

Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

LOS HUMEDALES ARTIFICIALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
GENERADAS EN LA ZONA BAJA DE BELÉN DE LA CIUDAD DE IQUITOS

Línea de investigación:

Construcción Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Territorio

Tesis para optar el Grado Académico de
Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Autor:

Domínguez Villacorta, Orlando

Asesora:

Esenarro Vargas, Doris

(ORCID: 0000-0002-7186-9614)

Jurado:

Jurado Falconi De Trujillo Eulalia
Coayla Coayla Adalberta
Zamora Talaverano Noe

LIMA - PERU

2022

TÍTULO

**LOS HUMEDALES ARTIFICIALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
GENERADAS EN LA ZONA BAJA DE BELÉN DE LA CIUDAD DE IQUITOS**

AUTOR

DOMÍNGUEZ VILLACORTA, ORLANDO

ASESOR

DRA. ESENARRO VARGAS, DORIS

Contenido

TÍTULO	ii
AUTOR	iii
ASESOR	iii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Descripción del Problema	5
1.3 Formulación del problema	6
1.4 Antecedentes	7
1.4.1 Antecedentes Nacionales.....	7
1.4.2 Antecedentes Internacionales	12
1.5 Justificación de la Investigación	16
1.6 Limitaciones de la Investigación.....	18
1.7 Objetivos	18
1.8 Hipótesis.....	19
II. MARCO TEÓRICO	20
2.1 Marco Conceptual	20
2.1.1 Calidad de Aguas Residuales	20

2.1.2	Categorías del agua residual.....	20
2.1.3	Etapas del tratamiento del agua.....	21
2.1.4	Rasgos del agua residual	22
2.1.5	Humedales naturales y artificiales.....	28
2.1.6	Tipos de humedales artificiales.....	28
2.1.7	Aplicaciones de los humedales artificiales.....	37
III.	MÉTODO	38
3.1	Tipo de Investigación.....	38
3.2	Población y Muestra.....	38
3.2.1	Población.....	38
3.2.2	Muestra.....	44
3.3	Operacionalización de Variables.....	45
3.3.1	Variables.....	45
3.4	Instrumentos	47
3.5	Procedimiento.....	48
3.6	Análisis de datos.....	50
IV.	RESULTADOS	51
4.1	Condiciones Actuales del Agua	51
4.1.1	Puntos de toma de muestra.....	52
4.1.2	Medición de parámetros del agua.....	55

4.2	Diseño de Modelo de Humedal Artificial	59
4.2.1	Calidad de Agua residual	60
4.2.2	Caudal de entrada	61
4.2.3	Selección del tipo de HA a utilizar.....	62
4.2.4	Dimensionamiento biológico	63
4.2.5	Dimensionamiento hidráulico	64
4.2.6	Estimación de desempeño	75
4.3	Sensibilización de la Comunidad	77
4.4	Guía de Operación y Mantenimiento	83
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	86
VI.	CONCLUSIONES.....	90
VII.	RECOMENDACIONES.....	91
VIII.	REFERENCIAS	92
IX.	ANEXO	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades físicas del agua residual</i>	22
Tabla 2 <i>Propiedades químicas del agua residual</i>	23
Tabla 3 <i>Propiedades biológicas de las aguas residuales</i>	25
Tabla 4 <i>Caracterización distintiva del agua residual</i>	26
Tabla 5 <i>Tipos de humedales artificiales</i>	30
Tabla 6 <i>Ventajas y desventajas de los mecanismos de remoción en humedales artificiales</i>	31
Tabla 7 <i>Clima del departamento de Loreto</i>	41
Tabla 8 <i>Fauna Región de Loreto</i>	42
Tabla 9 <i>Distribución de las Muestras de Agua</i>	44
Tabla 10 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	46
Tabla 11 <i>Estrategias e instrumentos para recolectar información</i>	47
Tabla 12 <i>Localización de puntos para toma de muestra</i>	53
Tabla 13 <i>Parámetros fisicoquímicos y biológicos de estudio</i>	56
Tabla 14 <i>Resultados de muestras tomadas en el área de estudio</i>	57
Tabla 15 <i>Agua considerada para diseño del humedal artificial (HA)</i>	60
Tabla 16 <i>Comparación entre HAFSV y HAFSH</i>	62
Tabla 17 <i>Geometría del humedal</i>	67
Tabla 18 <i>Sustrato del humedal artificial</i>	68
Tabla 19 <i>Calculo de Tiempo de Retención Hidráulica en humedal artificial</i>	69
Tabla 20 <i>Comportamiento estimado en el humedal artificial (HA)</i>	76
Tabla 21 <i>Guía para la operación, mantenimiento y cuidado del humedal artificial (HA)</i>	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Humedal artificial de flujo superficial</i>	33
Figura 2	<i>Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficial horizontal</i>	35
Figura 3	<i>Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficial vertical</i>	36
Figura 4	<i>Ubicación del cuerpo de agua sujeto a estudio y zonas aledañas</i>	39
Figura 5	<i>Delimitación detallada del cuerpo de agua sujeto a estudio</i>	40
Figura 6	<i>Descarga de quebradas y caños contaminados por acción humana al río Itaya</i>	51
Figura 7	<i>Ubicación de puntos de muestreo</i>	54
Figura 8	<i>Resultados de análisis biológico de las 8 muestras</i>	58
Figura 9	<i>Pasos para el diseño del humedal artificial (HA)</i>	59
Figura 10	<i>Pasos para el diseño del humedal artificial (HA)</i>	67
Figura 11	<i>Distribución de plantas en el humedal artificial</i>	70
Figura 12	<i>Vista de planta configuración del humedal artificial</i>	71
Figura 13	<i>Vista de cortes transversales del humedal artificial</i>	71
Figura 14	<i>Vista de planta del arreglo de tuberías de distribución</i>	73
Figura 15	<i>Vista de planta del arreglo la red de recolección</i>	74
Figura 16	<i>Vista Isométrica del arreglo la red de recolección</i>	75
Figura 17	<i>Comportamiento del parámetro biológico coliforme termotolerantes</i>	77
Figura 18	<i>Situación inicial de la comunidad antes de la charla de sensibilización</i>	78
Figura 19	<i>Charla de sensibilización – Fotografía N°1</i>	80
Figura 20	<i>Charla de sensibilización – Fotografía N°1</i>	81
Figura 21	<i>Disposición de la comunidad hacia el uso de humedales artificiales</i>	82

Figura 22 <i>Toma de muestra OD-AS-01 / 02</i>	104
Figura 23 <i>Toma de muestra OD-AS-03 / 04</i>	105
Figura 24 <i>Toma de muestra OD-AS-05 / 06</i>	106
Figura 25 <i>Toma de muestra OD-AS-07 / 08</i>	107

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Calculo de caudal del afluente</i>	61
Ecuación 2 <i>Calculo de habitantes equivalentes</i>	64
Ecuación 3 <i>Área de una sección rectangular</i>	65
Ecuación 4 <i>Ancho de humedal</i>	66
Ecuación 5 <i>Tiempo de retención hidráulica</i>	68
Ecuación 6 <i>Calculo de caudal</i>	72
Ecuación 7 <i>Diámetro de la tubería</i>	73

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad el diseño de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la zona del bajo Belén, ciudad de Iquitos. Embarcaciones abandonadas, y principalmente por el vertido sin previo tratamiento de aguas residuales sean estas de origen doméstico, municipal e inclusive industrial. Como metodología es de nivel no experimental y de tipo descriptiva transaccional el área de estudio es el tramo del río Itaya en la zona baja de Belén, considerando 8 muestras de agua. Entre los resultados principales se determinó que los parámetros físicos y químicos estaban dentro de los límites establecidos por el MINAM y la variable biológica coliformes termotolerantes excedió el límite permisivo desde un mínimo de 3300 NMP/100 ml hasta 79000 NMP/ml 100. Se calculó como caudal de entrada 18 m³/d. Considerando la variable a controlar, se seleccionó como mejor opción un humedal artificial de tipo flujo subsuperficial con orientación vertical para una población equivalente igual a 0.9 habitantes y un área de superficie de 2.25 m² dividido en 2 celdas de igual tamaño. Se estimó un desempeño para el humedal diseñado capaz de controlar los coliformes termotolerantes en un rango de 33 a 790 NMP/100 ml, ubicando el resultado por debajo del límite legal (2000 NMP/100 ml). Como estrategia para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del sistema se desarrollaron charlas de sensibilización y una guía de operación y mantenimiento del humedal, con el fin de dar a conocer la importancia y beneficio del sistema y ofrecer herramientas para garantizar su funcionamiento.

Palabras clave: humedal artificial, tratamiento de agua, aguas residuales, flujo vertical.

ABSTRACT

The purpose of this research is the design of an artificial wetland for the treatment of wastewater generated in the area of Bajo Belén, Iquitos city. abandoned boats, and mainly due to the dumping without prior treatment of wastewater, whether of domestic, municipal or even industrial origin. As a non-experimental and descriptive-transactional methodology, the study area is the section of the Itaya river in the lower area of Belén, considering 8 water samples. Among the main results, it was determined that the physical and chemical parameters were within the limits established by MINAM and the biological variable thermotolerant coliforms exceeded the permissive limit from a minimum of 3,300 NMP/100 ml to 79,000 NMP/ml 100. It was calculated as inlet flow 18 m³/d. Considering the variable to be controlled, a vertically oriented subsurface flow artificial wetland was selected as the best option for an equivalent population equal to 0.9 inhabitants and a surface area of 2.25 m² divided into 2 cells of equal size. Performance was estimated for the designed wetland capable of controlling thermotolerant coliforms in a range from 33 to 790 NMP/100 ml, placing the result below the legal limit (2000 NMP/100 ml). As a strategy to guarantee the long-term sustainability of the system, awareness talks and a wetland operation and maintenance guide were developed, in order to publicize the importance and benefits of the system and offer tools to guarantee its operation.

Keywords: constructed wetland, water treatment, residual water, vertical flow.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para el desarrollo del ser humano y su acceso afecta a una mejor calidad de vida, pero existen muchos países que no cuentan con este recurso, mientras que otros países tienen acceso, pero que no hay una eficiente gestión del recurso para el abastecimiento a toda la población, en el caso de Perú los cuerpos de agua dulce, cuenta con muchas redes hidrológica, pero muchos de ellos presentan graves problemas de contaminación provenientes de actividades económicas que descargan sustancias tóxicas, componentes contaminantes, residuos sólidos, líquidos, etc., pero también son provenientes de las poblaciones aledañas a estas fuentes de agua, que no tienen conciencia ambiental.

La contaminación de los ríos no solo trae efectos negativos en el medio acuático ecosistémico, sino también en la salud humana, por ello parte de una de las tecnologías que responde a una solución, son los humedales artificiales que a nivel mundial ha llegado ser una alternativa efectiva como los convencionales sistemas, siendo estos humedales artificiales un sistema pasivo que depura las aguas tanto a nivel biológico, físico y químico como lo hace normalmente un humedal natural, donde estas aguas residuales vienen siendo una descarga sin efectos negativos para las masas acuáticas naturales, siendo idóneos sistemas para zonas rurales, sin alcantarillado, sin conexiones a estaciones de tratamiento, de grandes extensiones de terreno disponibles, granjas o casas rurales, como industriales de las zona, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesado, etc. Reutilizándose para el área agrícola, áreas verdes, siendo un proceso que tiene rendimiento positivo, por ende, la importancia de la concientización de los ciudadanos por el cuidado de nuestro medio en el que vivimos y el cuidado de los recursos naturales.

Por tanto, el diseño y el efectuar de este proyecto permitirá las aguas residuales que llegan a descargarse a las fuentes de agua sean menos transgredidos por las diferentes actividades que se lleven a cabo y que en conjunto con la población perciban la efectividad de este sistema que no solo cuidará su salud sino también del ecosistema acuático.

1.1 Planteamiento del Problema

Los asentamientos humanos que se han erigido alrededor de las fuentes de agua en el entendido de que este recurso natural es fundamental para el sustento de la vida. Este recurso considerado como fundamental para el crecimiento y sustento de las sociedades y sus economías (Araya et al., 2016), ha moderado e influido significativamente sobre todo en aquellas comunidades que se encuentran en las cercanías de ríos, lagos u otros cuerpos de agua.

A pesar de que las personas conocen la importancia del agua y que su calidad “es fundamental para la salud humana, el bienestar y la productividad” (UNICEF y OMS, 2018, p. 2), ha persistido una falta de conciencia generalizada hacia su preservación y del entorno que la rodea. Esto ha causado afectaciones negativas tanto al medio biótico, abiótico y antrópico influenciado por el cuerpo de agua en cuestión.

Uno de las acciones con mayor contribución para la contaminación de fuentes fluviales ha sido el vertido de aguas residuales sin acondicionamiento en ríos, quebradas y otros cuerpos de agua. Acorde con la PNUD (2020), se estima que más de un 80% de las aguas servidas generadas en el mundo son vertidas sin tratamiento alguno al ambiente contaminando así tanto el agua como las tierras.

Perú no escapa a esta realidad. En el país las aguas residuales no tratadas o tratadas incorrectamente de fuentes domésticas, mineras e industriales se vierten en ríos, lagos y océanos, contaminando estos entornos (Moscoso, 2016). Al respecto la OEFA (2014), indica que de 2.217.946 m³ de agua residual descargada al sistema de alcantarillado público, solo el 32% es tratado, dejando un 78% de agua sin tratar, la cual es dispuesta al entorno. Por otro lado, según estimaciones del INEI (2020), un 11,2% de los habitantes de la zona urbana no cuenta con sistema de alcantarillado público, mientras que en el sector rural la situación se degrada significativamente

al punto de alcanzar un 83,4% de la población sin red de alcantarillado, lo que sugiere que el volumen de agua residual descargada sin tratamiento se incrementa de manera exponencial.

De este modo, Perú dentro de un contexto en el que se dificulta cada vez más encontrar fuentes de agua libres de contaminación, sufre de problemas generados a partir de sobreexplotación del agua dulce lo cual amenaza el bienestar humano, así como del medio ambiente (RAMSAR, 2016). De esta forma se contaminan grandes reservorios de agua potable destinadas al consumo humano y agua destinada para riego de actividades agrícolas como consecuencia de la escasa cobertura de sistemas para tratar las aguas residuales (Moscoso, 2016)

Esto se puede observar en la zona baja de Belén. Esta área presenta un crecimiento demográfico en las adyacencias del río Itaya, caracterizado por ser un crecimiento no planificado e improvisado, debido a que sus habitantes son de escasos recursos. Se presentan en las riberas del río, áreas intensamente intervenidas y ocupadas por asentamientos humanos, los cuales, hacen un uso indiscriminado de las tierras y del agua generando una diversidad de problemas tanto para las personas como para el entorno.

Dentro de las situaciones problemáticas más relevantes que se presentan en estas comunidades esta la contaminación de las aguas del río Itaya, el cual, sirve como principal medio para abastecimiento de agua para las personas de esta localidad. Entre las razones que conllevan a la contaminación de este río se encuentran la acumulación de residuos sólidos, embarcaciones abandonadas, y principalmente la descarga de aguas residuales sin tratamiento sean estas de origen doméstico, municipal e inclusive industrial. Al no estar cubierta la zona por la red pública de alcantarillado u otro tipo de sistema para controlar de las aguas servidas para luego ser tratadas, las mismas terminan siendo descargadas directamente al cauce del río.

