



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS A TRAVÉS DEL CULTIVO DE PLANTAS DE JUNCO EN EL DISTRITO DE SAN PABLO, PROVINCIA DE SAN PABLO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Santos Persy Guevara Fernandez
Eduardo Vasquez Toledo

Asesor:

Mg. Eliseo Juan Zarate Perez

Cajamarca - Perú

2022

DEDICATORIA

Esta tesis la dedicamos a Dios y a nuestros familiares, quienes con su amor, cariño y perseverancia nos dieron las fuerzas necesarias para continuar con la etapa universitaria y, finalmente, terminar este trabajo y los objetivos propuestos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte. A los docentes, por sus enseñanzas y por contribuir con nuestra formación profesional. A nuestro asesor, Mg. Eliseo Juan Zárate Pérez, por guiarnos en el proceso de investigación. De la misma forma, a nuestros familiares y amigos, por su apoyo constante.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	20
CAPÍTULO III. RESULTADOS	29
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	33
REFERENCIAS	38
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.....	29
Tabla 2: Coliformes termotolerantes escherichia coli.....	30
Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos.....	31
Tabla 4: Parámetros biológicos y fisicoquímicos.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diseño de estanque natural con plantas de junco.....	21
<i>Figura 2.2</i> Dimensiones para la construcción de estanque.	25

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo, en Cajamarca. Para ello se construyó un estanque natural de 215,30 m², donde se sembraron plantas de junco y se vertieron las aguas servidas domésticas. Se recogieron las muestras en la entrada y la salida del estanque, las cuales fueron llevadas al laboratorio de ensayo, acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (Inacal-DA) con registro N° LE-084. Los resultados obtenidos consideraron 02 muestras y 03 frascos por muestra, donde se incluyó una muestra en el afluente y el efluente del estanque. Con ellas, se determinaron las características fisicoquímicas y biológicas de las aguas servidas al nivel de entrada y descarga de salida, así como los resultados del análisis de dichas características. En tal sentido, a través de la planta de junco, y al utilizar la prueba t de Student pareada, esta arrojó un coeficiente de 0,06760412, estadísticamente significativo. En conclusión, el tratamiento de aguas servidas con plantas de junco sí produce efectos positivos en las características de parámetros biológicos y fisicoquímicos, en el distrito de San Pablo provincia San Pablo con lo que se contrastó la hipótesis.

Palabras clave: Tratamiento de aguas servidas, estanques, plantaciones de junco.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo (Conagua, 2019). El agua compone casi 361 km² de la superficie terrestre, lo cual corresponde a un volumen de 1460 millones de km³. De estos, los océanos comprenden una cifra de 1370 millones de km³; y el resto, a las aguas subterráneas, glaciares, nieves perpetuas, lagos, humedales de subsuelo y del suelo, humedad atmosférica y corrientes de agua. A pesar de que esas cifras hacen creer que es un recurso inagotable, se puede observar la falta de agua apta para su uso (Adame & Salín, 2000).

Debido al crecimiento demográfico acelerado, se genera una gran cantidad de aguas servidas que son el resultado de las actividades cotidianas de las personas; por ejemplo: el agua que se elimina a través de los lavaplatos, lavadoras, sanitarios, etc. lo anterior, dado que “esta agua contiene cantidad de agentes contaminantes y gérmenes, lo que obliga a evacuarlas de forma segura, tanto para las personas, como para el medio ambiente” (Sedapar, s.f., párr. 2).

De acuerdo con el Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225 000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5 % de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo para la salud humana, la ecología y los animales (Acuatecnica, 2018, párr. 1).

De esta forma, “para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en las regiones en vías de desarrollo, se necesitan plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales” (Acuatecnica, 2018, párr. 3). “El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública” (Acuatecnica, 2018, párr. 1).

A nivel mundial se han implementado diferentes tratamientos de aguas residuales, dejando claro que son 3 los factores que se deben tener en cuenta a la hora de implementarse o idearse una solución, a saber: 1) el tipo de contaminantes del agua, 2) la calidad requerida en el agua tratada y 3) la temperatura del agua a tratar. Estas variables son importantes dado que, al conocer las respuestas a estas, se puede implementar un sistema de tratamiento (natural o químico), siendo este último el menos favorable para el medio ambiente y la sociedad (Morató et al., 2006).

En Perú, como en la mayoría de los países, tenemos dos panoramas frente al tratamiento de agua residual. Las aguas residuales domésticas o industriales que van al alcantarillado, y las aguas residuales que debe tratar cada empresa privada o pública, bajo su responsabilidad y cumpliendo los estándares indicados por la ley nacional. (Sánchez, 2017, párr. 1) Aunado a lo anterior, se tiene que, “aunque existen entes reguladores, el principal problema en Perú es la falta de conocimiento sobre la problemática ambiental que genera el agua residual no tratada” (Sánchez Montes, 2017).

Si bien, la calidad del agua es monitoreada en 98 de las 159 cuencas hidrográficas, más del 40 % (41 de 98) de estas no cumple con los estándares de calidad ambiental del agua (ECA-agua). En consecuencia, se hace énfasis en que el deterioro de la calidad de sus aguas se debe a la ausencia del tratamiento de las aguas servidas, la contaminación industrial y minera, y el uso de agroquímicos (Paucar & Iturregui, 2020).

1.2 Antecedentes y marco teórico

En primera instancia, Paucar & Iturregui (2020) mostraron información que permite establecer los humedales artificiales como sistemas de tratamiento terciario de aguas residuales domésticas; con ello, es posible apoyar los sistemas locales de tratamiento para cumplir con el contenido de coliformes fecales que solicita la normatividad en materia de descargas de agua (10 unidades formadoras de colonias/ml), y bajar los contenidos de fósforo y nitratos para evitar la eutrofización de los cuerpos de agua. Así, los autores seleccionaron tres plantas: *Leocharis densa*, *Schoenoplectus americanus* (junco) y *Schoenoplectus tabernaemontani*; con estas, se buscaba establecer microhumedales subsuperficiales de 100 L con grava de río como soporte.

En cuanto a Rodríguez y García (2012), en su tesis *Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba*, el objetivo era evaluar la eficiencia de las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en la remoción de contaminantes presentes en las aguas servidas. Para alcanzar dicha meta se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales con un tiempo de retención hidráulico de 8 días, donde se aplicaron las especies mencionadas en diferentes tiempos y por separado; a esta investigación se adicionó un tercer tratamiento conformado por una asociación entre ambas especies. Los resultados obtenidos mostraron que *Eichhornia crassipes* es más eficiente en la depuración de aguas servidas, logrando remociones altas en: 85,5 % en coliformes totales; 77,7 nitratos; 73,5 coliformes termo-tolerantes, DB05 66,1; sólidos suspendidos totales 60 %.

Pistia stratiotes mostró ser muy susceptible a factores ambientales y presencia de plagas, obteniéndose remociones, donde las remociones alcanzadas fueron: 67,1 % de fosfatos, 65,6 % de nitratos, 63,8 % de DB05, 62,8 % coliformes totales. Con respecto al

comportamiento de la biomasa de ambas especies, se observó un mayor desarrollo radicular de la planta, donde muchas veces este era el doble o el triple del tamaño de la biomasa aérea. Como conclusión se puede afirmar que el tratamiento de aguas residuales domésticas con tratamiento biológico, aunque poco difundido en nuestra región, es una buena alternativa novedosa de bajo costo y amigable con el ambiente (Rodríguez y García, 2012, p. iv).

