 99,7 % para DQO. Peña (2021) documentó que el bambú *Guadua Angustifolia* fue eficiente en un 99 % en la remoción de contaminantes fisicoquímicos como SST, DQO y DBO₅. Asimismo, Herrera (2018), al emplear *Guadua angustifolia* en dos humedales, determinó eficiencias entre 81,76 y 90,20 % para DQO, entre 82,59 y 91,86 % para DBO₅, entre 74,36 y 84,85 % para turbiedad, y entre 72,92 y 82,42 % para SST. Estos resultados evidencian la alta efectividad de especies de bambú para tratar aguas residuales. Sin embargo, otros factores de diseño y de operación, como el caso del tiempo de retención hidráulica de los sistemas de tratamiento, pueden influir en la variación de los valores de eficiencia reportados en los diferentes estudios.

4.4. Humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* para disminuir la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba

Tomando en cuenta los resultados de eficiencia obtenidos al relacionar entre el afluente y el efluente, se desarrolló un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confiabilidad del 95,0 %. La finalidad de esta prueba fue para identificar si los humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* disminuyen significativamente la carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 8

Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de turbidez en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado de la media	F-valor	p-valor
Humedales artificiales	690,12	2	345,06	9,18	0,001*
Error	789,40	21	37,59		
Total	1 479,51	23			

Nota: *Significativo al 0,05. R² Aj = 42,0 %; CV = 10,20 %

La prueba de ANOVA, reveló diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de la disminución de turbidez en aguas residuales domésticas entre los humedales artificiales estudiados, al determinar un p-valor de 0,001, que resultó menor a 0,05. El valor de coeficiente de determinación (R² Aj) sugiere que el 42,0 % de la variabilidad en

la disminución de turbidez se debe a diferencias entre los sistemas, en tanto el coeficiente de variación (CV) de 10,20 % refiere una baja variabilidad en los valores de eficiencia. Además, la prueba de Tukey (Figura 16a) demostró que no hubo diferencias significativas entre el humedal 1 y 3, ni entre el humedal 2 y 3, pero si se evidenció una diferencia significativa entre las unidades de tratamiento 1 y 2, siendo este último, que incluyó 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, el que registró una mayor eficiencia promedio de turbidez.

Tabla 9

Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de SST en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado de la media	F-valor	p-valor
Humedales artificiales	579,12	2	289,56	7,04	0,005*
Error	863,26	21	41,11		
Total	1 442,38	23			

Nota: *Significativo al 0,05. R^2 Aj = 34,0 %; CV = 10,17

Asimismo, se determinó mediante la prueba de ANOVA, diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de la disminución de SST en aguas residuales domésticas entre los humedales artificiales estudiados, al determinar un p-valor de 0,005, inferior a 0,05. El valor R^2 Aj denota que el 34,0 % de la variabilidad en la disminución de SST se debe a diferencias entre los sistemas, mientras que el CV de 10,17 % señala una baja variabilidad en las eficiencias de los humedales para reducir SST. Mediante la prueba de Tukey (Figura 16b), también se determinó que no existió diferencias significativas entre el humedal 1 y 3, ni entre el humedal 2 y 3, pero si se observó diferencias significativas entre las unidades de tratamiento 1 y 2, siendo este último, que tuvo 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, el que registró una mayor eficiencia promedio de SST.

Tabla 10

Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de DQO en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado de la media	F-valor	p-valor
Humedales artificiales	635,65	2	317,82	9,90	< 0,001*
Error	674,39	21	32,11		
Total	1 310,04	23			

Nota: *Significativo al 0,05. R^2 Aj = 44,0 %; CV = 9,85

Con respecto a la eficiencia en la reducción de DQO, la prueba ANOVA determinó diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento de aguas residuales domésticas entre los humedales artificiales estudiados, al obtener un p-valor de < 0,001, inferior a 0,05. El valor R^2 Aj sugiere que el 44,0 % de la variabilidad en la disminución de DQO se debe a diferencias entre los sistemas, mientras que el CV de 9,85 % refiere una baja variabilidad en las eficiencias de los humedales para reducir la carga

contaminante. Por otro lado, la prueba de Tukey (Figura 16c) demostró que no existió diferencias significativas entre el humedal 1 y 3, no obstante, si se evidenció una diferencia significativa entre el humedal 2 y las otras dos unidades de tratamiento, destacando así el sistema que incorporó 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, al reportar una mayor eficiencia promedio de DQO.

Tabla 11

Análisis de varianza para evaluar la eficiencia en la disminución de DBO₅ en aguas residuales domésticas utilizando humedales artificiales

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado de la media	F-valor	p-valor
Humedales artificiales	713,13	2	356,57	12,45	< 0,001*
Error	601,29	21	28,63		
Total	1 314,43	23			