Por otro lado, en la zona no existe actualmente ningún medio operativo para tratar estas aguas residuales, lo que, genera como consecuencia que los habitantes de estos asentamientos la utilicen para cocinar, riego, higiene personal y otras tareas cotidianas, a pesar de que, esta no es admisible para el consumo de las personas. Sin contar el nivel de contaminación que afecta al medio biótico y abiótico que propicia la presencia de riesgos y peligros para el ecosistema y biodiversidad.

Como respuesta, la presente investigación propone el diseño de un biofiltro (humedal artificial) para el tratamiento de las aguas residuales descargadas actualmente al río Itaya a la altura de la zona baja de Belén en la ciudad de Iquitos.

1.2 Descripción del Problema

La región Loreto tiene grandes extensiones de áreas verdes y agua dulce, llamados meandros que cruzan esta región, pero la problemática de la contaminación, ha hecho que, en el 2020, Autoridades del Ministerio del Ambiente (Minam), viajaran a Iquitos para acordar medidas que beneficien a los distritos de Iquitos, Alto Nanay, Punchana, Belén y San Juan Bautista, afectados por la contaminación del río Nanay, dado así, que el Gobierno declaró en estado de emergencia estas jurisdicciones por un plazo de 60 días calendarios, tras confirmarse la presencia de plomo, sólidos totales suspendidos, fósforo total y otros elementos que atentan contra la salubridad, gracias a la información que se recaba en el “Monitoreo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Nanay”, dando resultado que transgrede los estándares de conservación del ambiente acuático, subcategoría de ríos de selva y de lagos y lagunas.

La zona de Belén, la contaminación del río Itaya se atribuye al aumento de los residuos sólidos, plásticos rígidos, seguido de la producción de cenizas por la quema de leños para uso

doméstico; además se observa la generación de residuos como pañales por el alto porcentaje de natalidad registrado en la zona y las actividades de mejoramiento de la zona; otro punto es que no hay el servicio de recojo de residuos sólidos y los servicios de alcantarillado.

1.3 Formulación del problema

- *Problema General*

- ¿De qué manera el diseño de un humedal artificial incide en el tratamiento de aguas residuales generadas en la zona baja de Belén de la ciudad de Iquitos?

- *Problemas Específicos*

- ¿Cómo es la calidad actual del agua en la cuenca del río Itaya en la zona baja de Belén de Iquitos?
- ¿Cuál es el diseño de un modelo de humedal artificial para tratamiento de las aguas residuales en la zona baja de Belén en Iquitos?
- ¿En qué medida la aplicación de una técnica adecuada permite sensibilizar a las comunidades de la zona baja de Belén en Iquitos en el uso y beneficios de los humedales artificiales?
- ¿De qué manera se va a garantizar la operación y mantenimiento del humedal artificial?

1.4 Antecedentes

1.4.1 Antecedentes Nacionales

Arellano (2017). En su tesis titulado “Humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual doméstica en el caserío Ternique-Piura”, tiene como objetivo “construir un humedal artificial para poder tratar las aguas residuales de origen doméstico proveniente de las viviendas del Caserío Ternique ubicado en la Región de Piura, por el hecho de que no cuentan con sistema de alcantarillado y esto es un problema para ellos, con el fin de poder reusar esas aguas en otras actividades tomando en cuenta los estándares de calidad. El humedal artificial mide 1.5 metros de largo, 1 metro de ancho y 90 centímetros de profundidad con una pendiente de 1% donde se utilizó la especie *Phragmites australis* (carrizo) así como también grava y arena como sustrato. Los parámetros a tener en cuenta fueron pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, temperatura, DBO 5 y DQO; para la realización de muestreo fue semanal después de esperar un tiempo para la adaptación de la planta. El diseño de la investigación fue No experimental. Los resultados obtenidos de los parámetros al inicio del tratamiento de las aguas residuales fueron: pH de 12.44, oxígeno disuelto de 5.86 mg/L, conductividad eléctrica de 6530 μ S/cm, sólidos disueltos totales de 3265 mg/L, temperatura de 21.42°C, DBO 5 en el primer tanque de 120 mg/L y en el segundo tanque de 80 mg/L, y por último DQO en el primer tanque de 351 mg/L y en el segundo tanque de 144 mg/L. Al final del tratamiento con respecto al humedal artificial los resultados fueron: pH de 7.50, oxígeno disuelto de 8.46 mg/L, conductividad eléctrica de 1131 μ S/cm, sólidos disueltos totales de 566 mg/L, temperatura de 17.04 °C, la DBO disminuyó de 120 hasta 3 mg/L lo que hace un 97.5% y la DQO disminuyó de 351 hasta 12 mg/L lo que hace un 96.58%”.

Arias y Brix (2003). En su investigación titulado “Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales”, trata sobre “las características generales de la tecnología y la reducción de la contaminación en los diferentes sistemas disponibles. El desarrollo de la tecnología de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales ha recorrido un largo camino y a partir de un método empírico experimental y desconocido, que era capaz de manejar aguas residuales, se desarrolló una tecnología sólida. Gracias a la investigación y al trabajo de muchas empresas públicas y privadas que han recopilado información valiosa sobre operaciones, la tecnología de los humedales artificiales ha evolucionado hasta convertirse en una forma confiable, versátil y eficaz de tratar las aguas residuales, escurrir, manejar lodos e incluso mejorar la calidad ambiental y proporcionar sitios de recreación, manteniendo bajos costos de operación y mantenimiento, y al mismo tiempo, produciendo agua de calidad que puede cumplir con estrictas regulaciones, siendo una solución amigable con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales. Los humedales artificiales se pueden establecer de muchas formas diferentes y sus características pueden diferir mucho, según las necesidades del usuario, el sitio geográfico e incluso las condiciones climáticas del área”.

Ayllón y Pérez (2015). En su tesis titulada “Contaminación del agua del río Itaya por agentes biológicos y patógenos y su impacto en la salud humana”, su objetivo fue evaluar los agentes patógenos de agua del río Itaya, obteniendo como resultado la presencia de *Escherichia coli* en un rango de $< 2-5 \times 10^3$ NMP/100 ml y Coliformes Termotolerantes en un valor de $8,08 \times 10^4$ NMP/100 ml, especialmente concentrados en los alrededores de Cahuide y también en la boca del río. Los investigadores también encontraron se propiciaba la presencia de Trofozoitos, larvas y huevo, especialmente durante el periodo vaciante en la zona de Cahuide. Dichos resultados presentan fuerte interrelación entre los elementos patógenos y las enfermedades presentes en el

área (diarrea 66%), debido a que esta agua se utiliza para el quehacer diario (higiene, limpieza, concina y riego entre otras). Además, se determinó la mala calidad del agua ejerce influencia en la productividad debió a la pérdida acumulada de 4342 días al año sumando los días no trabajados de toda la comunidad. Se evidencio un número de familias urbanas con presencia de enfermedades por malos hábitos de higiene, mal manejo del agua potable entre otros. Dicha investigación sirve de referencia debido a que el objeto de estudio se relaciona estrechamente con la pregunta de investigación.

Castañeda (2017). “Una revisión sobre el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domesticas en américa latina: diseño, operación y resultados”. La investigación tiene como objetivo proporcionar soluciones sostenibles para aplicaciones y operación de Humedales de tipo Artificial, para lo cual se presenta una revisión de la definición, clasificación y aplicación estos parámetros de diseño y las condiciones operativas, incluyendo especies de plantas, tipos de sustrato, a continuación, se discutieron profundidad del agua, la carga hidráulica, tiempo de retención hidráulico y modo de alimentación relacionada con la operación sostenible para tratamientos de aguas residuales de diferentes autores. Los autores hacen referencia a la eliminación que se logra a través de los procesos que son comunes en los humedales naturales, construyendo las mismas condiciones en los humedales artificiales de manera controlada. Consideran que la mayoría de los humedales fabricados por el hombre son muy efectivos en la remoción de sólidos en suspensión y material orgánico, mientras que la eliminación de nitrógeno es menor, pero podría mejorarse mediante el uso de una combinación de varios tipos. Estos también ayudan a eliminar el fósforo suele ser baja a menos que se usen medios especiales con alta capacidad de absorción. Los humedales artificiales demandan de una entrada de energía muy baja o nula, el costo por instalación, funcionamiento y cuidado es muy bajo en comparación con

los sistemas de tratamiento convencionales. Los tratamientos con ayuda de los humedales construidos por lo general son diseñados como ecosistemas de múltiples propósitos como el control de inundaciones, el secuestro de carbono o el hábitat de la vida silvestre entre otros.

Castro et al. (2018). En su artículo titulado “Eficiencia de tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV con la especie *Zantedeschia aethiopica* en Viquez – Lurigancho” tiene como objetivo, “evaluar la eficiencia de remoción de componentes químicos del agua doméstica, así como de microorganismos mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical con la especie emergente de *Zantedeschia aethiopica* (cartucho). Los humedales artificiales son una tecnología viable para tratar aguas residuales domésticas en el sector rural debido a su bajo costo de operación y simplicidad en el manejo. Por ello el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticos es una alternativa viable y económica. El tratamiento a planta piloto con humedal subsuperficial de flujo vertical con la especie emergente de *Zantedeschia aethiopica* se logró una eficiencia de remoción al 49% de los componentes químicos y microbiológicos, para un caudal de 0.67 L/seg con un TRH de 48 horas. Los parámetros como; PH, OD, T°, $\mu\text{S/cm}$, DBO, DQO, nitritos y coliformes totales y fecales fueron comparados con el ECA (D.S N° 015-2015-MINAM) categoría 3 para riego de vegetales de tallo alto y bajo, los cuales cumplieron con lo establecido en la norma indicada. La especie ornamental usada entrega un valor estético al entorno, junto a un posible beneficio económico para la población usuaria del sistema”.

Llagas y Guadalupe (2006). En su investigación titulado “Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM”, tiene como objetivo “diseñar un sistema de humedales artificiales tipo sistema de agua superficial libre (SASL) para el tratamiento de aguas residuales en la Ciudad Universitaria de la UNMSM y describir la formulación matemática de los procesos biológicos en el humedal artificial. Los humedales estarían recibiendo las aguas residuales provenientes de la red de alcantarillado de la Ciudad Universitaria. En este trabajo se presenta una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en la Ciudad Universitaria de la UNMSM con el uso de humedales artificiales. Muchos «sistemas naturales» están siendo considerados con el propósito del tratamiento del agua residual y control de la contaminación del agua. El interés en los sistemas naturales está basado en la conservación de los recursos asociados con estos sistemas como opuesto al proceso de tratamiento convencional de aguas residuales que es intensivo respecto al uso de energía y químicos”.

Pastor (2017). En su investigación titulado “Humedales construidos para la depuración de aguas residuales” pretende “mostrar el potencial que ofrece el uso de humedales construidos para el tratamiento y aprovechamiento del agua residual. Actualmente existen muchas tecnologías para depurar aguas residuales, pero por lo general el abanico de ofertas exige el uso de energía y de inversiones económicas considerables para establecer sistemas de tratamiento efectivos. El uso de tratamientos sostenibles y descentralizados como son los humedales para el tratamiento de aguas, reduce los costos de construcción, operación y mantenimiento, a la vez que garantiza un tratamiento adecuado de las aguas contaminadas, siempre y cuando las plantas son bien diseñadas y construidas, y se cumpla con los planes de operación y mantenimiento”.

Sandoval (2019). “Eficiencia del jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor* l. En la remoción de cadmio en aguas residuales”. La investigación tiene como objetivo es evaluar el grado de eficiencia de las especies lenteja y jancinto de agua (*Lemna minor* l. y *Eichhornia crassipes*) en la eliminación de cadmio en aguas residuales de origen industrial, con el propósito de determinar la mejor opción para la remoción de este metal pesado. En su desarrollo se simularon las condiciones de esta agua contaminada con cadmio en 2 recipientes con un valor de 2 mg/l del metal en condiciones controladas de laboratorio. El primero se trabajó con la especie jacinto de agua y el otro con lenteja de agua. El fluido de estudiado paso de forma simultánea por ambos módulos por un total de once días, durante los cuales, se tomó muestra de forma inter diaria midiendo los valores del cadmio y parámetros físicos tales como temperatura, pH y conductividad eléctrica. Como resultado se obtuvo que la lenteja de agua tenía una mayor eficiencia que el Jacinto de agua para la remoción del cadmio (83.57% versus 39.35% de efectividad), y se evidencio un cambio en el color de ambas especies siendo esta la más relevante variación morfológica.

1.4.2 Antecedentes Internacionales

Arteaga (2018). “Propuesta metodológica para la construcción de humedales artificiales”. Su objetivo fue comparar la eficiencia depurativa de dos humedales artificiales donde se determinó que la los humedales de flujo superficial fueron eficientes solo para la remoción de fosfatos, silicatos y en fosforo total, y para los humedales de flujo sub-superficial fue más eficiente en la eliminación de nitritos, amonio, nitratos y nitrógeno a pesar de no cumplir con los tiempos de retención fijados. Ambos fueron efectivos en la disminución del mal olor y los mosquitos. Siendo fundamental el mantenimiento constante por parte de la comunidad organizada. El presente trabajo

se relaciona con la pregunta de investigación y es de gran aporte teórico y técnico para la investigación que está en proceso.

Marín et al. (2016). “Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México”. En el cual se diseñaron y operaron doce humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico. Obteniendo como resultados más resaltantes que los humedales tenían una eficiencia en la reducción de parámetros físico-químicos elementales como la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos en suspensión, nitrógeno, fosforo, turbidez y la coloración. Los humedales construidos con Carrizo presentaron una efectividad de mejora de la calidad del agua entre 53 y 89%, mientras que los construidos solo con grava tuvieron una efectividad menor entre 34 y 72%. De acuerdo al costo de operación, se demostró que la vegetación nativa es la mejor opción tanto por sus resultados como por su costo cero de inversión en el tratamiento de agua para regiones tropicales como las presentes en México. Dicha investigación resulta de gran aporte para el trabajo de investigación debido a su procedimiento metodológico.

Pérez (2016). “Aplicación de macrófitos acuáticos en el tratamiento de aguas residuales urbanas y subproductos mediante humedales artificiales en clima mediterráneo”. Se realizó un análisis de los humedales artificiales, obteniendo como resultados que en el análisis de la estación depuradora de aguas residuales y los sitios de descarga no se observaron patrones homogéneos en la localización de los puntos de descarga. La heterogeneidad del agua vertida varía de manera considerablemente para todas las estaciones. Como tratamiento de segunda etapa en la provincia de Alicante se aplican sistemas aeróbicos prolongados, los cuales, alcanzan el 85,3% y no existen en el esquema de depuración oficial los humedales artificiales. Respecto al análisis del entorno de

las E.D.A.R. se evidencio que los entornos que resultaron más idóneos para la implementación de los humedales fabricados por el hombre (artificiales), se consideró la presencia de materiales impermeables en terrenos no cultivados. En relación al análisis de las especies vegetales más significativas para la adición de lodo de depuradora fueron *Typha domingensis*; *Scirpus holoschoenus*; *Scirpus maritimus*; *Juncus acutus* entre otras. Dicha investigación sirve y da aporte teórico para el presente trabajo debido a que se relaciona estrechamente con la pregunta de investigación y servirá como referente para la comparación de los hallazgos de la investigación.