Por su parte, Palta-Prado y Morales-Velasco (2013) realizaron un estudio cuyo objetivo fue “evaluar las diferentes especies de gramíneas, buscando una alternativa de manejo de aguas residuales domésticas con plantas útiles en la alimentación animal” (p. 57), como *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maxmun*. Con ello, concluyeron que “los pastos utilizados en los tratamientos son un medio para reducir la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, proporcionando de esta manera humedales multipropósitos para el manejo del agua residual doméstica y la alimentación animal” (p. 64).

Por otro lado, los autores Charris y Caselles-Osorio (2016) en su estudio evaluaron lo siguiente: La eficiencia de eliminación de materia orgánica (DQO), nitrógeno (NH_4^+ , NO_3^-) ortofosfatos, y coliformes totales y fecales en cuatro humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto usando dos especies de plantas locales. Dos sistemas fueron plantados con *Cyperus ligularis* y dos con *Echinochloa colonum*. El experimento constó de un tanque de almacenamiento de 760 litros (tratamiento primario), desde donde se vertió el agua residual, mediante tubería de PVC, al sistema de humedales.

Cada humedal fue relleno con grava granítica de unos 8 mm de diámetro y porosidad de 0,4. Una vez al día y durante cuatro meses, se adicionó a los humedales un caudal de $42,1 \text{ día}^{-1}$, para mantener un tiempo de residencia hidráulico de tres días. Las muestras de agua residual (afluente y efluente) se recolectaron tres veces por semana para

determinar la concentración de DQO y nutrientes. Una vez por semana se determinó coliformes fecales y totales.

La eliminación de DQO, amonio, nitrato y ortofosfatos fue de 93, 65, 71 y 32 %, respectivamente, para *C. ligularis*, y de 85, 54, 67 y 57 %, respectivamente. La eficiencia de eliminación de bacterias coliformes fue de 99,9 % para ambas especies. Los resultados indicaron que hubo una diferencia significativa ($P < 0,05$) en la eliminación de los principales contaminantes en el humedal plantado con *C. ligularis*, indicando una mayor capacidad de esta especie para el tratamiento del agua residual doméstica. (p. 93)

De acuerdo con Gómez (2017), su tesis tenía el objetivo de “evaluar la eficiencia de los humedales artificiales verticales empleando las macrófitas *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas residuales, instaladas en el área de Cemtrar, Universidad Nacional Agraria La Molina” (p. 2). “En esta investigación se estudiaron diversos parámetros de las aguas servidas para ver el comportamiento y la potencialidad fitodepuradora de dos tipos de plantas, se evaluaron dos humedales artificiales verticales sembrados con *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides*” (p. xii).

Así las cosas, la metodología en el trabajo de Gomez Lordan (2019) se desarrolló en tres etapas: preoperación, operación y evaluación, y mantenimiento del sistema. Con esto, el autor concluyó que las especies *paragüitas* y *vetiver* se adaptaron en un periodo de dos meses durante la temporada cálida (enero y febrero), y continuaron su desarrollo (junio-agosto) al alcanzar alturas máximas de 2,38 y 2,40 m, respectivamente. De igual forma, la segunda especie mostró un mejor desarrollo después del corte de mantenimiento, puesto que las ramas podadas seguían creciendo, mientras que la primera tendía a secarse.

Asimismo, ambas plantas tienen una producción de biomasa similar en peso seco. El autor también concluyó que los humedales artificiales, empleados como sistemas semi

descentralizados en áreas periurbanas, facilitan el tratamiento de las aguas residuales, en tanto que existe una mayor uniformidad. Por lo tanto, estas son de fácil tratamiento, dado que existe un mayor potencial de recuperación y reutilización local, con lo que se mejora el balance hídrico y la preservación del recurso hídrico. Igualmente, los humedales artificiales tienen la bondad de mejorar el paisaje, lo que implica una alternativa para su empleabilidad en áreas verdes. Consecuentemente, en el trabajo de Ayasta et al. (2017) se evidenció lo descrito a continuación:

Muestran presencia de metales pesados entre ellos el cromo, arsénico y cadmio; todos ellos en niveles superiores a los parámetros establecidos, [...] es así que las plantas han tenido un papel fundamental en la depuración del agua, es por ello que se empleó la técnica de rizo filtración utilizando la especie “junco” (*Schoenoplectus californicus*) para determinar la efectividad de los metales pesados (Cd, Cr, As), cuyo resultado mostró un elevado grado efectividad del cadmio (sin tratamiento 0,0886 mg/L, con tratamiento 0,00889 mg/L) y arsénico (sin tratamiento 0,03950 mg/L, con tratamiento 0,01704 mg/L) durante la época de estiaje, obteniendo más del 50 % de efectividad en comparación a la efectividad llevada a cabo durante la época de avenida (cadmio sin tratamiento 0,0232 mg/L, con tratamiento 0,00997 mg/L) y (arsénico sin tratamiento 0,19249 mg/L, con tratamiento 0,18601 mg/L).

Sin embargo, cabe señalar que la presencia de cromo aumentó considerablemente (época de estiaje: sin tratamiento 0,003 mg/L, con tratamiento 0,0071 mg/L; época de avenida: sin tratamiento 0,0033 mg/L y con tratamiento 0,0077 mg/L). Pese a ello, no sobrepasa los estándares de calidad ambiental en la categoría 3 (para riego de vegetales) (p. viii). Metcalf-Eddy (1999) denomina aguas residuales a la combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de actividades humanas, provenientes de casas, edificios, fábricas e instituciones, estas llevan en su composición un gran volumen de agua

(99,9 %) y que generalmente son vertidos a cursos o a masas de aguas continentales o marinas (Sehircilik, 2009).

Por otra parte, Hernández (2014) clasificó las aguas residuales de la siguiente manera: Son las aguas residuales producidas por el consumo de agua potable: lavado de platos, duchas, lavatorios, servicios sanitarios y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida y varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones (p. 2). De igual forma, las aguas residuales industriales “son las aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para cada industria” (Arellano, 2016, p. 4).

Finalmente, las aguas residuales urbanas son aguas residuales domésticas o la mezcla de estas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) (Boss Tech, s.f., párr. 17). Además de lo anterior, se debe tener en cuenta que, en la región de Cajamarca, especialmente en el distrito de San Pablo, se presentan serios problemas con el tratamiento de aguas servidas, debido a que no existen plantas de tratamiento, lo que hace que este tipo de aguas sean arrojadas a los ríos y se genere, en consecuencia, un gran foco de contaminación. Toda esta problemática expuesta conlleva a realizar un estudio sobre el tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco.

[Esa planta] posee un rizoma con o sin escamas, del cual se desprenden múltiples tallos verdes. Los tallos pueden llegar hasta 1,5 m, son erectos, cespitosos, lisos, agudamente trígono. Posee vainas foliares inferiores, sin lámina, con un limbo de hasta 2 cm, oblicuo,

libre; las vainas foliares superiores pueden poseer o no una lámina de 13 hasta 20 cm, lisa, septado nodulosa (Jordão & Fogaça, 2012).

Esta especie ha mostrado ser muy adaptable a los hábitats de los humedales costeros, encontrándose en espejos de agua, totorales, zonas arbustivas y gramadales, además de formar grandes comunidades denominadas vegas de ciperáceas. Asimismo, esta especie ha mostrado tener una gran capacidad para resistir los cambios de estrés salino sobre otras especies características de humedales como *Eleocharis pallustris* y *Sagittaria lancifolia*, así como para habitar en múltiples zonas disturbadas como bordes de ríos y acequias (Aponte, 2009).