Nota: *Significativo al 0,05. R² Aj = 50,0 %; CV = 9,20

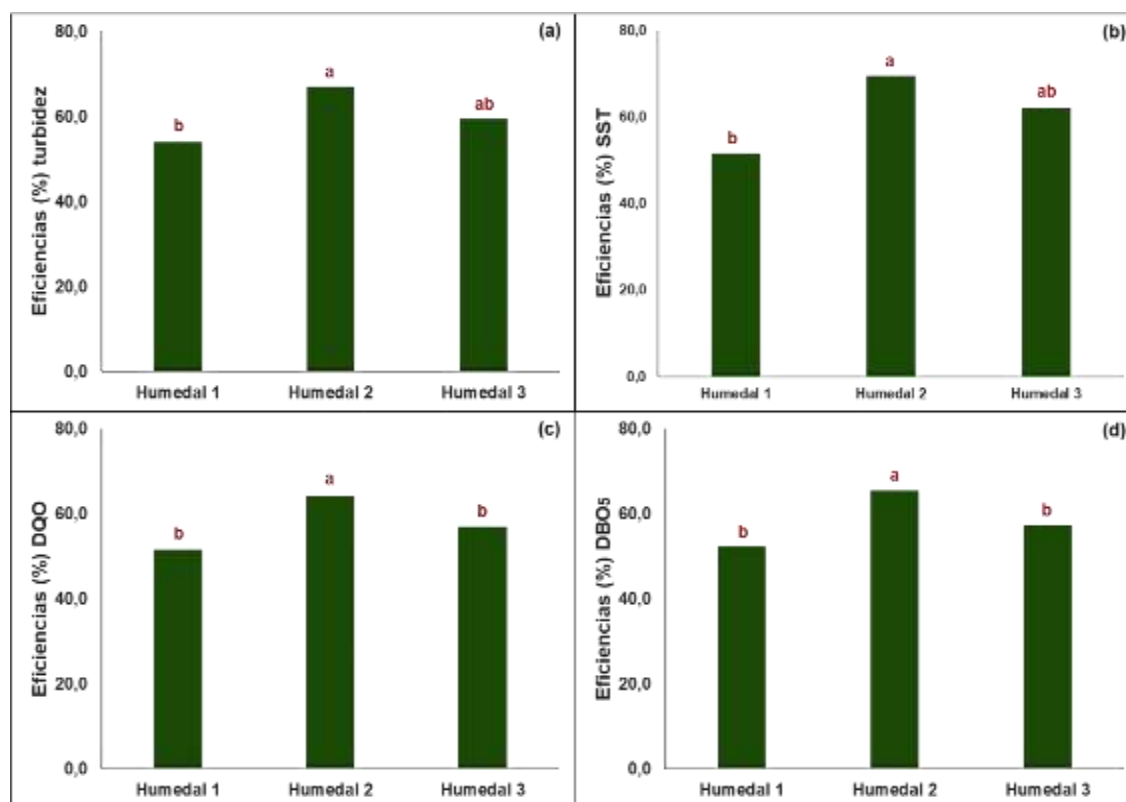


Figura 16

Prueba de Tukey para evaluar el humedal óptimo en la disminución de carga contaminante en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1. (a) Turbidez, (b) SST, (c) DQO, (d) DBO₅.

Nota. Medias con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Finalmente, en cuanto a la eficiencia en la disminución de DBO₅, el test de ANOVA reportó diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento de aguas residuales domésticas entre los humedales artificiales estudiados, al obtener un p-valor de < 0,001, inferior a 0,05. El valor R² Aj indica que el 50,0 % de la variabilidad en la reducción de DBO₅, se debe a diferencias entre los sistemas, mientras que el CV de 9,20 % refiere

una baja variabilidad en las eficiencias de los humedales para reducir la carga contaminante. Asimismo, la prueba de Tukey (Figura 16d) demostró que no hubo diferencias significativas entre el humedal 1 y 3, aunque si se evidenció una diferencia significativa entre el humedal 2 y las otras dos unidades de tratamiento, destacando así el sistema donde se añadió 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, debido a que permitió una mayor eficiencia promedio de DBO₅.

Aunque se esperaba que el humedal 3, con mayor cantidad de plantas de *Dracaena sanderiana*, logrará mayores eficiencias, fue el humedal 2, con solo 20 ejemplares, el que alcanzó mejores resultados. Esto se podría explicar porque una cantidad alta de plantas produce una saturación del sistema, generando competencias por nutrientes y espacios, lo que disminuye la capacidad de tratamiento. Además, un mayor número de macrófitas puede obstruir el flujo hídrico, lo que limita la circulación y afecta el contacto entre el agua y las raíces. La alta densidad vegetal también produce más biomasa, pudiendo crear condiciones anaeróbicas. Asimismo, un exceso de plantas puede disminuir la biodiversidad microbiana, afectando negativamente la eficiencia del sistema. En contraste, Ibekwe et al. (2006) documentaron que un humedal con 50 % de cobertura vegetal fue más eficiente que uno con 100 %, debido a que este último reducía la diversidad microbiana y generaba condiciones anaeróbicas. De manera similar, McBrady & Den (2024) encontraron que plantaciones de junco grande con densidades superiores al 70 % y 90 % no fueron tan eficientes, sugiriendo que una elevada densidad vegetal puede reducir el rendimiento al convertirse en un monocultivo.

Los hallazgos mostraron que el número de plantas juega un rol fundamental en el rendimiento de los humedales, resaltando la necesidad de considerarlo en el diseño del sistema. No se observaron diferencias significativas entre el humedal con mayor cantidad de plantas y el sistema sin macrófitas. No obstante, el humedal 2, con 20 plantas de *Dracaena sanderiana*, demostró disminución significativa de la carga orgánica, así como de turbidez y SST en las aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, en relación a las otras dos unidades de tratamiento. Estos resultados destacan la eficiencia de esta especie en la disminución de carga contaminante y sugieren su aplicación en el análisis de otros parámetros. De hecho, Vizcarra (2021) destacó su rendimiento en la remoción de hierro en aguas ácidas.

El presente estudio da a conocer a la población y autoridades una alternativa viable, eficiente, económica y sostenible para tratar las aguas residuales domésticas vertidas en los barrancos de la ciudad. El sistema estudiado puede construirse a nivel doméstico o a lo largo de los barrancos. Aunque los hallazgos con *Dracaena sanderiana* son

eficientes, se recomienda evaluar el uso de otras especies vegetales y considerar modificaciones en el caudal de tratamiento, dimensiones del humedal y otros factores de diseño y operación, adaptándolos a las condiciones específicas del área de construcción.

CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento mediante humedales artificiales en el barranco Shango 1 considera tres unidades adaptadas al terreno en el Jr. Benavides con el pasaje Benavides. Cada uno tiene 1,35 m de largo, 0,70 m de ancho y 0,85 m de alto, con una profundidad de nivel de agua de 0,75 m, y está diseñado para tratar un caudal de 0,88 m³/día, correspondiente a la descarga promedio de una vivienda en la zona. Como medios filtrantes se usan grava, arena, piedra chancada y el componente principal, *Dracaena sanderiana*.

El agua residual doméstica vertida al barranco Shango 1 presenta concentraciones de turbidez, SST, DQO y DBO₅ que exceden los LMP, aunque experimentan variaciones, con picos más altos en periodos de lluvia. Todos los sistemas de tratamiento reducen la carga contaminante hasta niveles inferiores al límite permitido, destacando el humedal 2, que incluye 20 plantas de *Dracaena sanderiana*. Este humedal alcanzó los valores más bajos, con una media de 32,6 NTU para turbidez, 47,8 mg/L para SST, 85,6 mg/L para DQO y 56,6 mg/L para DBO₅.

El humedal 2, con 20 plantas de la especie estudiada, muestra las mayores eficiencias promedio en la disminución de turbidez (67,1 %), SST (69,4 %), DQO (64,1 %) y DBO₅ (65,3 %) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, superando al humedal 3, que tenía el doble de plantas, y al humedal 1, donde no se empleó especies vegetales.