Rodríguez et al. (2010). Titulado “Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales”. El estudio trata de “la comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales como los humedales artificiales presenta resultados de remoción de materia orgánica (DBO5) de entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua, y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. El sistema de humedales artificiales se comporta hidráulicamente como un modelo de flujo pistón, sin distinción del tipo de planta acuática que se use. Durante la experimentación se observó que cuando se utilizó la lenteja de agua en el humedal artificial, ésta le aportó al agua elementos característicos de la planta que aumentan el pH (> 11) en el agua efluente; mientras que, con el buchón de agua, los valores de pH del agua están en el rango de 6 a 8.0, favoreciendo la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema biológico”.

Rodríguez (2017). “Diseño de un humedal artificial para el municipio de Arcos de las Salinas (Teruel)”. La investigación propone el diseño de un sistema de filtrado no convencional (humedal) para la comunidad Arcos de Salinas como solución más adecuada gracias a la topografía del terreno para optimizar los recursos del medio, con facilidad para su gestión de bajo costo tanto

de explotación como de mantenimiento, integrado al medio ambiente y como solución factible para los pobladores. Dicha investigación realiza un aporte al presente trabajo debido a relación estrecha con la pregunta de investigación, su abordaje metodológico y la población de estudio servirán de referencia para el análisis del estudio planteado.

Romero et al. (2009). En su investigación titulado “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica”, tiene como objetivo “evaluar el porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales. El sistema fue diseñado con tres módulos instalados de manera secuencial. En el primero se integraron organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, en el segundo, organismos de la especie *Typha dominguensis* (Pers.) Steudel y en el tercero las dos especies. Los módulos experimentales fueron instalados a la salida de un tratamiento primario, el cual contiene aguas residuales municipales provenientes de un edificio de investigación. En el agua se analizaron los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), los iones de nitrógeno (N-NO₃ - , N-NO₂ - y N-NH₄ +) y el fósforo total. También se realizó el conteo de bacterias asociadas al sistema. Los resultados demostraron que el sistema es una opción para la remoción de la carga orgánica y de nutrientes, de bajo costo de operación y mantenimiento”.

Segura (2017). En su tesis titulada “Cinética de decaimiento de coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical” tiene como objetivo “determinar el modelo cinético de decaimiento microbiano para CF en un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (HAFSV), mediante el diseño de un HAFSV mediante reglas prácticas basadas en superficies unitarias, 5m² (2.5 m² cada celda) con un TRH de 7 días (3.5 días por celda), el cual

fue instalado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). En este humedal fue plantada vegetación tipo *Scirpus ssp* (tule). Como resultado con respecto a la modelación de CF en el humedal, se obtuvo que el modelo cinético basado en una ecuación de primer orden y un reactor de flujo pistón con dispersión, predice satisfactoriamente el comportamiento de éstos dentro del humedal, alcanzando un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.98$ y una raíz media de la suma de cuadrados de los errores de $RRMSE = 0.03$. También se obtuvo la constante cinética de decaimiento de CF ($K = 1.163 \text{ d}^{-1}$). En cuanto a la contribución del oxígeno a través de las tuberías de aireación, se obtuvo como resultado que existen diferencias significativas entre la reducción de CF con y sin tuberías de aireación. Con respecto a la eficiencia en la remoción CF y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), éstas mostraron eficiencias del 99.99% (4.8 unidades logarítmicas) para CF y 94.46% para DBO5, por lo que el sistema cumple con los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público (NOM003-SEMARNAT-1996). Finalmente, concluye que el sistema se mantuvo constante en remoción de CF y DBO5, aun cuando se presentó variación en la concentración del influente de estos contaminantes”.

1.5 Justificación de la Investigación

Teórica: pretende proponer un diseño de un humedal artificial, para lo cual se realiza un revisión teórica de forma sistemática que inicia con un diagnóstico de la situación actual, para ello se tomaron muestras en el Rio Itaya en el área de estudio, para diseñar un humedal artificial, y una sensibilización dirigido a las comunidades, que servirá de referencia para futuras investigaciones relacionadas con el tratamiento del agua residual basada en tecnologías no convencionales y amigables con el ambiente como los humedales artificiales.

Socioeconómica: Los aspectos socioeconómicos de la investigación son de gran relevancia, ya que, el diseño del sistema de tratamiento pretende mejorar la calidad del agua que se consume en los asentamientos humanos de la zona baja de Belén para mejorar parámetros del agua antes de ser vertida al río Itaya. Esto mejorara el entorno y las condiciones de la zona mejorando los factores que pudieran afectar su salud, al mitigar condiciones antihigiénicas presentes en las aguas, de esa manera se facilita el desarrollo de las comunidades y se fortalece su crecimiento económico al aprovechar el agua de forma segura para su consumo y para el uso de la agricultura.

Ambiental: el diseño del sistema de tratamiento de agua que servirá como alternativa para mitigar el impacto ambiental negativo producido en el río Itaya a la altura de la zona baja de Belén, mitigando los efectos contaminantes que afectan las aguas del río y el ecosistema en general, propiciando un hábitat adecuado para la flora y fauna de la zona, la conservación del entorno y la calidad y salubridad de la población. Además, que este proyecto genere conciencia ambiental, la importancia del no contaminar el recurso agua que es fuente de vida.

Técnica: Gracias al interés de estudiantes universitarios con experiencias en preservación del medio abiótico, manejo y conservación de los ecosistemas el desarrollo de la propuesta es una oportunidad para poner en práctica todo el conocimiento y la experiencia que se tiene optimizando los recursos presentes en el medio para la búsqueda de posibles soluciones y a su vez represente aun apoyo a las comunidades con un apoyo técnico.

1.6 Limitaciones de la Investigación

De acuerdo a las limitaciones de la investigación, la zona de estudio es un área inundable, donde el periodo de lluvias es de noviembre a mayo, lo que dificulta el levantamiento de información en los puntos establecidos. Otro punto limitante es la emergencia sanitaria al momento del desarrollo de la investigación, ya que las medidas de seguridad relacionadas con la pandemia generada por el Covid-19 restringieron la ejecución de las tareas en el sitio de estudio requeridas para conocer la calidad del agua.

1.7 Objetivos

- *Objetivo General*

- Diseñar un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales generadas en la zona baja de Belén de la ciudad de Iquitos 2022

- *Objetivos Específicos*

- Determinar la calidad actual del agua de la cuenca del río Itaya en la zona baja de Belén de Iquitos.
- Diseñar un modelo de humedal artificial para tratamiento de las aguas residuales en la zona baja de Belén en Iquitos.
- Determinar en qué medida la aplicación de una técnica adecuada permite sensibilizar a las comunidades de la zona baja de Belén en Iquitos en el uso y beneficios de los humedales artificiales.
- Elaborar una guía de operación y mantenimiento para garantizar la operación y mantenimiento del humedal artificial.

1.8 Hipótesis

- *Hipótesis General*

- El diseño de un humedal de tipo artificial es favorable para mejorar la calidad del agua en la zona baja de Belén de la ciudad de Iquitos.

- *Hipótesis Específicas*

- Los parámetros físico-químicos y biológicos del agua de la cuenca del río Itaya en la zona baja de Belén en Iquitos no cumplen los parámetros del MINAM.
- El diseño de un humedal artificial mejorara la calidad del agua en la zona baja de Belén en Iquitos.
- La aplicación de una técnica adecuada permite sensibilizar a las comunidades de la zona baja de Belén en Iquitos en el uso y beneficios de los humedales artificiales.
- Las guías de operación y mantenimiento facilitan el buen funcionamiento del humedal artificial.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 *Calidad de Aguas Residuales*

Son aquellas cuyos rasgos de origen han sido cambiados debido a las actividades del hombre y necesitan ser reprocesadas debido a su calidad para su posterior reutilización. Este tipo de agua por lo general se vierte sin tratamiento a los ríos, lagos, mares, y al sistema de alcantarillado. Se originan en hogares, edificios, escuelas, hospitales, industrias etc. Por lo general contienen grasas, detergentes, materia orgánica, residuos industriales, ganadería agrícola, sustancias tóxicas y otros contaminantes (OEFA, 2014).

2.1.2 *Categorías del agua residual*

Según el OEFA (2014), estas pueden clasificarse como domésticas, industriales y municipales o urbanas.

Domésticas: Origen residencial o comercial. Se caracterizan por contener un alto nivel de contaminación de desechos fisiológicos, con presencia de cantidades importantes de nitrógeno, fósforos y sales minerales. Este tipo de agua contiene presencia de materia orgánica, tanto en suspensión como en disolución, normalmente las mismas son biodegradables.

Industriales: Se originan en los procesos productivos de la industria. Sus características son específicas y va depender del tipo de actividad como por ejemplo la minería, agricultura, energética, agroindustrial, entre otras. Por lo general su nivel de contaminación es mucho mayor, y difícil de eliminar mediante tratamientos debido a la variabilidad y en ocasiones contienen sustancias con alta toxicidad o efectos biológicos a largo plazo.

Urbanas o municipales: Es la mezcla de aguas servidas de origen residencial con el vertido de aguas pluviales o con aguas residuales provenientes industrial. Su nivel de contaminación es elevado y sus características difieren mucho, porque dependerá de varios factores como la población, la cantidad de habitantes, la presencia de industrias y otros factores que componen la contaminación.

2.1.3 Etapas del tratamiento del agua

Para el tratamiento de las aguas residuales 4 etapas para modificar los parámetros del agua: Pre-tratamiento; Tratamiento primario; Tratamiento secundario y Tratamiento terciario. Acorde con García (2018) que señala:

Pre tratamiento: que consiste en la eliminación de los sólidos más grandes tales como arenas y aceites. **Tratamiento primario:** consiste en un conjunto de procesos físico-químicos que se aplican para reducir el contenido de partículas en suspensión del agua. Estos sólidos en suspensión pueden ser sedimentables o flotantes. **Tratamiento secundario:** consiste en un conjunto de procesos biológicos que pretenden eliminar la materia orgánica que hay en las aguas residuales. Estos procesos biológicos consisten en el trabajo que desempeñan algunas bacterias y microorganismos y que se basa en la transformación de la materia orgánica en biomasa celular, energía, gases y agua. **Tratamiento terciario:** consiste sobre todo en la eliminación de los agentes patógenos, sobre todo bacterias fecales y de los nutrientes. Este tratamiento es opcional y normalmente se hace cuando el agua se va a reutilizar como, por ejemplo, en jardines u otros espacios públicos para que no supongan un peligro para la salud humana, o en el caso de que los cauces receptores se encuentren en espacios protegidos o con una alta calidad en sus aguas. (p. 10)

2.1.4 Rasgos del agua residual

Según su procedencia, estas presentan diversos compuestos como grasas, pesticidas, tensoactivos, fenoles, aceites y grasas, metales pesados, entre otros. Dichos componentes influyen en propiedades del agua afectando su densidad, viscosidad, conductividad, entre otros aspectos, las cuales tanto sus características físicas, químicas y biológicas están reguladas por la normativa peruana.

Tabla 1

Propiedades físicas del agua residual

Parámetro	Fuente
Coloración	Efluente residencial e industrial, material orgánico descompuesto.
Aroma	Desechos industriales, efluente con evidencia de descomposición
Sólidos Suspendidos	Efluente residencial e industrial, suelo erosionado, filtración de fuente subterránea, interconexiones descontroladas
Temperatura	Efluente residencial e industrial

Nota: Propiedades físicas del agua residual MINSA, 2011.

Tabla 2*Propiedades químicas del agua residual*

Parámetro	Fuente
<i>Orgánicas</i>	
Carbohidratos	Efluente residencial, industrial y comercial
Grasas animales, aceites	Efluente residencial, industrial, comercial y grasas
Pesticidas	Restos de actividad agrícola
Fenoles	Efluente industrial
Proteínas	Efluente residencial, industrial y comercial
Contaminantes prioritarios	Efluente residencial, industrial y comercial
Agentes tensoactivos	Efluente residencial, industrial y comercial
Compuestos orgánicos volátiles	Efluente residencial, industrial y comercial
<i>Inorgánicas</i>	
Otros	Deterioro de material orgánico de forma natural
Alcalinidad	Efluente residencial y filtración de fuente subterránea
Cloruros	Efluente residencial y filtración de fuente subterránea
Metales pesados	Efluente industrial
Nitrógeno	Efluente residencial y restos de actividad agrícola
PH	Efluente residencial, industrial y comercial
Fósforo	Efluente residencial, industrial, comercial y escorrentía
Contaminantes prioritarios	Efluente residencial, industrial y comercial

Parámetro	Fuente
Azufre	Efluente residencial, industrial y comercial
<i>Gases</i>	
Sulfuro de hidrógeno	Deterioro de desechos residenciales
Metano	Deterioro de desechos residenciales
Oxígeno	Suministro de agua potable y filtración de agua superficial

Nota: Propiedades Químicas del agua residual MINSA, 2011; Muñoz, 2008; Kestler, 2004.

Tabla 3*Propiedades biológicas de las aguas residuales*

Características	Procedencia
Fauna	Ríos, lagos y otros cuerpos de agua, y efluentes de plantas de tratamiento
Vegetación	Ríos, lagos y otros cuerpos de agua, y efluentes de plantas de tratamiento
Protistas	Efluentes residenciales, filtración de agua superficial, efluentes de plantas de tratamiento y eubacterias
Virus	Efluentes residenciales

Nota: Propiedades biológicas del agua residual MINSA, 2011; Muñoz, 2008; Kestler, 2004.

Tabla 4*Caracterización distintiva del agua residual*

Parámetro	nd.	Concentración	Parámetro	Und.	Concentración
Aluminio	g/L	0.01 – 0.5	Alcalinidad total	mg/L	12 – 35
Arsénico	mg/L	< 0.01	Sólidos totales	mg/L	20 – 126
Plomo	g/L	1.0 – 1.31	Sólidos suspendidos totales	g/L	25 – 183
Bario	g/L	< 1	Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	28 – 87
Hierro	g/L	0.1 – 0.4	Conductividad	µS/cm	82 – 1845
Calcio	g/L	0.1 – 1.4	Fósforo total	mg/L	0.1 – 2.0
Cadmio	g/L	< 0.03	Sulfatos	mg/L	83 - 160
Cromo total	g/L	< 0.05	Cloruros	mg/L	20 – 30
Plata	g/L	< 0.05	pH (potencial de hidrógeno)	mg/L	6.3 – 8.1
Molibdeno	g/L	0.2 – 0.5	NTK	mg/L	1.7 – 34.3
Cobre	g/L	0.01 – 0.5	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	47 – 466
Níquel	g/L	< 0.05	Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	100 – 700
Manganeso	g/L	0.01 – 0.5	Grasas y aceites (FOG)	mg/L	7 – 230
Sodio	g/L	68 – 93	Coliformes fecales	CFU /100 ml	0.1 – 15x10 ⁸
Potasio	g/L	0.8 – 3	Coliformes totales	CFU /100 ml	56 – 8.03x10 ⁷
Magnesio	g/L	0.4 – 5.0	Escherichia coli	CFU /100 ml	0 – 2.51x10 ⁷
Zinc	g/L	0.1 – 0.5	Sufactantes (sustancias activas al azul de metileno – MABs)	g/L	45 - 170

Parámetro	nd.	Concentración	Parámetro	Und.	Concentración
Turbidez	TU	29 – 375			

Nota: Caracterización distintiva del agua residual Niño y Martínez, 2008.

2.1.5 *Humedales naturales y artificiales*

Naturales: Son zonas semiterrestres con vegetación profusa y un alto grado de humedad, en ocasiones con presencia de agua, bien sea dulce o saladas, transitorias o de tipo permanente, inmóviles o fluidas (RAMSAR, 2016).