1.3 Justificación

En este sentido, es importante fundamentar teóricamente las variables en estudio, *aguas residuales* y *plantas de junco*. Con respecto a la primera (SEDAPAR, 2021), se señala que son aguas residuales domésticas, productos de actividades habituales de la población (lavaplatos, sanitarios, lavadoras, etc.); estos tienen gran cantidad de contaminantes y gérmenes, por lo que es necesario su evacuación segura, y requieren un tratamiento que implique la eliminación de contaminantes biológicos, físicos y químicos, con el fin de transformarlas para el riego o para ser evacuadas en fuentes acuáticas. Por ello, las aguas residuales deben ser tratadas para convertirse en fuentes alternativas de agua, con el propósito de evitar el deterioro de los cuerpos receptores de agua y permitir que la población acceda a recursos hídricos de calidad (Paucar & Iturregui, 2020).

En cuanto a esto, se tiene que el consumo de agua contaminada de manera directa o mediante alimentos de tallo bajo conlleva al desarrollo de infecciones parasíticas (giardiasis, amebiasis, teniasis, ascariasis), víricas (hepatitis, diarreas por rotavirus) y bacterianas (cólera, tifoidea, enfermedades diarreicas agudas en general). Por otro lado, verter aguas

residuales sin tratar deteriora el hábitat acuático; esto, debido al acopio de sólidos, que producen una disminución del oxígeno (Paucar & Iturregui, 2020).

En ese sentido, en el artículo 148 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338 de 2010) se estipula que las aguas residuales o servidas se pueden reusar siempre y cuando hayan pasado por un proceso de tratamiento que asegure los parámetros de calidad de acuerdo con cada uso; y, además, se debe tener en cuenta que estas no produzcan perjuicios en el ambiente y la salud pública (Paucar & Iturregui, 2020). Las aguas servidas deben pasar por un proceso de tratamiento para disminuir sus niveles de contaminación y lograr que sean compatibles con los límites máximos permisibles (LMP), los ECA y otros estándares establecidos en la normatividad vigente (Ley General del Ambiente en Perú o Ley N° 28611 de 2005).

Por otro lado, el junco, denominado científicamente *Schoenoplectus americanus*, es una planta que pertenece a la familia de las ciperáceas y necesita de abundante agua para su efectivo crecimiento. Este se reproduce en zonas húmedas, en espejos de agua, y se ha hallado una mayor cantidad de colectas en el departamento de Lima (Ruíz et al., 2019). En tal sentido, a nivel de zonas de la sierra, solo se ha registrado en el departamento de Cajamarca (Aponte, 2009).

Dicha planta pertenece a la familia *Cyperaceae*, pues es una especie rizomatosa esto es, con tallos subterráneos carentes de hojas, y puede alcanzar hasta los tres metros de altura. Está compuesta por raíz, tallo y flor (Díaz, 2018): sus tallos son verdes erguidos, cespitosos y sutilmente trígonos; en ellos se forman vainas foliares inferiores con un limbo de 2 cm aproximadamente y vainas foliares superiores que pueden tener láminas de 13 a 20 cm. Además, en la parte final del tallo, hay una bráctea que puede variar de 1 a 15 cm (Aponte, 2009). De otra parte, la planta tiene raíces gruesas y largas, al igual que hojas esponjosas y

flores en forma cilíndrica de color marrón y amarillo. Por último, cabe señalar que la temperatura ideal para su crecimiento óptimo oscila entre los 16° C y los 27° C (de Miguel Beascoechea et al., 2016).

El junco es una de las vegetaciones más empleadas en humedales, dado que produce cantidad significativa de fibra, la cual se utiliza para la elaboración de artesanía, y para sus propios fines biológicos y reproductivos (Aponte, 2009). Además, este se emplea en diversos estudios ecológicos y moleculares, con el fin de analizar su respuesta ante el cambio climático (Blum et al., 2005). De la misma manera, puesto que tiene la capacidad de contribuir en los procesos físicos de separación del agua al actuar como un filtro, se usa para el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales.

Esta planta tiene un pH que oscila entre 6,32 y 8,32, y posee nutrientes como el nitrógeno (entre 0,49 % y 2,16 %), el nitrato (entre 0,5 ppm y 3,5 ppm), el fósforo (entre 0,13 % y 0,19 %) y el fosfato (entre 0,8 ppm y 13,05 ppm). Igualmente, contiene micronutrientes como el magnesio (entre 0,31 % y 9,05 %), el potasio (entre 0,33 % y 1,04 %) y el calcio (entre 0,85 % y 39,48 %) (Aponte, 2009). La importancia de esta especie recae en su tolerancia a la contaminación, pues soporta muy bien los niveles normales de contaminación orgánica de aguas residuales domésticas; de hecho, existen diversos estudios experimentales que señalan su eficiencia con respecto a la remoción de N y P (de Miguel Beascoechea et al., 2016). Por todo esto, se recomienda su aprovechamiento, debido a que es fundamental para el desarrollo local en distintos aspectos (Aponte, 2009).

En este contexto, también es fundamental mencionar que el junco, al ser utilizado en el tratamiento de agua, se emplea en los humedales con el agua que se moviliza arriba y abajo del gradiente de humedad, y asimila diversos constituyentes químicos y físicos en

solución (detritus o sedimentos), los cuales se transforman y trasladan. Los humedales amortiguan diversos contaminantes de carácter orgánico e inorgánico (Scheuer et al., 2021).

El junco se implanta en los humedales artificiales, fraccionándolos para que cada porción lleve en su parte subterránea rizomas (De Miguel et al., 2016), los cuales son muy efectivos en la remoción de contaminantes de material particulado y de contaminantes biológicos, y en la absorción e inmovilización de diversos contaminantes (Scheuer et al., 2021). Es así como en la presente investigación se pretende utilizar el cultivo del junco (*Schoenoplectus americanus*) para dar tratamiento a las aguas servidas.

1.4 Formulación del problema

¿Cuál es el efecto que produce el cultivo de plantas de junco en el tratamiento de aguas servidas en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo?

¿El cultivo de las plantas de junco en el tratamiento de aguas servidas reduce características microbiológicas del agua?

¿El cultivo de las plantas de junco en el tratamiento de aguas servidas, reduce características fisicoquímicas del agua?

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar el efecto del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo.

1.5.2 Objetivos específicos

Evaluar los resultados de la calidad de agua en las características microbiológicas antes del tratamiento y después del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco.

Evaluar los resultados de la calidad de agua en las características fisicoquímicas antes del tratamiento y después del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

El tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco produciría efectos positivos en la calidad del agua en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo.

1.6.2 Hipótesis específicas

El cultivo de las plantas de junco en el tratamiento de aguas servidas podría reducir características microbiológicas del agua.

El cultivo de las plantas de junco en el tratamiento de aguas servidas podría reducir características fisicoquímicas del agua.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1 Tipo de investigación

Según su propósito, se tiene que esta es una investigación aplicada cuya motivación es utilizar estrategias que conduzcan hacia el logro del objetivo concreto, esto es, determinar el efecto del tratamiento de aguas servidas. Esto se realiza a través del cultivo de plantas de junco, lo que permite recoger información sobre la efectividad del uso de esta planta en la captura de los diversos residuos. De la misma forma, el ámbito de estudio está limitado al saneamiento urbano del distrito de San Pablo. También se puede mencionar que esta investigación es de corte analítico, pues podría ser utilizada por las diversas poblaciones como una alternativa de solución para menguar la contaminación acelerada por este tipo de elementos.