Dracaena sanderiana permite disminuir significativamente la carga orgánica, así como la turbidez y SST en las aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, sobresaliendo el humedal con 20 plantas de esta especie. La cantidad de plantas cumple un rol crucial en la eficiencia de los humedales artificiales, ya que influye en el proceso de tratamiento.

RECOMENDACIONES

A la población del área de estudio, así como también a quienes viven cerca de los barrancos, se recomienda considerar la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales con *Dracaena sanderiana*. Esta medida tiene como finalidad prevenir la afectación de estos importantes ecosistemas urbanos.

A las autoridades locales, evaluar la implementación de sistemas de tratamiento mediante humedales artificiales con la especie estudiada a lo largo del barranco Shango 1 y otros ecosistemas urbanos de la ciudad. Además, es necesario considerar mejoras en las dimensiones de los humedales para tratar un mayor caudal, así como optimizar los parámetros de diseño y operación, adaptándolos a las condiciones específicas de cada lugar donde se construirá.

A organizaciones no gubernamentales (ONGs), organizaciones sociales y otras entidades ambientales, velar por la conservación de estos ecosistemas naturales importantes, promocionando el desarrollo de investigaciones que analicen el tratamiento de las aguas residuales a través de la implementación de humedales artificiales u otro tipo de sistema de tratamiento.

A estudiantes, docentes e investigadores en general, estudiar la disminución de carga contaminante de aguas residuales mediante humedales artificiales con *Dracaena sanderiana*. Realizar modificaciones en la cantidad de plantas, así como la incorporación de otras especies vegetales. Además, evaluar el uso de otros medios filtrantes y realizar ajustes en las dimensiones del sistema, así como en otros factores de diseño y operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, S., Darbar, S., & Saha, S. (2022). Challenges in management of domestic wastewater for sustainable development. *Current Directions in Water Scarcity Research*, 6, 531–552. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91838-1.00019-1>
- Alvarado, E. (2017). *Manual de medición de caudales*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- Amoatey, P., & Bani, R. (2011). Wastewater management. In F. S. García (Ed.), *Waste water - evaluation and management*. InTech. <https://doi.org/10.5772/16158>
- Aslam, J., Mujib, A., & Prasad, M. (2013). In vitro micropropagation of *Dracaena sanderiana* Sander ex Mast: An important indoor ornamental plant. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(1), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.11.005>
- Bich, H. (2023). The absorption and accumulation of lead in *Dracaena sanderiana* plant. *Journal of Thu Dau Mot University*, 5(2), 88–96. <https://doi.org/10.37550/tdmu.EJS/2023.02.398>
- Bonilla, C. A., Barrera, J. C., & Cifuentes, G. (2019). A systematic review of wastewater monitoring and its applications in urban drainage systems. *Respuestas*, 24(3), 54–64. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1794>
- Bryan, C., Ramírez, O., Ribera, C., & Rodríguez, S. (1976). *Conjunto tecnológico de prácticas para la producción de algunas Dracaenas*.
- Caballero, A. E. (2009). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*.
- Chawla, A., & Singh, S. K. (2014). Modelling of contaminant transport from landfills. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 3(5), 222–227. <https://www.researchgate.net/publication/269993262>
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. (2010). *Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda. | SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

- Díaz-Cuenca, E., Alvarado-Granados, A. R., & Camacho-Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 78–97. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10453>
- Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., & Durowoju, O. S. (2017). Impact of Wastewater on Surface Water Quality in Developing Countries: A Case Study of South Africa. *Water Quality*, 401–416. <https://doi.org/10.5772/66561>
- Environment and Natural Resources Department. (2022). *Wastewater as a resource - May 2022*. <https://reliefweb.int/report/world/wastewater-resource-may-2022#:~:text=Volumes%20of%20wastewater%20have%20been,municipal%20wastewater%20are%20generated%20globally>.
- Ferreira, M. M., Fiore, F. A., Saron, A., & Da Silva, G. H. R. (2021). Systematic review of the last 20 years of research on decentralized domestic wastewater treatment in Brazil: state of the art and potentials. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 84(12), 3469–3488. <https://doi.org/10.2166/WST.2021.487>
- García, C. J. (2021). *Evaluación de la eficiencia de remoción de los contaminantes en las aguas residuales domésticas, aplicando el sistema biológico Tohá a nivel de planta piloto* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4394>
- García-Aljaro, C., Blanch, A. R., Campos, C., Jofre, J., & Lucena, F. (2019). Pathogens, faecal indicators and human-specific microbial source-tracking markers in sewage. *Journal of Applied Microbiology*, 126(3), 701–717. <https://doi.org/10.1111/JAM.14112>
- Geary, P. M. (1998). Domestic wastewater - treatment and re-use. In *Environment design guide* (pp. 1–8). The Royal Australian Institute of Architects. https://www.researchgate.net/publication/327435111_Domestic_Wastewater_-_Treatment_and_Re-use
- González, A., Rodríguez, N., García, J. A., Ruiz, E., Acero, J. H., & Reyes, W. A. (2022). *Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento terciario de efluentes de planta de beneficio de palma de aceite*. Federación Nacional de

Cultivadores de Palma de Aceite - FEDEPALMA.
<https://doi.org/10.56866/9789588360942>

Guerra, J. M. (2022). *Eficiencia del humedal artificial utilizando tamices flotantes con la especie totora (Scirpus Californicus) en la depuración de aguas residuales municipales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].
<https://repositorio.unsm.edu.pe/item/01d35379-3ce3-4b87-8a5f-bdefc8d3d489>

Hafeez, A., Shamair, Z., Shezad, N., Javed, F., Fazal, T., Rehman, S. ur, Bazmi, A. A., & Rehman, F. (2021). Solar powered decentralized water systems: A cleaner solution of the industrial wastewater treatment and clean drinking water supply challenges. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125717.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125717>

Hassan, I., Chowdhury, S. R., Prihartato, P. K., & Razzak, S. A. (2021). Wastewater treatment using constructed wetland: Current trends and future potential. *Processes*, 9(11), 1917. <https://doi.org/10.3390/pr9111917>

Herrera, H. J. (2018). *Eficiencia de la Guadua angustifolia (Bambú) en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedal artificial en el centro poblado Santa Catalina, distrito y provincia de Moyobamba, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].
<https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3218>

Hiscock, P. (2024). *Enciclopedia de las plantas de acuario*. De Vecchi Ediciones.