Artificiales: Son construidos por las personas, con la finalidad de reproducir de manera controlada los procesos naturales que sirven remover los contaminantes de las aguas contaminadas. Por lo general se trata de un sistema de tratamiento compuesto por lagunas o canales de poca profundidad (menos de 1m), hidrófugos, y plantado con especies propias de áreas húmedas, entre ellas, la espadaña (*Schoenoplectus californicus*), caña de azúcar (*Phragmites australis*), y el césped (*typha angustifolia*) (Nuñez, 2019).

2.1.6 *Tipos de humedales artificiales*

Se clasifican en acorde con el tipo de micrófitos utilizada para su operación, por tanto, este puede calificarse según lo señalado por el Centro Agua (2010), de la siguiente manera:

Sistemas Tipo Tratamiento Basado en Micrófitas de Hojas Flotantes: Los órganos reproductores por lo general están flotando o sobre suelos anegados son utilizados las especies como el jacinto y la lenteja ambos de agua.

Sistemas Tipo Tratamiento Basados en Macrófitas Sumergidas: Por lo general se dan en las zonas fática en la cual llega escasa luz y comprenden alto número de helechos, angiospermas entre otros. Las partes responsables de la reproducción pueden ser elevadas sobre el agua, bajo el agua o estar flotando.

Sistemas Tipo Tratamiento Basado en Macrófita Enraizada Emergente: Se dan en superficies anegados bien sea de manera temporal o permanente, con órganos reproductores bien

sea aéreo. Estos a su vez pueden clasificarse en: 1) Flujo superficial, cuando el agua corre superficialmente a través de los tallos o; 2) Flujo Sub-superficial, en los casos donde el agua corre debajo de su trató (RAMSAR, 2016).

Tabla 5*Tipos de humedales artificiales*

Clase	Aplicación	Requiere
Flujo superficial tipo horizontal	- Fase secundaria de tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Plantas emergentes aptas funcionamiento somero. - Impermeabilización (malla protectora) para protección del acuífero - Caudal de agua expuesto al ambiente
Flujo subsuperficial tipo horizontal	<ul style="list-style-type: none"> - Fase secundaria de tratamiento - Elemento final en sistemas aeróbicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sustrato mínimo de 45 cm (grava, arena, piedras) - Impermeabilización (malla protectora) para protección del acuífero - Caudal de agua subsuperficial
Flujo subsuperficial tipo vertical	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas híbridos (primera etapa) - Fase secundaria de tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Sustrato mínimo de 45 cm (grava, arena, piedras) - Impermeabilización (malla protectora) para protección del acuífero - Caudal de agua subsuperficial
Híbridos	- Tratamiento secundario, con la primera celda con flujo vertical y la segunda con flujo horizontal.	<ul style="list-style-type: none"> - Dos etapas de tratamiento en serie y pendiente. - Primera etapa o celda tipo flujo subsuperficial tipo vertical. - Segunda etapa o celda tipo flujo subsuperficial tipo horizontal.

Nota: Los tipos de humedales artificiales Centro Agua, 2010.

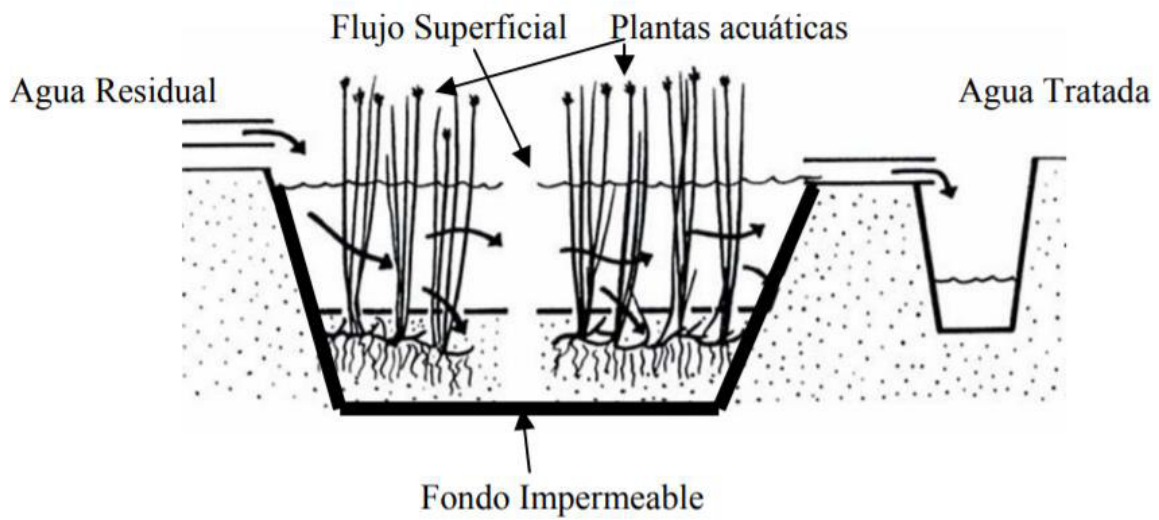
Tabla 6*Ventajas y desventajas de los mecanismos de remoción en humedales artificiales*

Parámetro	Mecanismo	Ventaja	Desventaja	Humedal recomendado
Sólidos en Suspensión	- Sedimentación/ y filtración	- Reduce la velocidad del agua y favorece la sedimentación y filtración	- Depende en gran medida de las etapas previas de tratamiento	HASFV
Materia Orgánica	- Degradación microbiana - Sedimentación	- Los microorganismos adheridos a las raíces de las plantas ejecutan el proceso de mejoramiento del agua	- La insuficiencia de aire afecta los procesos aeróbicos - Requieren de una fuente de energía y carbono	HASFV
Nitrógeno	- Sedimentación - Captado por la Macrófita	- Volatilización del medio (agua) - Sedimentación gracias a la gravedad - Metabolismo de los microorganismos	- No alcanza el 100% de degradación - Cuando el nivel de nitrógeno es bajo (1.5% o menor), este no es aprovechado por la vegetación	HASFH HASFV
Patógenos	- Sedimentación/ y filtración - Descarga de antibióticos por las plantas	- Tiempo de retención menores - Sedimentación gracias a la gravedad	- Las bajas temperaturas restan efectividad	HASFH HASFV
Fósforo	- Adsorción en la matriz del sustrato	- Solubles en el medio filtrante (sustrato)	- La concentración de óxidos metálicos y pH afectan el proceso	HASFH HASFV

Nota: Ventajas y desventajas de los mecanismos de remoción de humedales artificiales. Arteaga et al., 2019.

a. Sistemas de flujo libre o superficial (FS). Consisten en canales o balsas de poca profundidad (0.1 a 0.6 m) construidas sobre el terreno con algún tipo de barrera que confine el sistema y evite filtraciones, que contienen un lecho de grava o arena para soportar las raíces de la vegetación emergente y a través de los cuales circula agua residual. La superficie de agua está expuesta a la atmósfera y la trayectoria del flujo es horizontal. Son utilizados principalmente para tratamientos terciarios y, en algunos casos, para secundarios. Ejemplo de estos sistemas son las lagunas o zanjas vegetadas, lagunas en balsa y pantanos artificiales, existiendo siempre una superficie de agua libre.

A los sistemas FS normalmente se les alimenta agua residual pretratada, con algún tipo de tratamiento físico, de forma continua. El tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. La exposición del agua a la atmósfera hace que el diseño adecuado de estos sistemas sea crucial para evitar problemas derivados de una posible sobrecarga del sistema, tales como aparición de olores y plagas de insectos. Los sistemas de flujo superficial también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. Esta clase de sistemas suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats de cría para aves acuáticas (Mena, 2008).

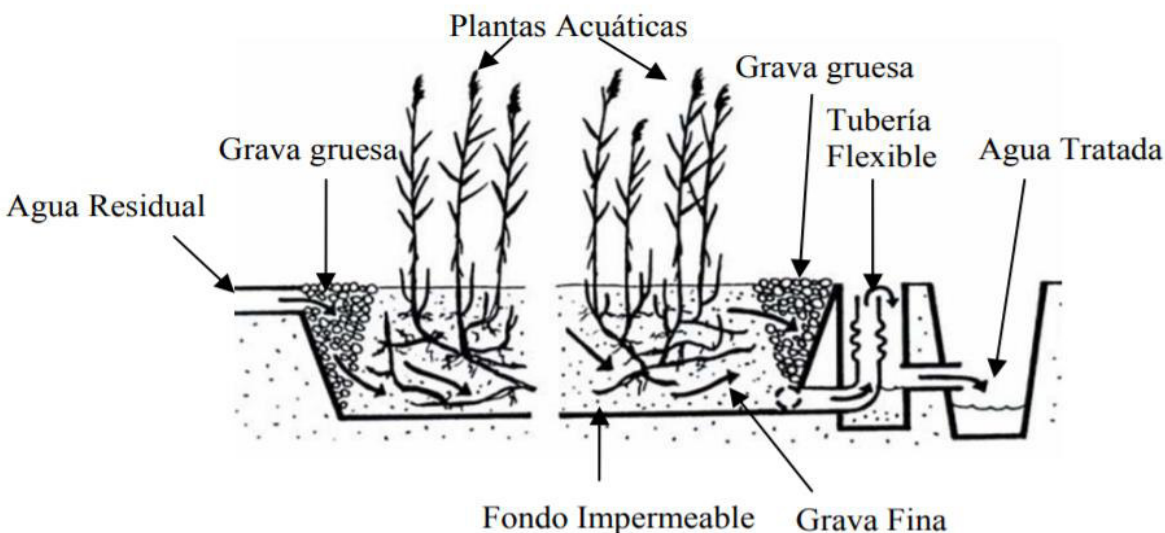
Figura 1*Humedal artificial de flujo superficial*

Nota: Depuración de las aguas residuales en un humedal artificial superficial. Mena, 2008.

b. Sistemas de flujo subsuperficial (FSS). El humedal artificial de flujo subsuperficial consiste igualmente en una balsa o canal impermeabilizado del exterior, que se encuentra relleno de un material sólido poroso ocupando casi toda su profundidad. El agua residual circula a través del medio poroso y siempre por debajo de la superficie del mismo. Como medio poroso, se suele utilizar rocas o grava. Además de tener medio soporte, estos sistemas funcionan con vegetación emergente, cuyo papel es fundamental para su buen funcionamiento. La circulación del agua a través del suelo o material de soporte parece ser siempre más efectiva que la circulación de superficie para muchos de los mecanismos de degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra en las zonas muy cercanas a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema. Este hecho hace que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial, pero con un mayor coste debido al uso de una mayor cantidad de medio poroso. Además, con este sistema, se evitan problemas como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica. Dentro de los humedales de flujo subsuperficial, como se enumeró anteriormente, se puede encontrar dos tipos de flujo: horizontal (FSSH) y vertical (FSSV). Los primeros trabajan con una alimentación continua realizada a lo largo de uno de los laterales. La recogida del agua depurada se realiza en la parte inferior del lado opuesto al de la alimentación. Como se ve en la Figura 2, el nivel de agua es regulado con una tubería flexible manteniendo en todo momento el lecho saturado de agua (Mena, 2008).

Figura 2

Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficial horizontal



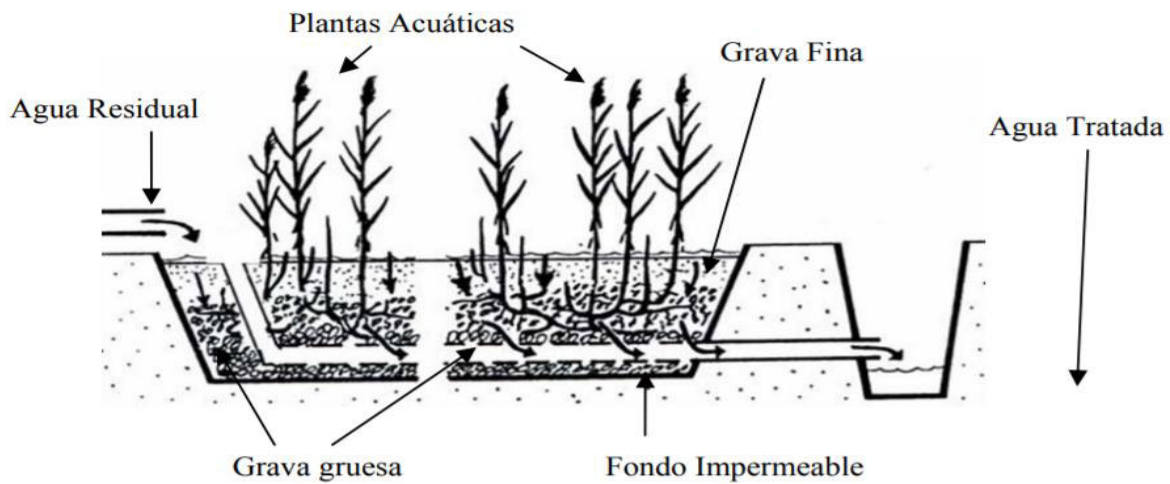
Nota: Depuración de las aguas residuales en un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Mena, 2008.

En los de flujo vertical, como se observa en la Figura 3, la alimentación se realiza distribuida uniformemente y habitualmente por cargas por toda la superficie, y la recogida a lo largo de todo el fondo. La tubería flexible, o no existe, o está en la posición más baja para mantener unas condiciones insaturadas en el medio poroso. Con este sistema, se consigue un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros, por lo tanto, mejores rendimientos en aquellos mecanismos aerobios que tuvieron lugar debido a un mayor aporte de oxígeno. Presenta los inconvenientes de que su operación es más compleja, un poco más cara y que no han sido tan estudiados como los horizontales. Los humedales artificiales con flujo subsuperficial son muy eficientes en lo referido a costo, consumo energético y mantenimiento, si los comparamos con sistemas convencionales. Desde el punto de vista de los costes, que un sistema FSS sea competitivo frente a uno FS, para pequeñas comunidades y caudales, es difícil, pero esto siempre dependerá de

los costos de la tierra, del tipo de impermeabilización que se requiera y el tipo y disponibilidad del material granular empleado.

Figura 3

Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficial vertical



Nota: Depuración de las aguas residuales en un humedal artificial de flujo subsuperficial Vertical.Mena, 2008

2.1.7 Aplicaciones de los humedales artificiales

Los aspectos que han motivado el creciente interés por esta tecnología son los siguientes: Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc (Mena, 2008).

- Sus costes de inversión, operación y mantenimiento son significativamente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.
- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos.
- El aporte de oxígeno es espontáneo.
- No generan fangos.
- Aguantan bien las fluctuaciones de caudal o de carga contaminante.
- Están bien integrados dentro del paisaje, contribuyen al desarrollo de vida salvaje y tienen la posibilidad de ser utilizados para la concienciación y educación medioambiental.

A pesar de todas estas ventajas, se ha observado que: - En países con clima templado durante el invierno disminuye la efectividad de depuración de estos sistemas, sobre todo en la eliminación de nitrógeno.

- La eliminación fósforo es baja y disminuye con el tiempo.
- Requieren grandes extensiones de terreno para alcanzar resultados satisfactorios.
- No pueden ser alimentados directamente con aguas residuales de altas cargas orgánicas o de sólidos suspendidos. Requieren pretratamientos, al menos, para eliminar un exceso de sólidos suspendidos que podría provocar la obturación del lecho en poco tiempo.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de Investigación

Según su propósito es aplicada y acorde con el nivel con el manejo de las variables es No experimental. De naturaleza descriptiva. Para su elaboración se utilizaron fuentes de información primaria y secundaria. Por tanto, se buscó evaluar las variables de la investigación para explicar el fenómeno de interés, (Borjas, 2012). Con respecto al enfoque seleccionado es cuantitativo, ya que, dicho acercamiento utiliza instrumentos de recolección de datos que ayuden a comprobar las hipótesis, fundamentado en el análisis estadístico para así poder establecer comportamiento que permitan la aplicación o comprobación de una teoría (Hernández et al., 2014).