De acuerdo con la naturaleza de datos, es una investigación cuantitativa, porque permite determinar los parámetros medibles para hacer uso de los datos numéricos al cuantificar los resultados mediante cálculos para explicar el comportamiento de los índices de calidad del agua. Según el nivel o la profundidad y la naturaleza de las variables, esta es una investigación de nivel explicativo, pues pretende estudiar las relaciones de influencia de las plantas de junco en el tratamiento de aguas servidas. Finalmente, en lo que concierne a la manipulación de la variable, el diseño de investigación es preexperimental (Hernández Sampieri et al., 2014).

Por lo anterior, el proceso implica cultivar plantas de junco en el mencionado estanque, en el cual luego se han de verter las aguas servidas. En el estanque se cultivaron 250 plantas de junco, ellas fueron extraídas de la zona de ríos y lagunas, éstas fueron

sembradas sobre de la base del estanque con 5 cm de grava y 3 cm arena de altura con una distancia de 9.28 cm², como puede evidenciar en la siguiente figura.

Figura 2.1 Diseño de estanque natural con plantas de junco.

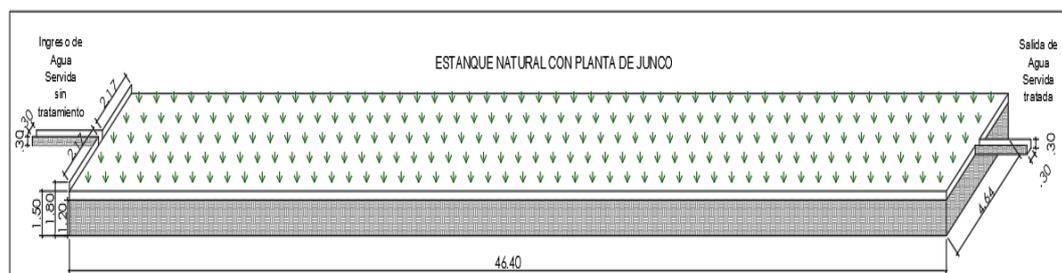


Figura 2.1: Estanque natural sembrado con plantas de junco con grava y arena para el tratamiento de aguas servidas en el distrito de San Pablo, Provincia de San Pablo. Elaboración propia.

Luego, los usuarios realizaron las descargas de las aguas servidas de manera diaria por 60 días. Después, se toman las muestras en la entrada antes del tratamiento y salida del estanque después del tratamiento, estas se llevan al laboratorio para identificar la cantidad de captura de residuos, turbidez, oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* (ver anexo 1 y 2).

En el laboratorio, se lleva a cabo el análisis la comparación de las muestras y los resultados de las aguas servidas tanto de la entrada y la salida del estanque para comprobar si éstos contribuyen a mejorar de la calidad del agua servida después del tratamiento.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

La población está comprendida por el caudal promedio de aguas servidas generadas por 33 familias conformadas de 5 y 6 habitantes. De estas, 19 familias están conformadas por cinco personas; y las restantes, por seis. De esa forma, se obtiene un caudal para una población de 179 personas. El caudal promedio según el horario de consumo de agua se

puede encontrar a partir de la ecuación 1; y, de la misma forma, en la ecuación 2 se muestra la relación del cálculo del caudal máximo por horas (De la Lanza Espino et al., 2012). Seguidamente, es necesario convertir el caudal máximo horario a caudal máximo diario en m³/día, tal como se muestra en la ecuación 3.

Ecuación 1: Ecuación del caudal promedio

$$Q_p = \frac{P * D}{T} \quad (1)$$

Donde:

Q_p = caudal promedio; P = población; D = dotación 80 L/P/D; T = tiempos segundos (86,400); Q_p = (179 * 80l) / 86 400 s; y Q_p = 0,17 l/s.

Ecuación 2: Ecuación del caudal máximo horario

$$Q_{mh} = K_2 * Q_p \quad (2)$$

Donde: Q_{mh} = caudal máximo horario; K₂ = coeficiente de variación para población rural (1,5); Q_p = caudal promedio; Q_{mh} = 0,17 l/s * 1,5; y Q_{mh} = 0,255 l/s.

Ecuación 3: Ecuación del caudal máximo diario

$$Q_{md} = Q_{mh} * \frac{1m^3}{1000 l} * \frac{84600 s}{1d} \quad (3)$$

Donde: Q_{md} = caudal máximo diario; y Q_{mh} = caudal máximo horario.

2.2.2 Muestra

La investigación se llevó a cabo con la conducción de aguas servidas de 33 viviendas conectadas a una red de desagüe, para luego ser vertidas en el estanque natural, diseñado y construido de acuerdo con parámetros comparados con el caudal de agua promedio y el tiempo de retención hidráulica (TRH) en 10 días: área, profundidad, diámetro.

Después de la construcción, siembra y alcanzar la altura necesaria del junco en el estanque natural, se vertieron aguas servidas por 60 días, se procedió a tomar dos muestras: 01 muestra al ingreso del estanque antes del tratamiento en 03 frascos de 200 ml; y la otra muestra, a la salida del estanque después del tratamiento con plantas de junco en 3 frascos de 200 ml. Para cada muestra, se recolectaron 200 ml de agua servida, según la norma del Instituto Nacional de la Calidad del agua (*CALIDAD DE AGUA*, 2013) y los procedimientos del laboratorio, (ver anexos 3 y 4).

Las muestras fueron recolectadas y trasladadas a través del instrumento cadena de custodia hasta las instalaciones del Laboratorio Regional del Agua, donde se realizó los ensayos solicitados en siete días a través del informe Métodos de Ensayo que se indican (ver anexo 2), los cuales son acreditados por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL - DA), con registro N° LE-084. Estos resultados consideraron 02 muestras y 03 frascos por muestra; con estas, se determinaron las características fisicoquímicas y biológicas de las aguas servidas al nivel de descarga en el inicio y al final del estanque, se llevó a cabo la contrastación de la hipótesis, a través de la prueba estadística t de Student pareada (García Isidro et al., 2021). Con ello, se evaluó los resultados de la calidad de agua en las características microbiológicas y fisicoquímicas antes del tratamiento y después del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco, determinando efectos positivos en la calidad del agua en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo (ver anexo 2)

2.3 Técnicas y materiales

2.3.1 Selección de sitio

Para la instalación experimental del sistema de tratamiento de aguas servidas domésticas se seleccionaron viviendas pertenecientes al área urbana ubicada en las afueras

del distrito que no están conectadas a la red de alcantarillado, y se siguió el procedimiento aplicado en el trabajo de (Acosta et al., 2020). Dichas viviendas estaban conformadas por 5 a 6 habitantes por familia, y sus aguas servidas no tenían tratamiento alguno y son vertidas al río, el cual conlleva a la generación de malos olores, proliferación de enfermedades y degradación de suelos, agua y paisaje. En la construcción del estanque, se consideró un área de terreno cerca al vertimiento de las aguas servidas, la cual conserva una pendiente ligera del 1 % el cual nos permite mejorar la circulación del agua en cuanto a su tratamiento.

2.3.2 Diseño del sistema de tratamiento

Para el diseño del sistema, se tomaron como base las recomendaciones realizadas en (Barrera-Herrera et al., 2020), donde se estableció el TRH de 8 a 13 días en el sistema, para que las aguas que fueran descargadas en el sistema circularan por un TRH establecido. En este caso, se optó por un TRH de 10 días, a fin de tratar de mejorar los procesos anaeróbicos. De la misma forma, para el diseño del sistema de tratamiento de aguas servidas en la investigación se aplicó la ecuación 4; esto, para el cálculo del volumen a retener.