Ibekwe, A. M., Lyon, S. R., Leddy, M., & Jacobson-Meyers, M. (2006). Impact of plant density and microbial composition on water quality from a free water surface constructed wetland. *Journal of Applied Microbiology*, 102(0), 921–936.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03181.x>

InfoAgro. (s.f). *Agricultura. El cultivo de la dracena*. InfoAgro. Retrieved August 16, 2024, from https://www.infoagro.com/flores/plantas_ornamentales/dracena.htm

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2023*.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5588186/4963255-peru-anuario-de-estadisticas-ambientales-2023%282%29.pdf?v=1706036917>

Jones, E. R., Van Vliet, M. T. H., Qadir, M., & Bierkens, M. F. P. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse.

- Earth System Science Data*, 13(2), 237–254. <https://doi.org/10.5194/ESSD-13-237-2021>
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands* (2nd ed.). CRC Press, USA. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf
- Lara, J. A. (1999). *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña -Instituto Catalán de Tecnología]. <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/home>
- Lima, L. M. (2020). *Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay – Huancavelica 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8449>
- Llaja, E. (2024). *Una mirada a las problemáticas que aquejan a la ciudad de Moyobamba*. Universidad Cesar Vallejo. <https://portalwebdesarrollo.ucv.edu.pe/convenios/problemas-que-quejan-moyobamba>
- López-Ocaña, G., & Magaña-Flores, A. (2023). Domestic wastewater treated with *Sagittaria latifolia* in constructed wetlands. *DYNA*, 90(226), 27–35. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n226.105263>
- Manyuchi, M. M., Mbohwa, C., & Muzenda, E. (2018). Municipal Sewage Wastewater Treatment. *Resource Recovery from Municipal Sewage Plants*, 5–14. <https://doi.org/10.1201/9780429506239-2>
- Martos, F. (2004). *Agentes medioambientales de la Generalitat Valenciana: Vol. Volumen II*. Editorial MAD.
- McBrady, A. J., & Den, W. (2024). Targeting macrophytes: Optimizing vegetation density to enhance water quality within constructed wetlands. *Water*, 16(16), 2278. <https://doi.org/10.3390/w16162278>
- Miguez, J. A. (2011). *Propagación vegetativa del bambu ornamental (Dracaena sanderaina) mediante fitohormona*. [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/96d38103-043c-4aa5-9104-57e61801dc78>

- Nast, M. R., Colares, G. S., Machado, Ê. L., & Rodrigues, L. R. (2022). Wastewater treatment using bamboos in constructed wetlands: experiences and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(45), 67641–67658. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22304-5>
- Nguyen, X. C., Nguyen, D. D., Tran, Q. B., Nguyen, T. T. H., Tran, T. K. A., Tran, T. C. P., Nguyen, T. H. G., Tran, T. N. T., La, D. D., Chang, S. W., Balasubramani, R., Chung, W. J., Yoon, Y. S., & Nguyen, V. K. (2020). Two-step system consisting of novel vertical flow and free water surface constructed wetland for effective sewage treatment and reuse. *Bioresource Technology*, 306, 123095. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123095>
- Norma OS.100. (s.f.). *Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria*. Retrieved April 26, 2025, from <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686381/OS.100%20Consideraciones%20b%C3%A1sicas%20de%20dise%C3%B1o%20de%20infraestructura.pdf?v=1641411282>
- Osorio, F., Torres, J. C., & Sánchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Osorio-Rivera, M. A., Carrillo-Barahona, W. E., Negrete-Costales, J. H., Loor-Lalvay, X. A., & Riera-Guachichullca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 6, Nº. 3, 2021, Págs. 228-245, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Owhonka, A., Fubara, E. F., & Justice, O. B. (2021). Wastewater quality- it's impact on the environment and human physiology: A review. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 9(4), 43–58. <https://doi.org/10.51976/ijari.942107>
- Peña, A. F. (2021). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales horizontales empleando Guadua Angustifolia para el tratamiento de aguas residuales*

- domésticas – Piura* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/119797>
- Penn, M. R., Pauer, J. J., & Mihelcic, J. R. (2009). Biochemical oxygen demand. In A. Sabljic (Ed.), *Environmental and ecological chemistry: Vol. Vol. II* (p. 21).
<https://www.eolss.net/sample-chapters/c06/e6-13-04-03.pdf>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP). (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*.
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*, 44(1), 40–51.
<https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
- Quispe, M. L., Piñas, L. C., Del Valle, J. R., & Aguirre, F. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales* (V. Gutiérrez, Ed.; Primera edición). Nosótrica Ediciones, Ciudad de México.
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58476.pdf>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71–80.
<https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7.
<https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- Raschid-Sally, L., & Jayakody, P. (2008). Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: results from a global assessment. *Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI)*, 29.
<https://doi.org/10.3910/2009.127>
- Rodrigo, K. del R. (2023). *Evaluación de la descarga del agua residual no doméstica y alternativas para la reducción de concentraciones fisicoquímicas, Moyobamba - San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].
<https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/5255>
- Rojas, R. (2002). *Conferencia: Sistemas de tratamiento de aguas residuales*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_T