El diseño es Descriptivo transaccional, debido a que, los datos se recolectaron en un momento particular y en un lapso de tiempo definido. Este tipo de investigación describe las variables y analiza su interacción entre sí un momento determinado (Hernández et al., 2014)

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

Como área de estudio se tiene una sección del cuerpo de agua Itaya (río), a la altura de la zona denominada como baja de Belén en la localidad de Iquitos.

A. Ámbito Temporal y Espacial

A.1 Ubicación. La sección del cuerpo de agua sujeta a estudio (río Itaya), se delimita en la localidad de Iquitos, específicamente en la zona baja de Belén. La Figura 4 muestra los límites del área de estudio y zonas aledañas.

Figura 4

Ubicación del cuerpo de agua sujeto a estudio y zonas aledañas

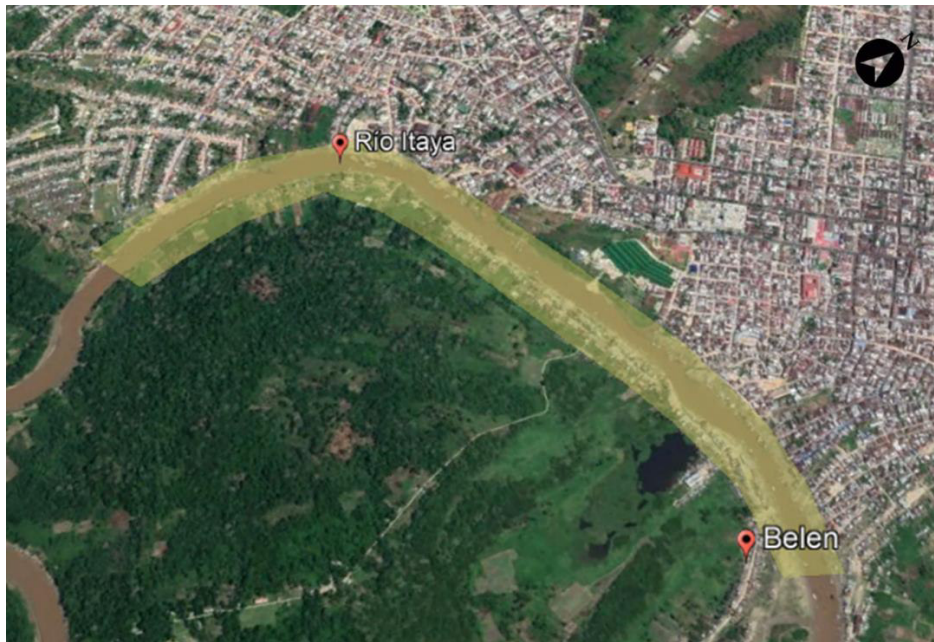


Nota: Área de influencia donde se tomaron muestras de agua (río Itaya)

A.2 Localización. En específico, el área de estudio se encuentra localizada en un rango que va desde la coordenada Este 0693329 Norte 9583070 hasta Este 0694831 Norte 9583664, según el sistema de geolocalización WGS84 (World Geodetic System 84 por sus siglas en inglés). La Figura 5 muestra la sección del río Itaya sujeta a estudio.

Figura 5

Delimitación detallada del cuerpo de agua sujeto a estudio



Nota: Área donde se tomaron muestras de agua para el estudio realizado.

A.3 Clima. El clima corresponde con el tipo húmedo y lluvioso presentando las características mencionadas a continuación.

Tabla 7

Clima del departamento de Loreto

Factor climático	Unidad	Valor
Temperatura		
Máxima	°C	36
Mínima	°C	17
Máxima (promedio)	°C	32
Mínima (promedio)	°C	22
Humedad relativa	%	84
Precipitaciones	Mm	2000 a 3000

Nota: Muestra las características de los factores clima en el departamento de Loreto. BCRP, 2018.

A.4 Edafología. Los terrenos que se distinguen dentro del área de influencia directa e indirecta de estudio se encuentran dentro del tipo aluvial (BCRP, 2018), los cuales, “están formados por depósitos aluviales y se caracterizan por pendientes planas a suaves y un fondo de valle plano” (MAGAP, 2015).

A.5 Flora. La flora en la zona de estudio presenta gran diversidad debido a su ubicación en la Amazonia del Perú. Existen más de 850 especies de plantas como palmeras, orquídeas, aguaje, caobas, lirio acuático, entre otras, haciendo de la región un paraje altamente variado con su flora.

A.6 Fauna. La diversidad biológica de la Región Loreto alberga un estimado de 2175 especies entre mamíferos, reptiles, anfibios, aves, y especies diferentes de peces. La siguiente tabla resume la fauna de la Región.

Tabla 8*Fauna Región de Loreto*

Familia	Cantidad de especies	Cantidad de Especies amenazadas
Mamíferos	267	20
Aves	914	40
Anfibios	216	7
Reptiles	180	8
Peces	597”	-

Nota: Muestra el riesgo de desaparición de especies amazónicas. Tomado de CONAM 2005, y Pitman, Gagliardi, Urrutia, y Jenkins, (2013).

A.7 Hidrología. El área de estudio se encuentra dentro de la ribera del río Itaya. Esta cubre un área aproximada de 2984 m² con una longitud estimada de 281 km. Este es característico de la selva baja. Recibe agua desde las quebradas y/o ríos Habana, Lindero, lago Quistococha, Maquisapa, Pavayacu, y Peña Blanca entre otros. Finalmente, la corriente del Itaya desemboca en el cauce del río Amazonas.

A.8 Geología. La ciudad de Iquitos predomina actualmente la arena fina y la arcillada, su estructuración según los estudios realizados, indican como características geológicas, según, Bustamante y Hurtado (2006), precisan:

Sedimentos del Holoceno o Cuaternario reciente, constituidos por los últimos sedimentos de tipo arcilloso o arcilloso arenoso, de colores rojizos a pardos debido al fenómeno de laterización, con una potencia de 6 metros. b) Sedimentos del Pleistoceno o Cuaternario antiguo, constituidos por arenas cremas y blancas de granulometría fina, con algunas intercalaciones de arena media. Debido a las fuertes precipitaciones en Iquitos y su escasa

profundidad el nivel freático en las arenas arcillosas y las arcillas superficiales se encuentran saturadas.

A.9 Geomorfología. Los cuerpos de agua están conformados por ríos, quebradas, lagos y humedales cuyo caudal en tiempos de crecidas el caudal es de gran velocidad transportando cantidades considerables de material de desecho. Los depósitos fluviales constituyen el material de carga de los ríos, con drenaje, muy pobre, con poca pendiente, lo que lleva a frecuentes inundaciones cuando existe una crecida debido a las condiciones climáticas (Soria et al., 2015).

3.2.2 Muestra

La muestra se elegirá de manera intencional a criterio y conveniencia del investigador tal y como lo recomiendan Otzen y Manterola (2017), cuando señalan que la “muestra intencional permite la selección de casos de una población limitada cuando ésta es muy variable entre sí” (p. 6). En tal sentido se consideraron 08 muestras tomadas en el río Itaya, distribuida de la siguiente manera:

Tabla 9

Distribución de las Muestras de Agua

Nombre de la Quebrada	N° de Muestras
Caño Sachachorro	02
Caño Fuerte Lores	02
Caño Caserío San Andrés	02
Caño Mercado Belén	02
Total	08

Nota: Efluentes donde se tomaron las muestras de agua.

3.3 Operacionalización de Variables

3.3.1 Variables

A. Independiente: Humedales artificiales

Concepto: “Son las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en manera baja no exceda de seis metros” (RAMSAR, 2016)

B. Dependiente: Calidad de Aguas residuales

Concepto: “Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (OEFA, 2014)

Tabla 10*Matriz de operacionalización de variables*

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad	Instrumento
Independiente: <i>Humedales Artificiales</i>	Calidad del efluente	- Propiedades físicas	- # escala ordinal	- Ficha resumen
		- Propiedades químicas	- # escala ordinal	
		- Propiedades biológicas	- # escala ordinal	
	Formación	- % de habitantes sensibilizados	- % escala ordinal	- Graficas
Dependiente: <i>Calidad de Aguas Residuales</i>	Calidad del afluente	- Propiedades físico	- # escala ordinal	- Ficha resumen
		- Propiedades químicas	- # escala ordinal	
		- Propiedades biológicas	- # escala ordinal	

Nota: Variables dependiente e independiente en nuestro estudio.

3.4 Instrumentos

Estos elementos de recolección de datos son técnicas de investigación que sirven para recoger los datos o la información requerida por un “conjunto de reglas y pautas que guían las actividades que realizan los investigadores en cada una de las etapas de la investigación científica” (Hernández et al., 2014). En este sentido las técnicas e instrumentos que se aplicaron para recolectar datos fueron:

Tabla 11

Estrategias e instrumentos para recolectar información

Estrategia	Instrumento	Definición
Revisión documental	<ul style="list-style-type: none"> • Lista para verificación • Fichas de resumen. • Libreta de Campo • Formatos 	“El análisis documental permite identificar la información más relevante para nuestra investigación, así como la forma idónea para su registro” (Marín, 1985)
Toma de muestras y análisis de agua	Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales	Se realizó la toma de muestras en el río Itaya, y el análisis de las muestras se analizó en un laboratorio
Sensibilización a población	Formato de Charla	La sensibilización se realizó con la población del área de influencia directa, explicándoles las bondades del uso del humedal artificial.

3.5 Procedimiento

Con la presente investigación se pretenden considerar lo siguiente:

- **Delimitación de la zona a estudiar.** el trabajo se circunscribirá dentro de ciudad Iquitos.
- **Recopilación de información.** la búsqueda se realizará en investigaciones similares, tanto internacionales como nacionales, versados en el mejoramiento de aguas contaminadas (residuales).
- **Toma de muestras,** se aplicó el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales”.
- **Análisis del agua,** las muestras tomadas al agua serán enviadas al laboratorio para conocer la caracterización del fluido recolectado. Siguiendo los procedimientos establecidos en el organismo ANA para el monitoreo de las propiedades del agua (Resolución Jefatural N° 010-20166-ANA)
- **Diseño del humedal artificial,** se utilizó software Excel en la aplicación de los parámetros básicos de diseño del humedal: flujo de entrada, tipo de humedal, tipo de vegetación a utilizar, selección de materiales.
- **Dimensionamiento del humedal artificial,** partiendo de las características del afluente, parámetros de entrada, y parámetros de salida requeridos se calculará las dimensiones y características del humedal.
- **Diseño de guías de operación y mantenimiento de humedales artificiales,** se desarrolló un manual sencillo y amigable para explicar a operación y mantenimiento del humedal artificial.
- **Sensibilización a la comunidad,** se ejecutó charla de capacitación que cubra conceptos y beneficios de los humedales artificiales, operación y mantenimiento de humedales

artificiales y el reusó seguro del agua residual tratada. Se desarrollo objetivo, contenido y material de apoyo.

3.6 Análisis de datos

Se ha procesado de los resultados obtenidos a través de las muestras de agua obtenidas en laboratorio y se realizó un procesamiento estadístico con la aplicación del software estadístico SPSS versión 25,0, a través del cual se realizó la interpretación literal de los resultados, basado en gráficos y tablas construidas de acuerdo a las dimensiones, indicadores e ítems de cada variable, pudiéndose validar de este modo las hipótesis que se planteó en esta investigación. Considerando que las variables son de tipo cuantitativa. El diseño considerado es Descriptivo transaccional, debido a que, los datos se recolectaron en un momento particular y en un lapso de tiempo definido, que sirvió para el diseño de nuestro humedal artificial para la zona, que ha sido el objetivo de la investigación, por ende, contrastado nuestra hipótesis:

Hipótesis General. El diseño de un humedal de tipo artificial es favorable para mejorar la calidad del agua en la zona baja de Belén de la ciudad de Iquitos.

Hipótesis Específicas

- Los parámetros físico-químicos y biológicos del agua de la cuenca del río Itaya en la zona baja de Belén en Iquitos no cumplen los parámetros del MINAM.
- El diseño de un humedal artificial mejorara la calidad del agua en la zona baja de Belén en Iquitos.
- La aplicación de una técnica adecuada permite sensibilizar a las comunidades de la zona baja de Belén en Iquitos en el uso y beneficios de los humedales artificiales.
- Las guías de operación y mantenimiento facilitan el buen funcionamiento del humedal artificial.

IV. RESULTADOS

4.1 Condiciones Actuales del Agua

En la localidad de la zona baja de Belén existen diferentes asentamientos humanos que viven en comunidades en la riberas del río Itaya. Estas comunidades descargan sus aguas grises en caños y quebradas que finalmente desembocan en este río provocando impactos negativos para el entorno y comprometiendo las características del agua del río.

Figura 6

Descarga de quebradas y caños contaminados por acción humana al río Itaya



Nota: Descargas directa de caños de las viviendas de los pobladores al río Itaya Octubre 2020

Como se puede observar en la Figura 6, la contaminación de los caños y quebradas es significativa e impacta a todos los elementos del medio ambiente (biótico, abiótico y antrópico).

La evidencia muestra que los factores contaminantes son variados. Dentro de este espectro encontramos elementos como descargas de aguas grises, descargas de aguas negras y, residuos sólidos, entre otros, los cuales terminan en el río. Por otro lado, no se observó ningún medio físico que sirviera como protección o mitigante para controlar esta contaminación. De esta forma, se estima que la calidad sanitaria del líquido del río en el área evaluada se encuentre fuera de los estándares del MINAM tanto para el uso del recurso para consumo de las personas como para recreación.

Luego de evaluar preliminarmente las condiciones actuales del objeto de estudio se procedió a establecer los atributos del agua. Se tomaron 8 muestras en el área de estudio, en las quebradas mencionadas con anterioridad en la Tabla 8. Estos ejemplares fueron almacenados en recipientes de vidrio, preservados y posteriormente trasladados al laboratorio para su caracterización. El proceso empleado para determinar las condiciones del agua se dividió en:

- Ubicación de puntos para toma de muestra
- Medición de los parámetros del agua.

4.1.1 Puntos de toma de muestra

La toma de muestra del agua a caracterizar inicio con la ubicación los puntos de muestreo. Los mismos se tomaron siguiendo los criterios mencionados a continuación.

- Por cada sección a evaluar, se tomaron 2 muestras. Una en el caño que sirve de afluente al río Itaya y otra como mínimo a 100 metros aguas abajo de este punto.
- Accesibilidad rápida, fácil y segura.
- El sitio fue una sección regular del cuerpo de agua.
- Muestra de agua superficial.

Los puntos de muestreo fueron localizados empleando el sistema de geolocalización WGS84 (World Geodetic System 84 por sus siglas en ingles). Los 8 puntos se indican en la Tabla 12 y Figura 7.

Tabla 12

Localización de puntos para toma de muestra

Quebrada	Punto de muestreo	Coordenadas UTM (WGS84)		Ubicación
		Este	Norte	
Caño Sachachorro	1	0693329	9583070	Quebrada
	2	0693497	9583172	100 m aguas abajo
Caño Fuerte Lores	3	0693658	9583231	Quebrada
	4	0693889	9583394	100 m aguas abajo
Caño Caserío San Andrés	5	0694186	9583540	Quebrada
	6	0694435	9583623	100 m aguas abajo
Caño Mercado Belén	7	0694532	9583661	Quebrada
	8	0694831	9583664	100 m aguas abajo

Nota: Puntos donde se realizaron la toma de muestras para nuestro estudio.