Ecuación 4: Ecuación del volumen de retención

$$V = Q_{md} * TRH \quad (4)$$

Donde: V = volumen; Q_{md} = caudal máximo diario; TRH = tiempo de retención hidráulica (10 días); y, $V = (21,57 \text{ m}^3/\text{d}) * (10\text{d})$.

2.3.3 Dimensiones del estanque

En el estudio de (Coronel Castro, 2016), el diseño de los sistemas se estableció como la relación largo-ancho de 10:1, para que el flujo del agua residual cumpliera la teoría del flujo pistón. Por ello, y con base en la ecuación 5, se realizó el cálculo de la medida de los estanques.

Ecuación 5: Ecuación del volumen del estanque

$$V = a * b * h \quad (5)$$

Donde: V = volumen; a = ancho (1a); b = largo (10a); h = profundidad (1,5 m); V = a * 10 a (215,7 m³ = 10a²); a = 4,64 m; b = 4,64 m * 10; y, b = 46,4 m.

Figura 2.2 Dimensiones para la construcción de estanque.

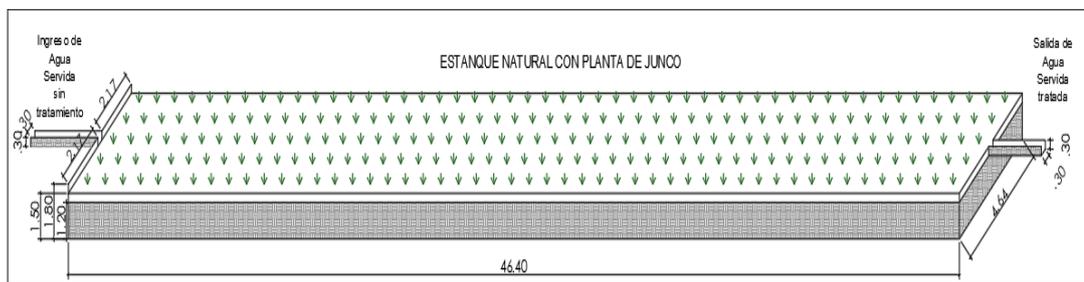


Figura 2.2 Diseño de estanque natural con plantas de junco según la teoría del pistón.

2.3.4 Tratamientos y manejos

Para la depuración de las aguas servidas, se consideró el tratamiento de los cultivos de junco (*Schoenoplectus americanus*). En la recolección, las plantas de junco fueron extraídas de las orillas de los cuerpos de aguas de algunos ríos, lagos, lagunas y acequias. De la misma forma, en la siembra se utilizaron 250 plantas que fueron repartidas equitativamente en el estanque del sistema; con ello, se alcanzó una cobertura del 50 %. Con respecto al manejo y la evaluación de la biomasa durante el estudio en el tratamiento, se eliminaron especialmente aquellas plantas que se encontraban en estado de descomposición, con la finalidad de permitir el crecimiento de las plantas en buenas condiciones. La depuración de aguas servidas se basó en el análisis de laboratorio, (anexos 1 y 2), al utilizar los parámetros físicos, químicos y biológicos (Araneda et al., 2020).

La recolección de datos se realizó en la descarga a la entrada del estanque sembrado con plantas de junco y en la descarga a la salida de aguas servidas provenientes de viviendas no conectadas a la red de alcantarillado en el distrito de San Pablo. En cada muestra, se recolectaron 200 ml de agua servida doméstica en dos botellas de vidrio Winkler y en cuatro envases de plástico esterilizados; a estos se les adicionaron preservantes, y se rotularon con una cadena de custodia desde la identificación. Esto, para el traslado de cada muestra hasta el procesamiento en el laboratorio, para la recolección se utilizaron guantes, preservantes, una caja térmica con hielo y una camioneta para el transporte; así, los frascos de muestreo cumplieron con los requisitos técnicos establecidos en la metodología estandarizada de análisis para cada parámetro. Igualmente, se consideraron las recomendaciones para el aseguramiento de la calidad del muestreo según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

2.4 Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento para la recolección de datos se efectuó a través de actividades post-muestreo, las cuales están identificadas en la cadena de custodia de cada una de las muestras entregadas al Laboratorio Regional del Agua del gobierno regional de Cajamarca para realizar los procedimientos. Así, los laboratoristas analizaron, procesaron y revisaron los datos para evitar errores en el análisis y la elaboración del reporte o informe, donde, para el análisis de los parámetros del oxígeno disuelto, se almacenaron las muestras a oscuras y en envases de vidrio estéril por cuatro días. Igualmente, para la turbidez, se guardaron las muestras a oscuras por 24 horas; y, para el análisis biológico (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*), se dejó un espacio para la aireación, con una mezcla de 1/3 del envase de muestreo en un lugar a oscuras y con una temperatura menor o igual a 6 °C. Para el anterior proceso, se consideraron los criterios de conservación y preservación de la muestra de agua

en función del parámetro evaluado, establecidas en las normas ambientales sectoriales (MINAGRI, 2016).

Para finalizar, el laboratorio realizó un informe técnico basado en la interpretación de resultados de los datos de los parámetros solicitados, biológicos y fisicoquímicos, como la turbidez, el oxígeno disuelto, los coliformes termotolerantes y la *Escherichia coli*. De la misma forma, se utilizaron hojas de registro de datos de laboratorio, etiquetados para las muestras de agua, la cadena de custodia y la ficha de identificación del punto de monitoreo; ello, teniendo en cuenta el protocolo nacional con respecto a los recursos hídricos superficiales (MINAGRI, 2016).

2.5 Procedimiento de tratamiento y análisis de datos

En este punto, se analizó el comportamiento de cada tratamiento en la remoción de los parámetros estudiados en el sistema, de acuerdo con el reglamento de procedimientos administrativos para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas (Ugaz Odar, 2018); lo anterior, al comparar y confrontar las concentraciones de cada contaminante procedente de la descarga. Para ello, se realizaron tabulaciones estadísticas y se utilizaron hojas de cálculo de Excel, al igual que documentos de sistemas con los valores de los LMP para descargas de efluentes de las plantas de tratamiento. Asimismo, estos fueron confrontados con los ECA-agua (categoría 3: parámetros para riego de vegetales).

Los datos fueron procesados en hojas de cálculo, con ayuda de la prueba t de Student y el Excel 2010; esto, para las muestras menores o iguales a 30 datos. Con ello, se analizó si existían diferencias significativas entre dos grupos de datos relacionados, y se corroboró el

supuesto de normalidad en tiempos diferentes; así, se contemplaron dos análisis de muestras de aguas servidas, una antes y una después del tratamiento con plantas de junco.

2.6 Aspectos éticos

Antes de iniciar el proceso de experimentación e instalación de la infraestructura para la presente investigación, se desarrollaron las coordinaciones y los trámites por medio de una solicitud ante la municipalidad provincial de San Pablo. Una vez obtenido el consentimiento informado de la autoridad competente en el tiempo que correspondía, se procedió a la instalación e implementación de la infraestructura con el apoyo de equipos y maquinaria para el movimiento de la tierra y la remoción en la construcción del estanque. Ello, con el propósito de cultivar el junco para, más adelante, llevar el agua tratada al procesamiento en el Laboratorio Regional del Agua, de forma que se salvaguardaran los derechos de las personas, dado que la investigación buscó aportar a la mejora de la calidad de las aguas servidas que elimina la población, las cuales son vertidas a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento, este estudio está disponible para futuras investigaciones.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Características biológicas calidad de agua

Para nuestra investigación se cultivó el junco en el estanque natural hasta lograr un crecimiento del tallo y raíz en un periodo de 8 meses, donde la especie alcanzó un tallo de altura de 1.60 m, (ver anexo 5 y 6).