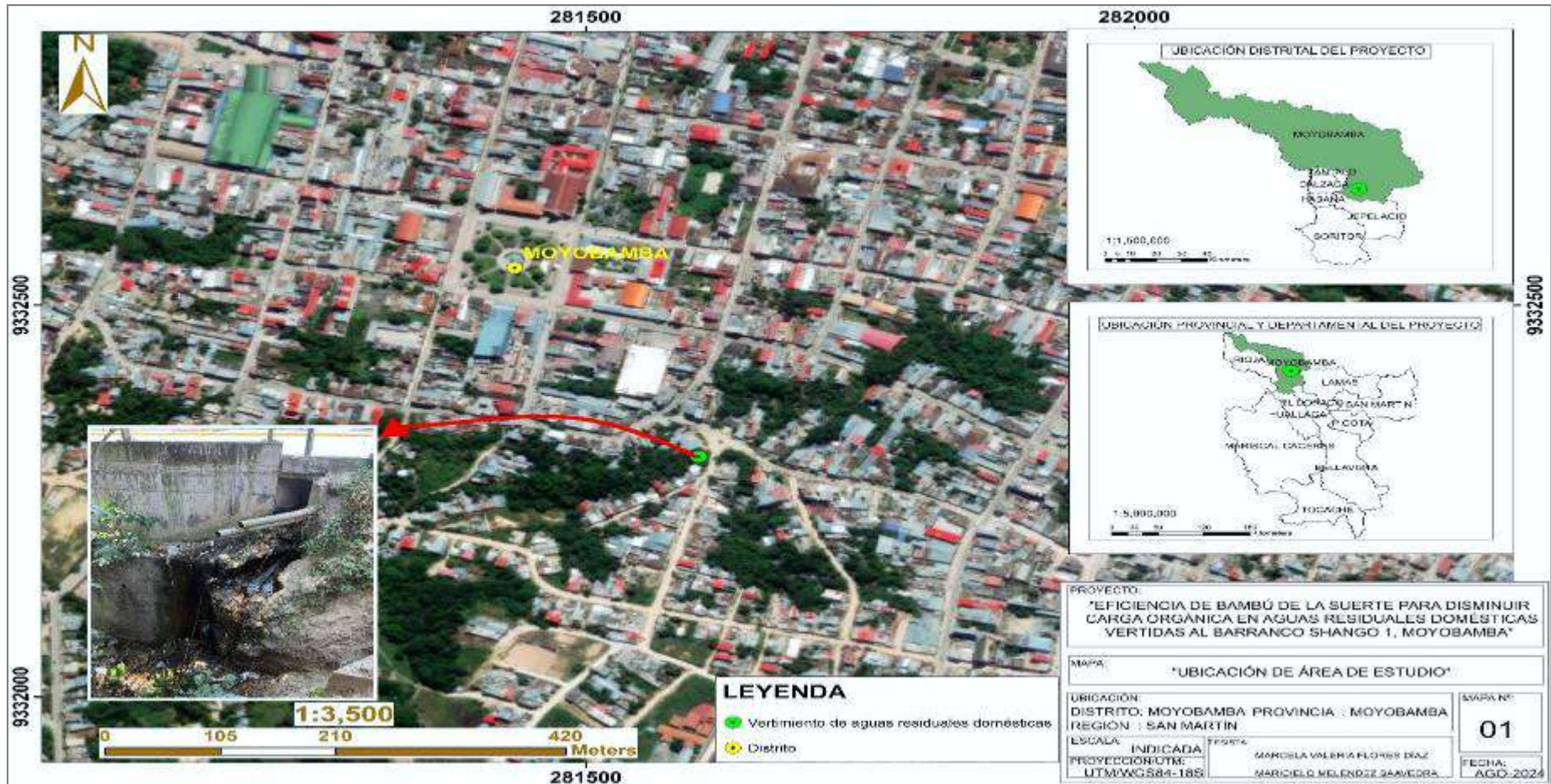
RATAMIENTO_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1720042029&Signature=aPSSUmA8zll8n6sX7i8MMbXPh~1ZJqeYhUb6UFe0Rlp1WehhHn7fEIL0EqI8qT4clXrE4s8gDySj8e60BstDJjhgNqmBtOy~cs4A9NJxHTJXThtUifCmDpPnFLBTTbEm8EIytSd6W6IPiryAd1PuAM90H56n2yedRnkEgcGehHu-Vb-hdg9sGFsBQ3eugGhjibjYk9-u0nvg0t4R6PMRqANX-mXTLOTI2~ahl~j06BhiWWwR3dU1VGqyllo6ujUkJw8iNwTLB-U8YQ

- Sánchez, C., & Reyes, C. (2006). *Metodología y diseño en la investigación científica* (E. V. Universitaria, Ed.).
- Sasse, L. (1998). *Decentralised wastewater treatment in developing countries*. <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/1933#>
- Sharma, A., & Dahiya, P. (2023). Characterization of wastewater and effluents remediation through nanotechnology for efficient reclamation and reuse. In *Emerging Technologies in Applied and Environmental Microbiology* (pp. 65–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99895-6.00009-5>
- Shon, H. K., Vigneswaran, S., & Kandasamy, J. (2007). *Characteristics of effluent organic matter in wastewater*. <https://www.eolss.net/sample-chapters/c07/E6-144-01.pdf>
- Snyder, B. F. (2019). The inclusion of ecosystem service valuations in bioenergy cost analysis: A case study of constructed wetlands in the neotropics. *Ecological Economics*, 156, 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.10.005>
- Suchowska-Kisielewicz, M., & Nowogoński, I. (2021). Influence of storms on the emission of pollutants from sewage into waters. *Scientific Reports*, 11(1), 18788. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97536-5>
- Torres, K. W., & Torres, L. A. (2019). *Efectos del biofiltro de carbón vegetal de Bambú (Guadua Angustifolia Kunth) en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas en el distrito de Paccho provincia de Huaura-Lima 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63999>

- Ugarte, R. (2012). Contaminación en escorrentía pluvial urbana. Aspectos generales. *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles*, 1/2012, 20–26. <https://rioc.ufro.cl/index.php/rioc/article/view/1963>
- Valdez, E. C., & Vázquez, A. B. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. Fundación ICA, A.C. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf
- Valencia, E., Aragón, R. A., & Romero, J. (2012). Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de nátaga en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.804>
- Vizcarra, V. J. (2021). *Evaluación de eficiencia en la reducción del hierro, manganeso y sulfatos contenidos en una muestra de aguas ácidas, tratada mediante un humedal de flujo sub superficial horizontal con la especie dracaena sandariana como componente vegetativo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/21838>
- Yang, L., Shin, H.-S., & Hur, J. (2014). Estimating the concentration and biodegradability of organic matter in 22 wastewater treatment plants using fluorescence excitation emission matrices and parallel factor analysis. *Sensors*, 14(1), 1771–1786. <https://doi.org/10.3390/s140101771>

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación del proyecto



Anexo 2. Permiso otorgado por la Municipalidad Provincial de Moyobamba



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Moyobamba, 15 de enero de 2025.

CARTA N°008 -2025-MPM/A

SEÑORES:

BACH. ING SANITARIA MARCELA VALERIA FLORES DIAZ
BACH. ING. SANITARIA MARICIELO MELENDEZ SAAVEDRA

Ciudad.

ASUNTO : REMITE AUTORIZACIÓN

REF. : SOLICITUD EXP 604971.