Figura 7

Ubicación de puntos de muestreo



Nota: Puntos de muestreo de nuestro estudio (Caño Sachachorro 1,2) (Caño Fuerte Lores 3,4) (Caserío San Andrés 5,6) (Caño Mercado Belén 7,8)

Las muestras fueron tomadas en su totalidad el día 19 de septiembre de 2020, entre las 7:15 am y las 12:15 pm. Las mismas se codificaron para ordenar e identificar con claridad las muestras y se visualiza en el Anexo L.

4.1.2 Medición de parámetros del agua

Para realizar la caracterización de los parámetros del agua del río Itaya en el área sujeta a estudio, se tomó como referencia el Decreto Supremo emanado por el MINAM identificado como N° 004-2017. Luego, según el Decreto Supremo N° 004-2017, en este instrumento se catalogó la sección del río como “Categoría 4 (Conservación del Ambiente Acuático), Subcategoría E2 (Ríos, específicamente Ríos de la Selva)” al encontrarse el estudio en un cuerpo de agua ubicado en el este de los Andes a una altura inferior a los 600 m.s.n.m.

Una vez catalogada la región del río a estudiar, se determinaron los parámetros de calidad a evaluar aplicando los criterios establecidos por ANA (2016), en su protocolo de monitoreo de recursos hídricos en el cual, para quebradas, ríos, lagos, mares y otros afectados por la descarga de aguas contaminadas (residuales), aplica el análisis de:

- pH
- Temperatura
- Aceite y grasa
- DBO5
- DQO
- Sólidos suspendidos totales
- Materia orgánica (coliformes termotolerantes)

El rango límite o de control de estos aspectos se muestran en la Tabla 13, los cuales se determinaron según lo definido por los parámetros establecidos por el MINAM (decreto D.S. N° 004-2017), para el uso del agua.

Tabla 13*Parámetros físicoquímicos y biológicos de estudio*

Parámetro	Limite	Unidad
Físico-Químicos		
pH	6.5 a 9	Unidad de pH
Temperatura	Δ 3	°C
Aceite & grasa	5	mg/L
DBO ₅	10	mg/L
DQO	-	mg/L
SST	≤ 400	mg/L
Biológicos		
Coliformes termotolerantes	2000	NMP/100 ml

Nota: Parámetros físico químicos y biológicos que se tomaron en cuenta en el muestreo de aguas residuales realizado en la zona de estudio.

Por otro lado, la Tabla 14 detalla los resultados obtenidos de las muestras recolectadas en el área de estudio.

Tabla 14*Resultados de muestras tomadas en el área de estudio*

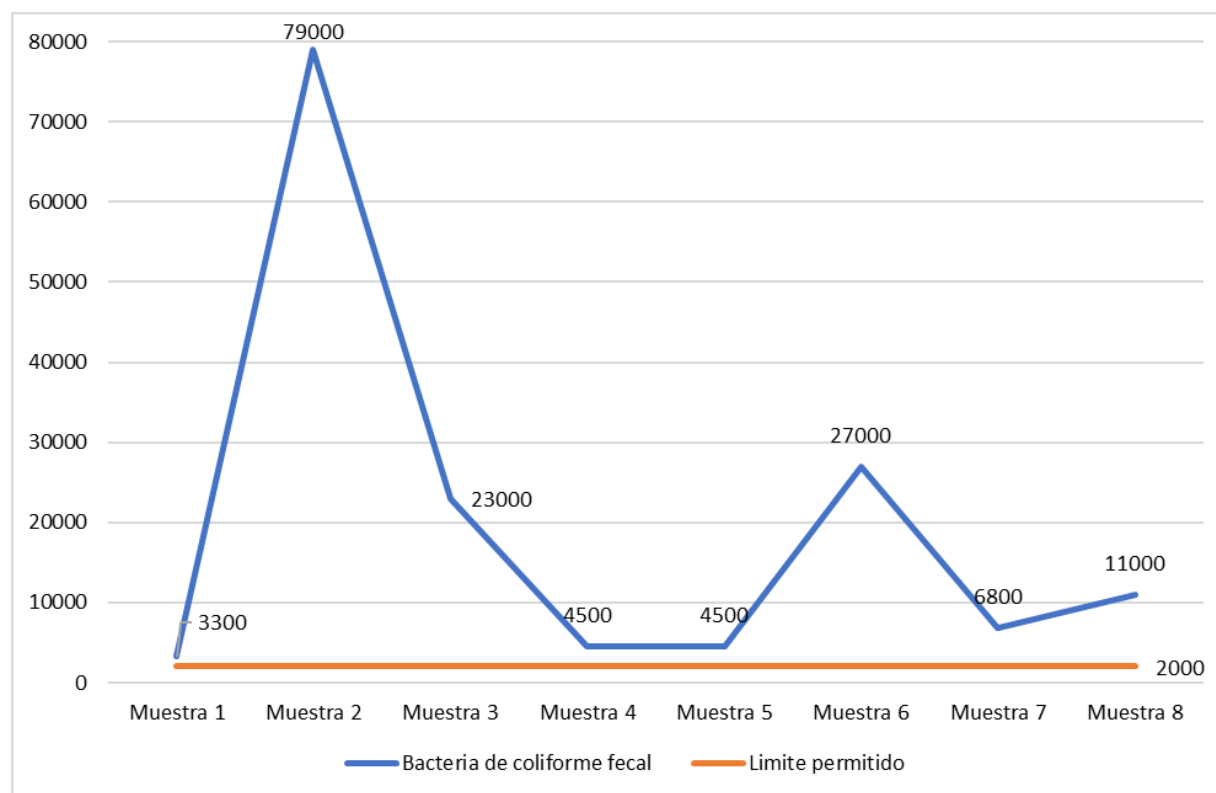
Parámetro	Unidad	Valor de control	Muestra							
			Mu.1	Mu.2	Mu.3	Mu.4	Mu.5	Mu.6	Mu.7	Mu.8
Fisicoquímicos										
pH	Unidad de pH	6.5 a 9	6,45	6,31	6,51	6,37	6,31	6,37	6,91	6,70
Temperatura	°C	Δ 3	27,4	28,1	28,1	27,7	28,0	29,2	27,7	27,9
Aceite y grasa		5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Demanda bioquímica de Oxígeno	mg/L	10	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Demanda química de oxígeno		-	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
SST		≤ 400	32	112	99	106	51	104	96	77
Biológicos										
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	2000	3300	79000	23000	4500	4500	27000	6800	11000

Nota: Ver anexo D - Informe de laboratorio. Los ensayos realizados

Como se puede observar en la Tabla 15, todos los aspectos fisicoquímicos evaluados se encuentran acorde con los estándares del MINAN para la calidad ambiental de la categoría del agua definida previamente. Sin embargo, estos resultados de los parámetros biológicos superan el límite establecido de 2000 NMP/100 ml. La siguiente figura ilustra los hallazgos del parámetro biológico analizado.

Figura 8

Resultados de análisis biológico de las 8 muestras



Nota: Gráfico de resultados obtenidos en laboratorio de las 08 muestras de agua residual tomadas en la zona de estudio.

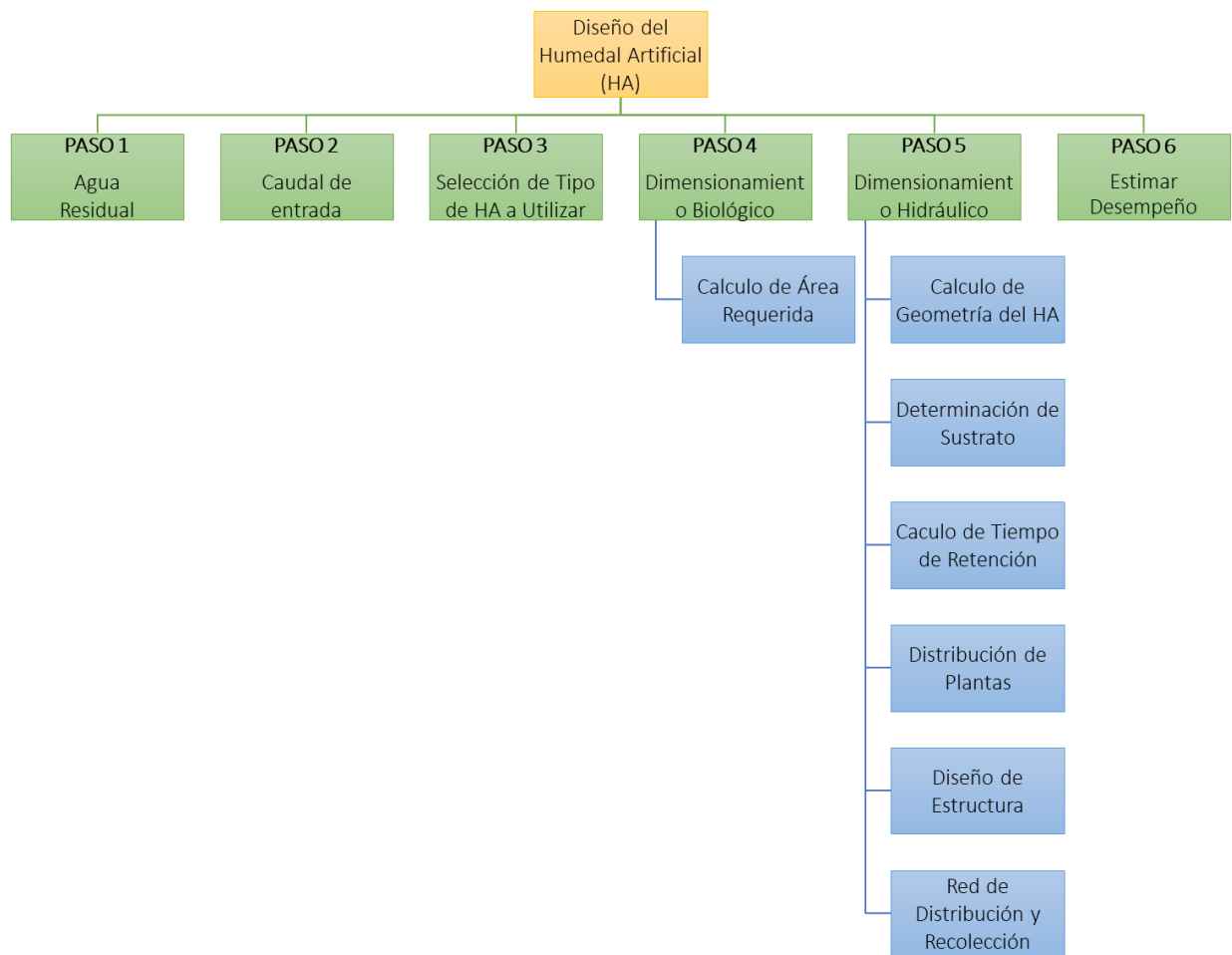
Como se puede observar, todos los valores superan el rango. En el caso de las muestras 1, 4, 5 y 7 límite es superado entre un 65% y un 240%. Luego, la concentración de bacteria de coliforme fecal se incrementa significativamente superando el límite entre un 455% y un 3850%, ya que, la concentración alcanzo un máximo de 79000 NMP/100 ml.

4.2 Diseño de Modelo de Humedal Artificial

El diseño del humedal artificial se desarrolló siguiendo 5 pasos, desde la caracterización del agua residual hasta el dimensionamiento hidráulico. La Figura 9 detalla la secuencia y las actividades a desarrollar en cada paso.

Figura 9

Pasos para el diseño del humedal artificial (HA)



Nota: Gráfico de pasos o etapas realizadas en nuestro diseño del humedal artificial

4.2.1 Calidad de Agua residual

Para el diseño del sistema se tomó como agua residual los valores mostrados en la Tabla 14 relacionados con la sección estudiada del río Itaya. Se consideró los valores máximos y mínimos registrados por cada parámetro, así como, el promedio de las 8 muestras. La Tabla 15 resume la caracterización del agua considerada.

Tabla 15

Agua considerada para diseño del humedal artificial (HA)

Parámetro	Unidad	Promedio	Máximo	Mínimo
pH	Unidad de pH	6,61	6,91	6,31
Temperatura	°C	28,01	29,2	27,4
Aceites y grasas	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2
DBO ₅	mg/L	<2,0	<2,0	<2,0
DQO	mg/L	<5,0	<5,0	<5,0
SST	mg/L	84,63	112	32
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	19887,5	79000	3300

Nota: Parámetros utilizados para el diseño del humedal artificial

El agua caracteriza en la Tabla 15 sirvió como y/o se consideró como el afluente del humedal artificial.

4.2.2 Caudal de entrada

Para determinar el caudal de entrada o afluente al humedal artificial se emplearon las siguientes premisas:

- Población de 150 personas.
- Dotación de agua potable de 150 l/día/habitante. Se considera viviendas área igual o menor a los 90 m² y en clima cálido (MVCS, 2015).
- Aporte de agua residual igual al 80% (coeficiente de retorno C) del agua potable consumida (MVCS, 2015).

Ecuación 1

Cálculo de caudal del afluente

$$Q_{ar} = Q_{ap} * N * C$$

Nota: Fórmula de cálculo de caudal de afluente. Segura 2017

Donde:

Q_{ar}: es el caudal de aguas residuales (afluente).

Q_{ap}: es el caudal de agua potable por persona (dotación).

N: es la población.

C: es el coeficiente de retorno de aguas residuales (80%).

Entonces:

$$Q_{ar} = 150 * 150 * 80\% = 18000 \text{ l/día}$$

Como se puede observar del resultado de la ecuación 1, el caudal de entrada al humedal será de 18000 l/día ó 18 m³/día.

4.2.3 Selección del tipo de HA a utilizar

La selección del tipo de humedal artificial a utilizar se centró en los parámetros a controlar. Para el caso de este estudio, solo los coliformes termotolerantes se encontraron fuera de los límites de calidad aceptables (2000 NMP/100 ml). Estos registraron:

- Promedio de $1,98 \cdot 10^4$ NMP/100 ml
- Mínimo de $3,3 \cdot 10^3$ NMP/100 ml
- Máximo $7,9 \cdot 10^4$ NMP/100 ml

Partiendo de estos resultados se compararon los humedales artificiales de flujo tipo subsuperficial, tanto horizontal (HAFSH) como vertical (HAFSV), empleando la Tabla 16.

Tabla 16

Comparación entre HAFSV y HAFSH

Parámetro	HAFSV	HAFSH
Funcionamiento	Discontinuo	Continuo
Eficiencia	Menos superficie	Más superficie
Carga superficial	20-40g DBO ₅ /m ² d	4-6g DBO ₅ /m ² d
Nitrificación	Se consigue	Complicada
Operación	Compleja	Sencilla
Eliminación de SST	90-95%	90-95%
Eliminación de DBO ₅	90-95%	85-95%
Eliminación de DQO	80-90%	80-90%
Eliminación de N-NH ₄ ⁺	60-70%	20-25%

Eliminación de NTK	60-70%	20-30%
Eliminación de PT	20-30%	20-30%
Eliminación de C.F.	2-3 unidades logarítmicas	1-2 unidades logarítmicas

Nota: Comparación de los humedales de tipo horizontal y vertical. Segura, 2017.