La Tabla 1 presenta el análisis de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos de las muestras de aguas servidas. La prueba t de *Student* pareada, con un nivel de significancia 5% y el nivel de confianza del 95 %, utilizando la prueba de Chapiro Wilk para muestras pequeñas o menores de 30 datos, además con un valor crítico t de 2,35, arrojó un valor de 0,06760412; es decir que la diferencia promedio de las características del agua es mayor que cero, luego de haber realizado el tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco. De igual forma, el coeficiente de la prueba t de *Student* mostró un resultado significativo, lo que implica que la hipótesis fue contrastada.

Tabla 1: Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.

Parámetros microbiológicos y fisicoquímicos	Desagüe de San Pablo	Tratamiento con planta de junco	Prueba t de <i>Student</i>
Turbidez	48,1	18,6	0,06760412
Oxígeno disuelto	3,8	4,5	Es significativa
Coliformes termotolerantes	43 x 1 000 000	13 x 1 000 000	
<i>Escherichia coli</i>	35 x 1 000 000	13 x 1 000 000	

Prueba estadística t de Student pareada para contrastar el efecto del tratamiento de aguas servidas con el uso de plantas de junco.

Consecuentemente, en la Tabla 2 se presenta el análisis de los parámetros microbiológicos de las muestras de aguas servidas. La prueba t de *Student* pareada, con un

nivel de significancia del 5% y el nivel de confianza del 95 %, utilizando la prueba de Chapiro Wilk para muestras pequeñas o menores de 30 datos, además con un valor crítico de t de 12,7, arrojó un valor de 0,097179581, lo que quiere decir que la diferencia promedio de las características microbiológicas del agua es mayor que cero, luego de haber realizado el tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco lo que significa que las plantas de junco si generaron efectos significativos en las características de tales parámetros, como se muestra en los anexos 1 y 2.

Tabla 2: Coliformes termotolerantes *escherichia coli*.

Parámetros biológicos	Desagüe de San Pablo	Tratamiento con planta de junco	Prueba t de Student
Coliformes termotolerantes	43 x 1 000 000	13 x 1 000 000	0,097179581
<i>Escherichia coli</i>	35 x 1 000 000	13 x 1 000 000	Es significativa

Prueba estadística t de Student pareada para contrastar el efecto del tratamiento de aguas servidas con el uso de plantas de junco a nivel de parámetros biológicos.

3.2 Características fisicoquímicas calidad de agua

Asimismo, en la Tabla 3 se presenta el análisis de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas servidas. La prueba t de *Student* pareada, con un nivel de significancia del 5% y el nivel de confianza del 95 %, utilizando la prueba de Chapiro Wilk para muestras pequeñas o menores de 30 datos, además con un valor crítico de t de 12,7, arrojó un valor de 0,515103398, lo que quiere decir que la diferencia promedio de las características fisicoquímicas del agua es mayor que cero, luego de haber realizado el tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco, lo que significa que las plantas de junco si generaron efectos significativos en las características de tales parámetros,. Esto, según los anexos 1 y 2.

Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos

Parámetros fisicoquímicos	Desagüe de San Pablo	Tratamiento con planta de junco	Prueba t de Student
Turbidez	48,1	18,6	0,515103398
Oxígeno disuelto	3,8	4,5	Significatividad media

Prueba estadística t de Student pareada para contrastar el efecto del tratamiento de aguas servidas con el uso de plantas de junco a nivel de parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4 se presenta el análisis de los parámetros biológicos y fisicoquímicos, comparando porcentualmente las muestras, antes del tratamiento y después del tratamiento a través del cultivo de plantas de junco, teniendo una disminución del 61.33 % en la turbidez, un aumento del 18,42% en el oxígeno disuelto, una disminución de 69,77 % en coliformes termotolerantes y una disminución del 62,86 % de *Escherichia coli*, lo que significa que las plantas de junco si generaron efectos positivos en las características de dichos parámetros. Esto, según los anexos 1 y 2.

Tabla 4: Parámetros biológicos y fisicoquímicos

Parámetros biológicos y fisicoquímicos	Desagüe de San Pablo	Tratamiento con planta de junco	Diferencia de datos	Diferencia porcentual
Turbidez	48,1	18,6	29,5	61,33 %
Oxígeno disuelto	3,8	4,5	0,7	18,42 %
Coliformes termotolerantes	43 x 1 000 000	13 x 1 000 000	30 x 1 000 000	69,77%
<i>Escherichia coli</i>	35 x 1 000 000	13 x 1 000 000	22 x 1 000 000	62,86%

Análisis porcentual pareada para contrastar el efecto del tratamiento de aguas servidas con el tratamiento de plantas de junco.

3.3 Efecto del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco

En los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, después del análisis de datos según la prueba t de *Student*, se tuvo un resultado significativo, el cual determinó que sí

existen cambios en la calidad de las aguas servidas tratadas con plantas de junco. De acuerdo con esto, los análisis y resultados señalaron que las plantas de junco generaban efectos positivos.

Igualmente, se comprobó que el cultivo de plantas de junco sí generó efectos positivos según los resultados analizados y comparados en las muestras tomadas de las aguas servidas antes de ingresar al estanque y al salir del mismo; para los parámetros de las características biológicas y fisicoquímicas (ver anexos 1 y 2). Después del tratamiento, se tiene una disminución del 61.33 % en la turbidez, un aumento del 18,42% en el oxígeno disuelto, una disminución de 69,77 % en coliformes termotolerantes y una disminución del 62,86 % de escherichia coli; lo que quiere decir que el cultivo de plantas de junco si generaron efectos positivos en las características de dichos parámetros, según los resultados analizados y comparados en las muestras tomadas.

Por otro lado, con los resultados relacionados con el objetivo general, se determinó que, si hay efecto en el tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo (anexos 1 y 2).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

4.1.1 *Limitaciones*

La presente investigación solo se limitó a estudiar cuatro parámetros, dado que se tuvieron en cuenta los costos elevados para el tratamiento en los análisis y el procesamiento de los datos en el Laboratorio Regional del Agua, por ser único laboratorio acreditado por el Inacal-DA. Lo anterior, al considerar el tratamiento, el procesamiento y los resultados de las muestras de agua servida en función de los parámetros evaluados establecidos en las normas ambientales sectoriales, con las cuales se determinaron los efectos positivos de las plantas de junco en el tratamiento de agua.

4.1.2 *interpretación comparativa*

Los resultados asociados a los parámetros microbiológicos de las muestras de aguas servidas luego del tratamiento a través de la planta de junco arrojaron, según la prueba t de Student pareada, arrojó un valor de 0,097179581, lo que quiere decir que la diferencia promedio de las características microbiológicas del agua es mayor que cero, luego de haber realizado el tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco lo que significa que las plantas de junco si generaron efectos significativos en las características de tales parámetros. Tales hallazgos contrastan con los resultados de (Pérez, 2009), quien estableció:

Como sistema de tratamiento terciario de aguas residuales domésticas a los humedales artificiales y con ello, apoyar a los sistemas locales de tratamiento a cumplir con el contenido de coliformes fecales que solicita la normatividad en materia de descargas de

agua (10 unidades formadoras de colonias/ml), además de bajar los contenidos de fósforo y nitratos y evitar con ello la eutrofización de los cuerpos de agua (p. 1).