Es grato dirigirme a usted, para saludarle cordialmente a nombre de la Municipalidad Provincial de Moyobamba, en atención al documento de la referencia, se autoriza a los señores MARCELA VALERIA FLORES DIAZ y MARICIELO MELENDEZ SAAVEDRA, Bachilleres en Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de San Martín Tarapoto, para la ejecución del proyecto de tesis denominado "HUMEDALES ARTIFICIALES CON DRACAENA SANDERIANA PARA DISMINUIR CARGA ORGANICA EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS VERTIDAS AL BARRANCO SHANGO 1, MOYOBAMBA", con pretensiones de ejecución en el área del barranco Shango 1, específicamente en las coordenadas UTM WGS 84 Z 18S: X: 281604; Y: 9332307, ubicado en el cruce del Jr. Benavides, barrio de Calvario del Distrito y Provincia de Moyobamba. Sin otro particular me suscribo de usted, expresándole las muestras de mi consideración y estima.

Atentamente;



Verificado digitalmente por:
RONALD CHUMBE BENEVIDEZ
DNI: 40889219 SUP
Usuario: EDV-AUTOM DEL DOCUMENTO
Fecha: 2025/01/15 09:34:29 AM
Cargo: ALCALDE

Documento Firmado Digitalmente

RONALD GARATE CHUMBE
ALCALDE PROVINCIAL DE MOYOBAMBA
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA

c.c
Archivo
EXP 604971



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico de la MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA, generado en conformidad con lo dispuesto en el artículo 27.284. Autenticidad e integridad se comprueban a través de la siguiente dirección: <http://www.mpmoyobamba.gob.pe> / Teléfono: 75075600-1233-4000-4360-1190130000 / Fax: 75075600

Jr. Pedro Canga N° 292 - Plaza de Armas Moyobamba

Anexo 3. Permiso otorgado para el uso del laboratorio de ingeniería sanitaria de la facultad de Ecología



FACULTAD DE ECOLOGÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
 LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Moyobamba, 20 de marzo 2025

CARTA N° **004**-2025-SIV.UNSM/FE/RLIS

Señor Blga. M.Sc.

ASTRITH RUIZ RIOS

Decano de la Facultad de Ecología

Asunto: AUTORIZACIÓN PARA INGRESO AL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA

Referencia: exp. N° 0788-2025-FECOL, prov. 536.

Me dirijo a usted para saludarle cordialmente a su persona y a la vez; indicar que, según la referencia indicada las tesis **Marcela Valeria Flores Diaz** y **Maricielo Melendez Saavedra**, identificadas con N° DNI **73120315** y **72676370**, estudiantes del programa de estudios de Ingeniería Sanitaria; presenta solicitud para ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria, estando en la fase Experimental de la Tesis: **“Humedales artificiales con Dracaena sanderiana para disminuir carga orgánica en aguas residuales domésticas vertidas al barranco Shango 1, Moyobamba”**, por lo que requiere el uso del laboratorio de Ingeniería Sanitaria, para los análisis respectivos.

Los tesisistas deben ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria conjuntamente con su asesor **Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez**, según cronograma establecido; cumpliendo con todos los protocolos de bioseguridad.

Por lo indicado; como responsable del laboratorio de Ingeniería Sanitaria; expreso la respectiva **conformidad**; sugiriendo a su Decanatura informar al interesado el permiso de ingreso a los ambientes de la Facultad, en coordinación con Vigilancia.



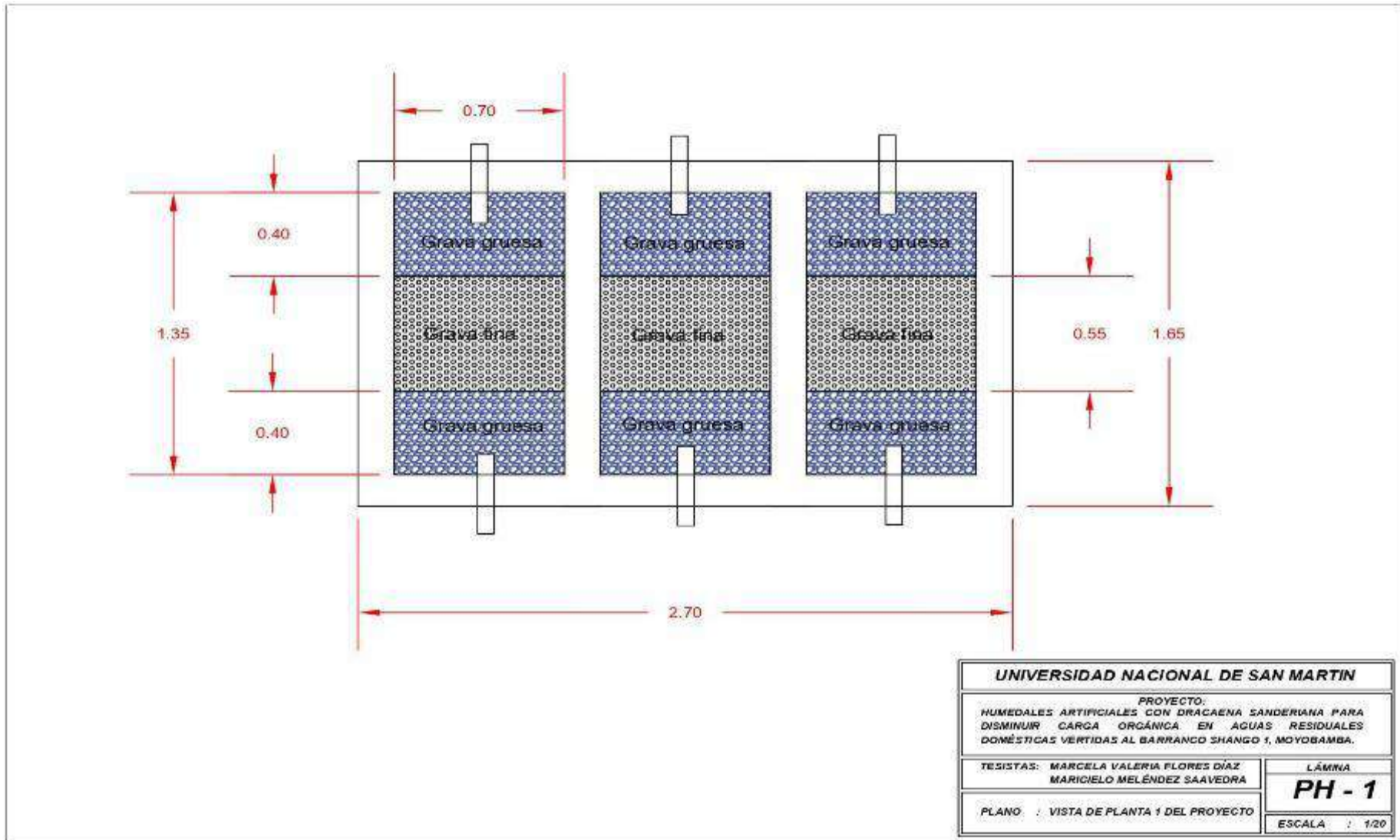
 Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez
 UNSM