Como se puede apreciar en la Tabla 16, el HAFSV es más efectivo para remover coliformes alcanzando un 33% más de capacidad de remoción que el HAFSH. De esta forma, a pesar de que la operación del HAFSH es más sencilla, la tecnología a emplear fue del tipo HAFSV al ser el ideal para tratar el parámetro problema detectado mediante las pruebas de laboratorio, es decir, el humedal artificial a dimensionar fue:

- Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (HAFSV)

4.2.4 Dimensionamiento biológico

El dimensionamiento biológico para determinar la superficie requerida, fue realizado considerando un sistema de 2 etapas. Las mismas se calcularon mediante el siguiente criterio expresado por Segura (2017), quien indica que el área será de 1.25 m² / habitante equivalente.

El cálculo de los habitantes equivalentes sirvió para determinar la carga orgánica en biodegradable con un DBO₅ igual a 40 g de oxígeno por día. La ecuación 2 muestra cómo se determina este cálculo.

Ecuación 2

Cálculo de habitantes equivalentes

$$\text{Habitante equivalente} = \frac{\text{DBO}_5 \text{ (mg/l)} * Q_{ar} \text{ (m}^3\text{/d)}}{40 \text{ g / día*hab}}$$

Nota: fórmula de cálculo de habitantes Segura (2017).

Luego para resolver la ecuación se convierten las unidades a sus equivalentes en kilogramo y metro cubico para facilitar los cálculos. Como resultado se obtiene:

$$\text{Habitante equivalente} = \frac{0.002 \text{ kg/m}^3 * 18 \text{ m}^3\text{/d}}{0.04 \text{ kg / día*hab}} = 0.9 \text{ Habitantes}$$

A partir de este valor, se calcula la superficie requerida por etapa utilizando el criterio mostrado anteriormente. Como resultado se obtiene que:

- Cada etapa será de 1.125 m², ya que, se requiere 1.25 m² / habitante para 0.9 habitantes equivalentes.

4.2.5 Dimensionamiento hidráulico

A. Cálculo de la geometría del humedal. Una vez determinada la superficie requerida por cada una de las 2 secciones del humedal, se determinaron sus dimensiones de ancho y largo. Las relaciones de largo y ancho recomendadas son de 2:1, 3:1 o 4:1 (Segura, 2017), y tomando como referencia la relación 2:1. Para calcular estas dimensiones se aplicó la ecuación 3 mostrada a continuación.

Ecuación 3

Área de una sección rectangular

$$A = W \times L$$

Nota: Fórmula de cálculo de área de sección triangular. Segura 2017

Donde

A: es el área de la superficie de cada sección del humedal (1.125 m²)

W: es el ancho

L: es el largo

Luego, considerando la proporción 2:1 se tiene que $L = 2W$, por lo cual despejando la variable W tenemos.

Ecuación 4

Ancho de humedal

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Nota: Formula del cálculo de ancho de humedal. Segura 2017

$$W = \sqrt{\frac{1.125}{2}}$$

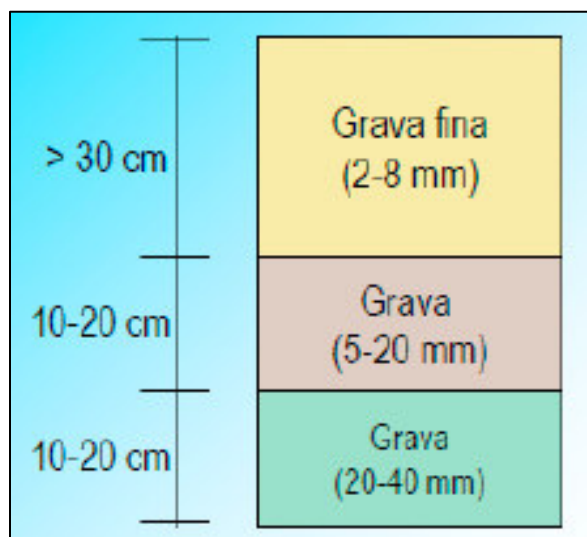
Como resultado tenemos que el ancho del humedal será de 0.75 m. Por su parte, el largo será de 1.5 m. La Tabla 17 resume el resultado.

Tabla 17*Geometría del humedal*

Aspecto de longitud	Calculado	Relación calculada
Largo	1.5 m	2:1
Ancho	0.75 m	

Nota: Dimensiones de nuestro humedal artificial de acuerdo a cálculo realizado.

B. Diseño del sustrato. El sustrato del humedal este compuesto de 3 capas de grava desde 2 mm hasta 40 mm. La distribución se realizó acorde con la estructura mostrada en la siguiente figura.

Figura 10*Pasos para el diseño del humedal artificial (HA)*

Nota: Distribución del estrato a ser utilizado en el diseño del humedal. Segura, 2017.

Partiendo de la figura mostrada con anterioridad, se estableció el sustrato tal como se muestra a continuación.

Tabla 18

Sustrato del humedal artificial

Capa	Medio	Diámetro	Tamaño	Porosidad
1	Grava fina	2 mm	30 cm	0.3
2	Grava media	16 mm	10 cm	0.365
3	Grava media	32 mm	10 cm	0.38

Nota: Características del sustrato del humedal artificial Romero, 2015.

C. Tiempo de retención. Para definir el tiempo de retención se aplicó la ecuación número 5. La misma sirvió para determinar el lapso de tiempo que el agua permanece en el sistema.

Ecuación 5

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{A \times E \times h}{Q}$$

Nota: Formula de tiempo de retención hidráulica. Segura 2017

Donde

A: es el área de la superficie de cada sección del humedal (1.125 m²)

E: porosidad

h: altura del

Q: caudal

Con la ecuación 5 se obtuvo el tiempo de retención por sección y luego uno total definido por la sumatoria del TRH de cada sección. La Tabla 19 muestra los resultados obtenidos.

El cálculo se realizó por cada sección del sustrato, ya que, cada uno de los 3 materiales que componen el lecho filtrante presenta diferente porosidad (ver Tabla 18). El resultado se seguidamente.

Tabla 19

Calculo de Tiempo de Retención Hidráulica en humedal artificial

Capa	Sección	Área (A)	Porosidad (E)	Altura (h)	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)
1	Grava fina	1.125 m ²	0.3	0.3 m	0.0056 días
2	Grava media	1.125 m ²	0.365	0.1 m	0.0023 días
3	Grava media	1.125 m ²	0.38	0.1 m	0.0024 días
Tiempo de Retención Hidráulica Total					0.0103 días

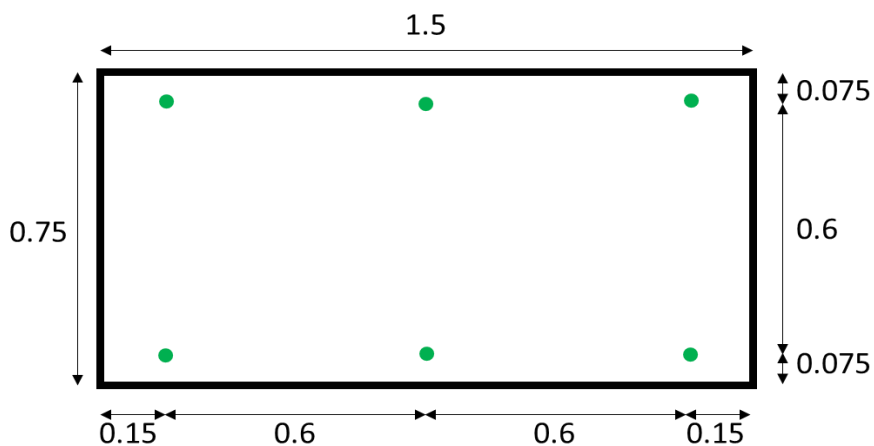
Nota: Calculo de retención hidráulica en humedal artificial con un caudal de 18m³/día

Tal como muestra esta tabla, el efluente que atravesará el sustrato del humedal artificial, tendrá un tiempo de 0.0103 días.

D. Distribución de plantas. Tomando como referencia la especie vegetal *Thypha Spp* (junco), la distribución de estos elementos será a razón de 6 plantas por 1 m², a una distancia de siembre de 0.6 m. De esta forma, se obtiene el arreglo mostrado a continuación.

Figura 11

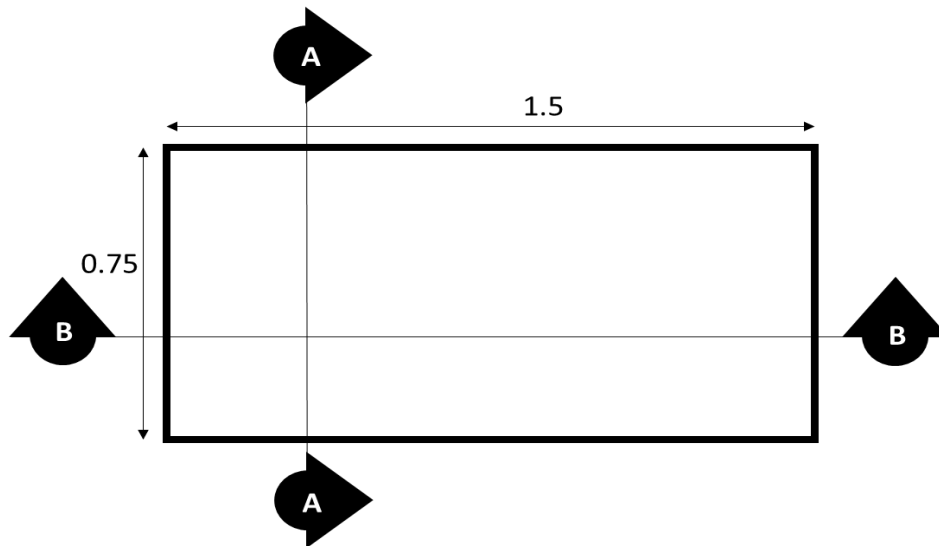
Distribución de plantas en el humedal artificial.



Nota: Distribución de las plantas en nuestro humedal artificial.

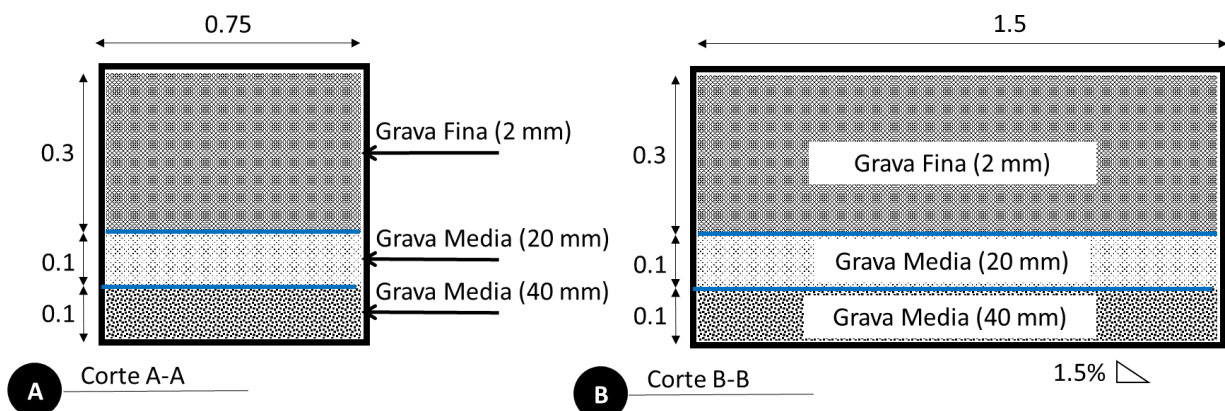
La Figura 11 detalla la ubicación de las plantas mediante los puntos verdes. Para el arreglo se distribuyeron las plantas de forma simétrica para propiciar la mejor interacción de las mismas con el proceso del humedal. Igualmente, se puede observar que no se colocó ningún espécimen pegado a los bordes de la estructura, respetando siempre una separación de 0.075 m (lados izquierdo y derecho), así como 0.15 m en las caras superior e inferior. Esto garantizará la simetría del arreglo.

E. Diseño de la estructura. Como resultado del dimensionamiento hidráulico se obtuvo un diseño de la estructura o configuración del humedal artificial tal como los detalla la Figura 12.

Figura 12*Vista de planta configuración del humedal artificial*

Nota: Vista en planta del humedal artificial.

La Figura 12 muestra una vista de planta del humedal artificial. Las medidas mostradas son en metros, indicando una longitud de 1.5 m x 0.75 m de ancho. La figura hace un llamado a la vista de los cortes transversales, los cuales se muestran a continuación.

Figura 13*Vista de cortes transversales del humedal artificial*

Nota: Cortes transversales del humedal artificial

Todas las medidas indicadas en la Figura 13 están en metros. Los cortes transversales A-A y B-B del humedal muestran las secciones del sustrato filtrante (conformado por 3 capas de grava de diferentes diámetros de 0.5 m), igual a 0.5m. La pendiente del sistema será de 1.5% para el desagüe uniforme del efluente. Entre cada capa se incluye una malla para mantener la separación e integridad de cada capa del sustrato.

F. Red de recolección y distribución. Primero se calculó el diámetro de la tubería que conformaría tanto el sistema de distribución y el de recolección. Se consideró para ambas un caudal de entrada de 18 m³/d. El diámetro de la tubería mediante las siguientes ecuaciones.

Ecuación 6

Cálculo de caudal

$$Q = V \times A = V \times (\Pi \times r^2)$$

Nota: Fórmula de cálculo de caudal. Segura 2017

Donde

Q: caudal de entrada (18 m³/d = 0.00021 m³/s)

V: velocidad del agua (0.6 m/s)

A: es el área (circunferencia)

Π: constante pi (3.1416)

r: radio de la circunferencia

Luego, para calcular el diámetro (d) de la tubería se despeja el radio obteniendo la siguiente ecuación.

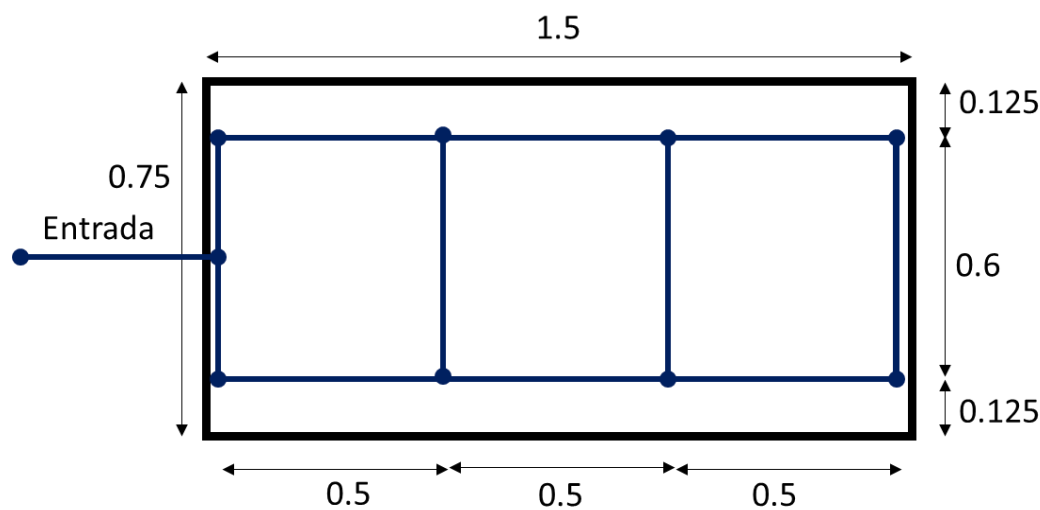
Ecuación 7*Diámetro de la tubería*

$$2 \times r = d = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi \times V}}$$

Nota: Fórmula de cálculo de diámetro de tubería. Segura 2017

De esta ecuación se obtiene que el diámetro de la tubería es de 2.10 cm lo que es igual a 0.83 pulgadas. Se seleccionó 1 pulgada como diámetro de tubería considerando las medidas comerciales.