Los hallazgos de la presente investigación también contrastaron con lo que encontraron Rodríguez y García (2012), quienes concluyeron que la *Eichhornia crassipes* es más eficiente en la depuración de aguas servidas, pues con esta se logran remociones altas en coliformes totales (85,5 %), nitratos (77,7 %), coliformes termotolerantes (73,5 %), DB05 (66,1 %) y sólidos suspendidos totales (60 %). En tal sentido, la *Pistia stratiotes* mostró ser muy susceptible a factores ambientales y a la presencia de plagas.

Los resultados de la presente investigación después del tratamiento, se tuvo una disminución del 61,33 % en la turbidez, un aumento del 18,42% en el oxígeno disuelto, una disminución de 69,77 % en coliformes termotolerantes y una disminución del 62,86 % de *Escherichia coli*; lo que quiere decir que el cultivo de plantas de junco si generaron efectos positivos en las características de dichos parámetros, según los resultados analizados y comparados en las muestras tomadas. También coincidieron con los de (Gomez Lordan, 2019), quien evaluó la eficiencia de DQO, nitrógeno (NH_4^+ , NO_3^-) ortofosfatos y coliformes totales y fecales en cuatro humedales construidos de flujo superficial horizontal a escala piloto; ello, por medio del uso de dos especies de plantas locales. Dos sistemas fueron plantados con *Cyperus ligularis* y dos con *Echinochloa colonum*. Por otro lado, la eliminación de DQO, amonio, nitrato y ortofosfatos fue de 93 %, 65 %, 71 % y 32 %, respectivamente; y para *Cyperus ligularis* fue de 85 %, 54 %, 67 % y 57 %, respectivamente. Finalmente, la eficiencia de eliminación de bacterias coliformes fue de 99,9 % para ambas especies.

4.1.3 Implicancias

En la presente investigación, también se planteó como objetivo específico evaluar los resultados de la calidad de agua con respecto a las características fisicoquímicas antes y después del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco. Los resultados de las muestras de aguas servidas señalaron que sí se generaron efectos a nivel de significancia media en las características de los parámetros fisicoquímicos de estas; ello, según la prueba t de *Student* pareada, cuyo valor alcanzó un coeficiente de 0,6059073.

De la misma forma, los hallazgos se relacionan con los resultados encontrados por (Gómez, 2017), quien demostró que la *Eichhornia crassipes* es más eficiente en la depuración de aguas servidas, pues con ella se logran remociones altas en el 85,5 % de coliformes totales, el 77,7 % de nitratos, el 73,5 % de coliformes termotolerantes, el 66,1 % de DB05 y el 60 % de sólidos suspendidos totales. Así las cosas, la *Pistia stratiotes* también mostró ser muy susceptible a factores ambientales y a la presencia de plagas, y con ella se obtuvieron remociones en el 67,1 % de fosfatos, el 65,6 % de nitratos, el 63,8 % de DB05 y el 62,8 % de coliformes.

Los hallazgos del tratamiento de aguas servidas con plantas, también se relacionan con los resultados de Charris y Caselles-Osorio (2016), que evaluaron la eficiencia de la DQO, el nitrógeno (NH₄⁺, NO₃) los ortofosfatos, y los coliformes totales y fecales en cuatro humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto. Para ello, se usaron dos especies de plantas locales: dos sistemas plantados con *Cyperus ligularis* y dos con *Echinochloa colonum*.

De otra parte, esta investigación planteó el objetivo de determinar el efecto del tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo. En ese sentido, los resultados indicaron, con respecto a los parámetros biológicos y fisicoquímicos, que las plantas de junco sí generaron efectos en las

características de estos parámetros. De la misma manera, el coeficiente de la prueba t de *Student* mostró un resultado de 0,06760412, el cual fue significativo; por tanto, la hipótesis fue contrastada.

En el caso de la presente investigación, se dio la construcción de un estanque natural con plantas de junco para tratamiento de aguas servidas que, de cierto modo, constituye un humedal artificial, un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, con no más de 1,50 m, construido por el hombre. En ese orden de ideas, las otras investigaciones también señalan que el agua que se mueve arriba y abajo del gradiente de humedad asimila una variedad de constituyentes químicos y físicos en solución, ya sea como detritus o sedimentos.

Los resultados también se asociaron a aquellos de Gómez (2017), quien concluyó que los humedales artificiales, empleados como sistemas semi descentralizados en áreas periurbanas, facilitan el tratamiento de las aguas residuales. Ello, debido a que existe mayor uniformidad; por lo tanto, hay un fácil tratamiento si existe un mayor potencial de recuperación y reutilización local, con lo que mejoran el balance hídrico y la preservación del recurso hídrico. Asimismo, los humedales artificiales tienen la bondad de mejorar el paisaje, lo que es una alternativa para su empleabilidad en áreas verdes.

4.2 Conclusiones

Según los objetivos específicos, los resultados indicaron que las plantas de junco sembradas en un estanque natural de 4,64 metros de ancho, por 46,4 metros de largo y una profundidad de 1.5 metros, tuvo una capacidad de almacenamiento de 322,944 m³ de agua y un caudal promedio de entrada de 0.17 l/s. Los resultados muestran que sí generaron efectos entre los parámetros de las características biológicas y fisicoquímicas de las aguas

servidas, con una disminución del 61,33 % en la turbidez, un aumento del 18,42% en el oxígeno disuelto, una disminución de 69,77 % en coliformes termotolerantes y una disminución del 62,86 % de escherichia coli. Ello significa que el cultivo de plantas de junco si genera efectos positivos en las características de dichos parámetros, según los resultados analizados y comparados en las muestras tomadas.

Comparando los resultados obtenidos en por el Laboratorio Regional del Agua, del Gobierno Regional de Cajamarca, se encontró en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos una disminución en la turbidez de 48,1 a 18,6 NTU, en cuanto al oxígeno disuelto se obtuvo un aumento del 3,8 a 4,5 mg O₂/L. De la misma forma, en la cantidad de coliformes termotolerantes se disminuyó de 43x10⁶ a 13x10⁶ NMP/100ml y cuanto a los organismos microbiológicos una reducción de 35x10⁶ a 13x10⁶ NMP/ml.

Para finalizar, y a modo de conclusión general, se puede afirmar que, luego de los análisis de resultados, se determinó que el cultivo de plantas de junco produce efectos positivos en el tratamiento de aguas servidas en el distrito de San pablo, provincia de San Pablo.