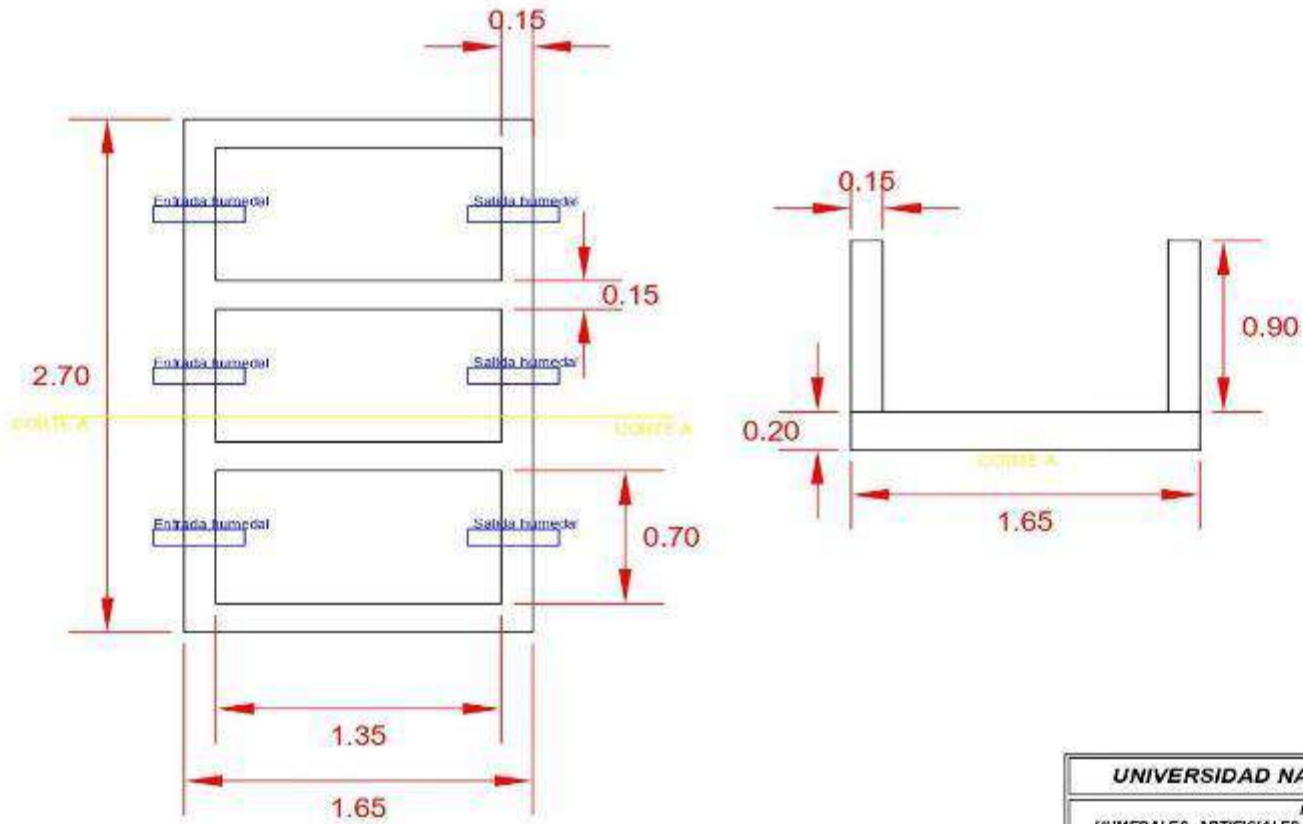
Encargado laboratorio ingeniería sanitaria
 Facultad de Ecología de la UNSM

Anexo 4. Ficha de cadena de custodia

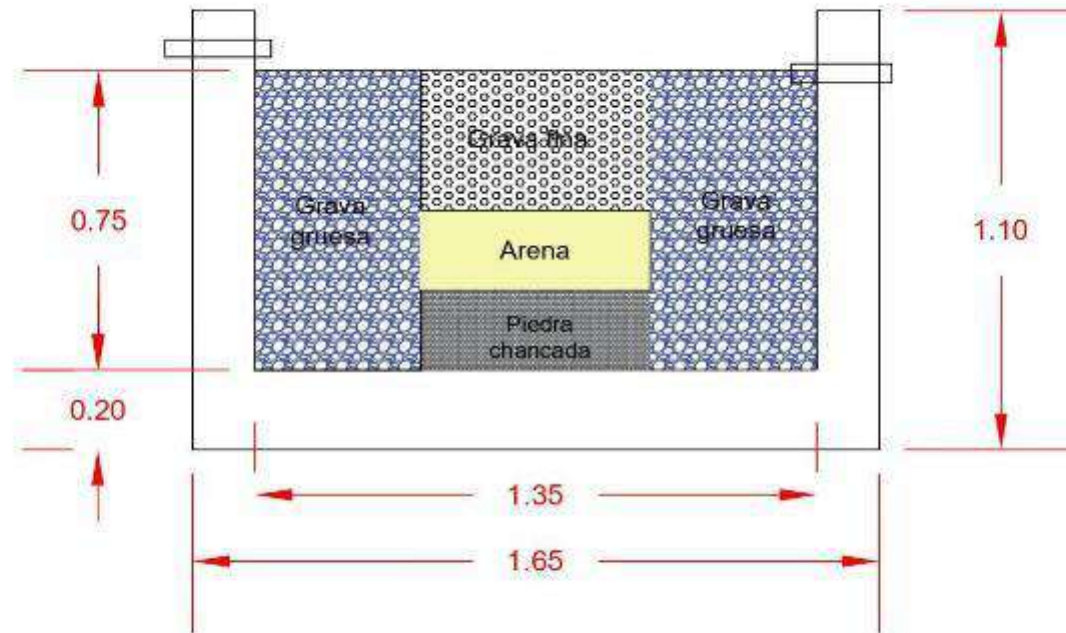
Proyecto de tesis:											
Analista de campo.											
Distrito:		Provincia:			Departamento:						
Punto de muestreo	Código de muestreo	Muestreo	Clasificación del agua	Ubicación	N° de frascos		SST	Turbidez	DBO ₅	DQO	Observaciones
					V	P					
		F:		N:							
		H:		E:							
		F:		N:							
		H:		E:							
		F:		N:							
		H:		E:							
		F:		N:							
		H:		E:							
		F:		N:							
		H:		E:							
		F:		N:							
		H:		E:							
		F:		N:							
		H:		E:							
Observaciones/comentarios											