REFERENCIAS

- Acosta, M., Emmanuel, X., & De, T. (2020). *Evaluación de un sistema Wetland con caña guadua para el tratamiento de aguas servidas*. [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14448>
- Adame Romero, A., & Salín Pascual, D. A. (2000). Contaminación ambiental. *UNAPEC*.
- Aponte, H. (2009). El junco: clasificación, biología y gestión. *Científica*, 6(1), 38–45.
- Araneda, N., Valenzuela-Heredia, D., Campos, J. L., Carrera, P., Belmonte, M., Mosquera-Corral, A., Val de Río, Á., Araneda, N., Valenzuela-Heredia, D., Campos, J. L., Carrera, P., Belmonte, M., Mosquera-Corral, A., & Val de Río, Á. (2020). Sistemas granulares aerobios para el tratamiento descentralizado de aguas servidas y su reutilización en condominios en Chile. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 346–357. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200346>
- Barrera-Herrera, J. A., Aranguren-Riaño, N., Páez-Ruíz, Y. M., Molina-Pacheco, L. B., Pedroza-Ramos, A., Díaz-Ballesteros, C. A., Barrera-Herrera, J. A., Aranguren-Riaño, N., Páez-Ruíz, Y. M., Molina-Pacheco, L. B., Pedroza-Ramos, A., & Díaz-Ballesteros, C. A. (2020). Incidencia del tiempo de retención hidráulica en el plancton del reservorio La Chapa (Santana, Boyacá), Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 407–422. <https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.1022>
- Blum, M. J., Mclachlan, J. S., Saunders, C. J., & Herrick, J. D. (2005). Characterization of microsatellite loci in *Schoenoplectus americanus* (Cyperaceae). *Molecular Ecology Notes*, 5(3), 661–663. <https://doi.org/10.1111/J.1471-8286.2005.01047.X>
- Coronel Castro, E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y lentejas de agua (Lemma minor) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad*

Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas - 2015.

De la Lanza Espino, G., Carbajal Pérez, J. L., Salinas Rodríguez, S. A., & Barrios Ordoñez,

J. E. (2012). Medición del caudal ecológico del río Acaponeta, Nayarit, comparando distintos intervalos de tiempo. *Investigaciones Geográficas*, 78, 62.
<https://doi.org/10.14350/rig.32470>

de Miguel Beascochea, E., Muñoz, J. de M., & Fernández de la Mora, D. C. (2016).
Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación. July, 1–23.

Díaz, P. (2018). *Evaluación de las alternativas de aprovechamiento de residuos de unco (Schoenoplectus californicus) en la laguna de Fúquene.*
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21309/52964875.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García Isidro, M., Ferreiro Pérez, A., Fernández López-Peláez, M. S., Moeinvaziri, M., & Fernández García, P. (2021). Cambios en recesos laterales y forámenes en segmentos degenerativos lumbares de pacientes sintomáticos estudiados mediante resonancia magnética en decúbito y bipedestación. *Radiología.*
<https://doi.org/10.1016/J.RX.2021.01.003>

Gomez Lordan, Y. M. (2019). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE HUMEDALES ARTIFICIALES VERTICALES EMPLEANDO *Cyperus alternifolius* Y *Chrysopogon zizanioides* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 165.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014).
Metodología de la Investigación.

Jordão, C. M., & Fogaça, F. C. (2012). Carvalhos, juncos, árvores e rizomas: paradigmas na formação de professores. *Revista Brasileira de Linguística Aplicada*, 12(3), 493–510.

<https://doi.org/10.1590/S1984-63982012000300004>

Ley General del Medio Ambiente en Perú, (2005) (testimony of Ley N° 28611).

<https://gidahatari.com/ih-es/ley-general-del-medio-ambiente-ley-n-28611>

MINAGRI. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. In *Autoridad Nacional del Agua* (p. 92).

<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>

Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A., & Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 3(1), 19–29. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530105>

CALIDAD DE AGUA, (2013) (testimony of NTP 214.046).

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-norma-tecnica-peruana-calidad-agua>

Paucar, F., & Iturregui, P. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. In *South Sustainability* (Vol. 1). <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-004>

Pérez, M. E. (2009). Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango. In *Tesis para la obtención del grado de doctor en Ciencia y Tecnología ambiental*. [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis Ma. Elena Pérez López.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis%20Ma.%20Elena%20Pérez%20López.pdf)

POTENCIANO, L. K., & TARRILLO, S. E. L. D. (2016). *Efectividad de la rizofiltración de la especie “junco” (Schoenoplectus californicus) en relación con la calidad de agua de la cuenca alta del Río Moche en condiciones experimentales. Noviembre 2016 – Febrero 2017.*

Prado, G. H. P., & Velasco, S. M. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domésticas con poaceas: *brachiaria mutica*, *pennisetum purpureum* y *panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y*

Agroindustrial, 11(2), 57–65.

<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/298>

Rodríguez Chumbe, M. I., & García García, K. A. M. (2012). Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba [Universidad Nacional de San Martín]. In *Universidad Nacional de San Martín*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/372>

Ruíz, O., Acero, A., Lorén, J., Russo, B., & Lapuente, M. (2019). Planta Piloto para el análisis del rendimiento de la depuración de aguas fecales mediante macrófitas. *Eupla*, 8, 15. <http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/posters/rs8.pdf>

Sánchez Montes, M. (2017). *Las aguas residuales en Perú, realidad al 2017*. <https://www.iagua.es/blogs/maria-sanchez-montes/aguas-residuales-peru-costo-improvisacion>

SEDAPAR. (2021). *Aguas servidas: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa*. <https://www.sedapar.com.pe/portal-doctor/el-agua/aguas-servidas/>

Sehircilik, B. (2009). Tratamiento y reuso de aguas residuales. *Manual Para Municipios Ecoeficientes*, 2(511), 179. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>

Ugaz Odar, F. (2018). Reuso de aguas residuales, tratadas biologicamente para el regadío del jardín botánico, Trujillo, La Libertad - Perú [Universidad Nacional de Trujillo]. In *Universidad Nacional de Trujillo*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10587>

ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084			
			
LABORATORIO REGIONAL AGUA		INACAL DA-Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 084	
INFORME DE ENSAYO N°		IE 1019834	
DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
Razon Social/Usuario	GUEVARA FERNANDEZ SANTOS PERCY		
Dirección			
Persona de contacto	Eduardo Vásquez Toledo	Correo electrónico	edvi_2022@hotmail.com
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha del Muestreo	10.10.19	Hora de Muestreo	10:30 a 11:00
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestras	02 Muestras	N° Frascos x muestra	03
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos y Biológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el Usuario		
Procedencia de la Muestra:	SAN PABLO		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 1154	Cadena de Custodia	CC - 834 - 19
Fecha y Hora de Recepción	10.10.19	14:40	Inicio de Ensayo 10.10.19 15:10
Reporte <i>Final de</i> Resultados	21.10.19	16:30	
 Ing. Edder Miguel Neyra Jaico Responsable de Oficina CIP: 147028			
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
Cajamarca, 22 de Octubre de 2019.			
1 de 2			
"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO" JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe FONC: 599003 anexo 1140			

Anexo 2. Informe de ensayo



LABORATORIO REGIONAL
AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA- Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1019834

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS					
Código Cliente	Desague de San Pablo		Tratamiento con planta de Junco	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	1019834-01		1019834-02	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL		RESIDUAL	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Turbidez	NTU	0.09	48.1	18.6	-	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	3.8	4.5	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	43 x 10 ⁶	13 x 10 ⁶	-	-	-	-
Escherichia coli	NMP/ 100mL	1.8	35 x 10 ⁶	13 x 10 ⁶	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)
Nota: Los Resultados <1.8 : significa que el resultado es equivalente a cero.

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity, Nephelometric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved), Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
Numeración de Escherichia coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, G. 23rd Ed. 2017: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures.

NOTAS FINALES

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 22 de Octubre de 2019.



2 de 2

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe FONC. 599000 anexo 1140

Anexo 3. Toma de muestras de agua servida



Anexo 4. Tomas de muestra de aguas servidas tratadas con plantas de junco



Anexo 5. Estanque con plantas de junco



Anexo 6. Salida de aguas servidas tratadas con planta de junco