Anexo 5. Planos del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
PROYECTO: HUMEDALES ARTIFICIALES CON DRACAENA SANDERIANA PARA DISMINUIR CARGA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS VERTIDAS AL BARRANCO SHANGO 1, MOYOBAMBA.	
TESISISTAS: MARCELA VALERIA FLORES DÍAZ MARICIELO MELÉNDEZ SAAVEDRA	LÁMINA PH - 2
PLANO : VISTA DE PLANTA 2 DEL PROYECTO	ESCALA : 1/30



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	
PROYECTO: HUMEDALES ARTIFICIALES CON DRACAENA SANDERIANA PARA DISMINUIR CARGA ORGANICA EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS VERTIDAS AL BARRANCO SHANGO 1, MOYOBAMBA.	
TESISTAS: MARCELA VALERIA FLORES DIAZ MARICIELO MELÉNDEZ SAAVEDRA	LÁMINA PP
PLANO : VISTA DE PERFIL DEL PROYECTO	ESCALA : 1/15

Anexo 6. Datos de laboratorio

Punto de muestreo	Muestreo	Concentraciones				Eficiencias (%)			
		Turbidez (NTU)	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Turbidez	SST	DQO	DBO ₅
Afluente	1	88,5	156,0	237,0	152,0				
	2	130,0	195,0	306,0	213,2				
	3	91,0	192,3	223,0	145,0				
	4	87,0	101,0	175,8	125,3				
	5	94,7	152,0	235,0	169,0				
	6	68,0	106,2	186,4	119,0				
	7	102,0	165,3	275,0	178,0				
	8	150,0	204,4	324,0	241,5				
Humedal 1	1	38,0	57,3	113,4	72,0	57,1	63,3	52,2	52,6
	2	45,5	57,0	123,0	87,3	65,0	70,8	59,8	59,1
	3	46,2	80,5	98,0	66,0	49,2	58,1	56,1	54,5
	4	44,6	44,9	83,0	62,3	48,7	55,5	52,8	50,3
	5	52,9	73,5	135,0	94,5	44,1	51,6	42,6	44,1
	6	33,6	58,8	111,6	69,0	50,6	44,6	40,1	42,0
	7	47,1	81,5	129,0	75,0	53,8	50,7	53,1	57,9
	8	54,8	70,5	143,0	105,0	63,5	65,5	55,9	56,5
Humedal 2	1	26,2	42,0	93,0	59,1	70,4	73,1	60,8	61,1
	2	36,4	50,3	88,4	63,0	72,0	74,2	71,1	70,5
	3	36,0	63,0	81,3	48,5	60,4	67,2	63,5	66,6
	4	24,8	30,2	70,9	48,0	71,5	70,1	59,7	61,7

	5	36,0	55,2	99,4	67,1	62,0	63,7	57,7	60,3
	6	27,0	39,5	75,0	46,6	60,3	62,8	59,8	60,8
	7	33,5	49,0	88,9	56,4	67,2	70,4	67,7	68,3
	8	41,0	53,0	88,0	64,2	72,7	74,1	72,8	73,4
	1	31,5	53,6	102,5	70,8	64,4	65,6	56,8	53,4
	2	44,0	55,0	115,2	78,6	66,2	71,8	62,4	63,1
	3	36,0	63,0	81,3	48,5	61,6	59,6	57,3	57,8
	4	24,8	30,2	70,9	48,0	51,7	59,4	55,6	54,9
Humedal 3	5	42,0	64,3	115,0	80,0	55,6	57,7	51,1	52,7
	6	31,9	46,0	90,1	57,0	53,1	56,7	51,7	52,1
	7	42,0	66,4	114,0	73,1	58,8	59,8	58,5	58,9
	8	55,1	67,8	122,5	88,0	63,3	66,8	62,2	63,6

Anexo 7. Registro fotográfico



Fotografía 1. Adquisición de *Dracaena sanderiana* para su acondicionamiento previo a la siembra en los humedales artificiales.



Fotografía 2. Adquisición de *Dracaena sanderiana* para su acondicionamiento previo a la siembra en los humedales artificiales.



Fotografía 3. Aguas residuales domésticas vertidos al barranco Shango 1.



Fotografía 4. Limpieza del área para construcción del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.



Fotografía 5. Evaluación de las condiciones del área para la instalación del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.



Fotografía 6. Proceso constructivo del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.



Fotografía 7. Proceso constructivo del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.



Fotografía 8. Siembra de plantas de *Dracaena sandariana* para su acondicionamiento adaptación en los humedales artificiales.



Fotografía 9. Captación de agua residual del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.



Fotografía 10. Vista de planta del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.



Fotografía 11. Instalación del sedimentador para la medición de concentraciones de parámetros en el afluente.



Fotografía 12. Sistema de tratamiento mediante humedales artificiales con *Dracaena sandariana* construido y puesto en funcionamiento.



Fotografía 13. Toma de muestras de agua residual cruda y tratada en el afluente y efluente respectivamente, del sistema de tratamiento.



Fotografía 14. Toma de muestras de agua residual cruda y tratada en el afluente y efluente respectivamente, del sistema de tratamiento.



Fotografía 15. Análisis de muestras en laboratorio de la Facultad de Ecología.



Fotografía 16. Análisis de muestras en laboratorio de la Facultad de Ecología.

Maricielo MELENDEZ SAAVEDRA

Humedales artificiales con *Dracaena sanderiana* para disminuir carga orgánica en aguas residuales domésticas vert...

 Revisión Repositorio Institucional

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:568578949

Fecha de entrega

17 mar 2026, 14:14 GMT-5

Fecha de descarga

17 mar 2026, 14:19 GMT-5

Nombre del archivo

Ing._Sanitario - Tesis -Marcela Valeria Flores Díaz._Maricielo Melendez Saavedra-2 25-02-26.pdf

Tamaño del archivo

2.6 MB

80 páginas

19.980 palabras

111.153 caracteres




13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.