Con el diámetro de tubería calculado y seleccionad se diseñó un arreglo dispuesto para que el agua entre de manera uniforme al humedal. Esta tubería tendrá perforaciones de forma que el agua cubra todos los espacios de la superficie. Este arreglo estará de forma superficial en el humedal.

Figura 14*Vista de planta del arreglo de tuberías de distribución*

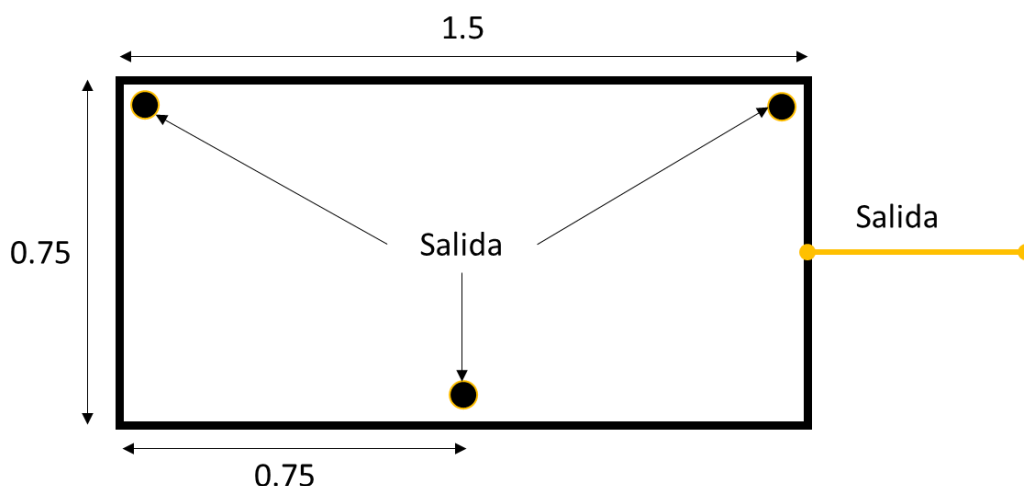
Nota: Vista en planta de la distribución de tuberías del humedal artificial.

Como se puede observar, se realizó un arreglo que cubre los 1.5 m de largo del humedal y 0.6 de los 0.75 m de ancho. El sistema tendrá 2 ramales principales de 1.5 m cada uno con 4 ramales secundarios de 0.6 m cada uno, de forma que el afluente alcance de la misma forma todo el humedal.

Para la salida de agua del humedal se consideró una tubería de 1 pulgada colocada en el fondo del humedal, en el extremo contrario a la entrada del efluente al sistema. Adicionalmente se colocaron 3 tuberías de ventilación para mejorar la entrada de aire y mejorar el proceso.

Figura 15

Vista de planta del arreglo la red de recolección



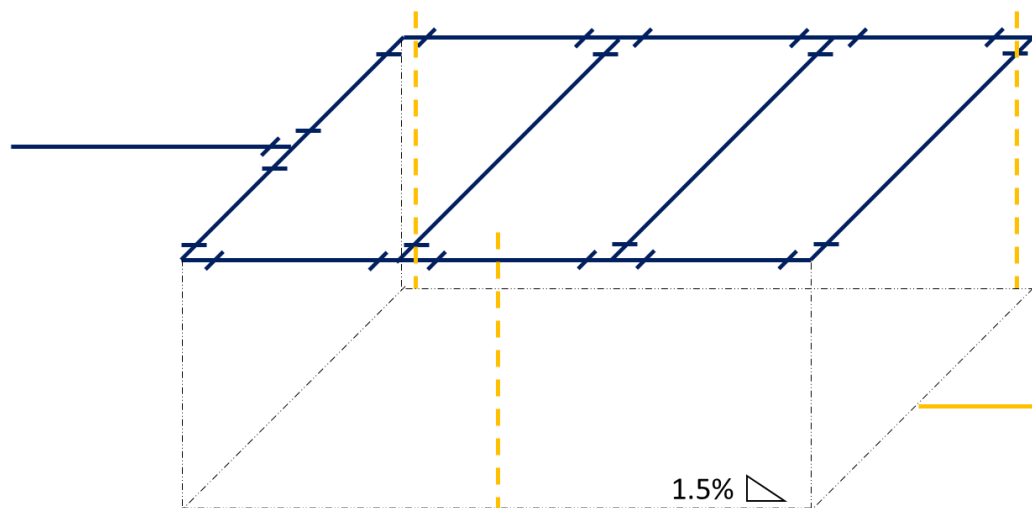
Nota: Vista de planta de la red de recolección

Como se puede observar, el sistema propuesto tendrá la salida ubicada de forma concéntrica la pared contraria de la entrada de agua. El flujo de salida aprovecha la pendiente de 1.5% para desalojar el agua tratada. Por otro lado, contará con 3 ventilaciones para mejorar el proceso. Estas serán con tuberías de 1 pulgada, sobresaliendo 0.3 m.

La Figura 16, muestra la isometría de la red de distribución y recolección.

Figura 16

Vista Isométrica del arreglo la red de recolección



Nota: Isométrico de la red de recolección

En la figura se presenta de forma combinada tanto el arreglo del sistema de distribución como el de recolección, mostrando la distribución de color azul, la recolección de color amarillo (continuo), y la ventilación de color amarillo (punteado).

4.2.6 Estimación de desempeño

Una vez el agua residual pase por las 2 celdas del humedal artificial, se estima como resultado un efluente como se describe en la Tabla 20

Tabla 20*Comportamiento estimado en el humedal artificial (HA)*

Parámetro	Unidad	Mejora	Limite	Promedio	Máximo	Mínimo
pH	Unidad de pH	-	6.5 a 9	6,61	6,31	6,91
Temperatura	°C	-	Δ 3	28,01	27,4	29,2
Aceites y grasas	mg/L	-	5	<0,2	<0,2	<0,2
DBO ₅	mg/L	90%	10	<0,2	<0,2	<0,2
DQO	mg/L	80%	-	<1,0	<1,0	<1,0
SST	mg/L	90%	≤ 400	16,93	22,4	6,4
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	Nota 1	2000	198,9	790	33

Nota: Parámetros donde se detalla el comportamiento estimado en el humedal artificial

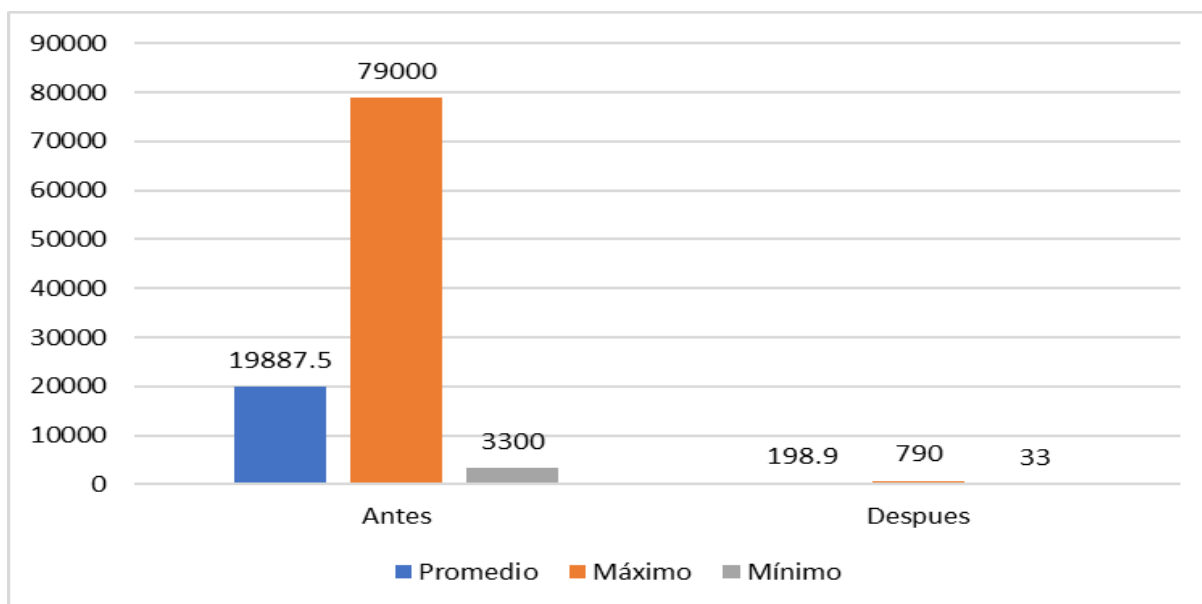
Nota 1: reducción de 2 unidades logarítmicas.

Como muestra la Tabla 20, se estima que el humedal artificial diseñado sea capaz de controlar los parámetros del agua residual. Se observa que todos los valores se ubican por debajo de los límites permitidos por el Ministerio de Ambiente.

Luego, a partir de los parámetros mostrados en las Tablas 15 y 20 se construyó una comparación del comportamiento de la variable coliforme termotolerantes. Este parámetro fue el único según las muestras de laboratorio que se encontraba fuera del estándar del MINAM. El resultado se muestra a continuación.

Figura 17

Comportamiento del parámetro biológico coliforme termotolerantes



Nota: Gráfico donde se expresa el comportamiento del parámetro biológico coliforme termotolerantes.

Como se puede observar, el desempeño estimado del humedal artificial arroja una reducción significativa de los coliformes termotolerantes. Al pasar el agua residual a través del humedal, se estima controlar este parámetro biológico estableciendo su rango por debajo del límite permisivo de 2000 NMP/100 ml.

4.3 Sensibilización de la Comunidad

Para favorecer la sustentabilidad en el tiempo del humedal artificial diseñado, se elaboró una charla dirigida a la comunidad. La misma tuvo el propósito de sensibilizarlos sobre la relevancia y ventajas de este tipo de sistema de tratamiento.

Esta actividad se ejecutó en la comunidad de AAHH Santa Rosa. En la misma participaron un total de 17 personas. Antes de iniciar la misma se realizaron 3 preguntas a los participantes para

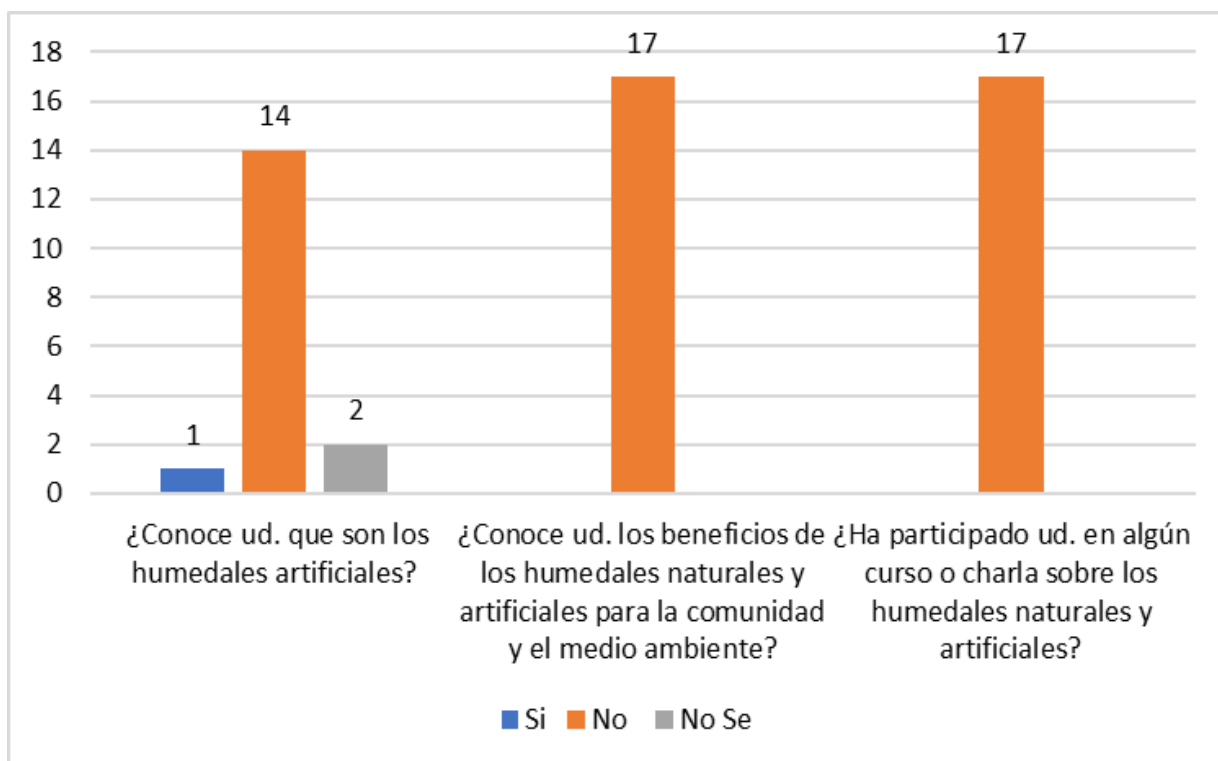
establecer si conocían la tecnología de humedales artificiales. Las interrogantes realizadas se listan a continuación:

- ¿Conoce Ud. que son los humedales artificiales?
- ¿Conoce Ud. los beneficios de los humedales naturales y artificiales para la comunidad y el medio ambiente?
- ¿Ha participado Ud. en algún curso o charla sobre los humedales naturales y artificiales?

Como de estos planteamientos se obtuvo la respuesta mostrada en la Figura 18.

Figura 18

Situación inicial de la comunidad antes de la charla de sensibilización



Nota: Gráfico con los resultados de la charla de sensibilización en la zona de belén Octubre2020

Se tiene como resultado que solo una persona, es decir, el 6% de la comunidad conocían lo que son los humedales artificiales. Por otro lado, las 17 personas (100%), manifestaron desconocer los beneficios que pueden brindar tanto a la comunidad como al medio ambiente los humedales artificiales. Por últimos, las 17 personas (100%), manifestaron que nunca han participado en una formación relacionada con los humedales artificiales. Esto indica que en la comunidad existe un desconocimiento total de la importancia y beneficios que pueden tener con la instalación de este tipo de tecnología en su entorno.

La charla se diseñó para una duración de 30 minutos. Se diseñó como material de apoyo un tríptico que resume el concepto de humedal natural y artificial, su importancia, partes que lo componen y una aproximación general al mantenimiento y operación (Anexo E). A continuación, se muestra la participación de la comunidad en la charla (Figuras 19 y 20) y se detalla el contenido abordado:

- Humedales. Conceptos básicos
 - Concepto de humedal
 - Tipos de humedales
 - Concepto de humedal artificial
 - Elementos de un humedal artificial
- Beneficios de los humedales para el medio ambiente
- Operación y mantenimiento de los humedales artificial
- Casos reales (videos)
- Ciclo de preguntas

Figura 19

Charla de sensibilización – Fotografía N°1



Nota: Charla de sensibilización realizada a pobladores de belén Octubre 2020

Figura 20

Charla de sensibilización – Fotografía N°1



Nota: Charla de sensibilización realizada a pobladores de belén Octubre 2020

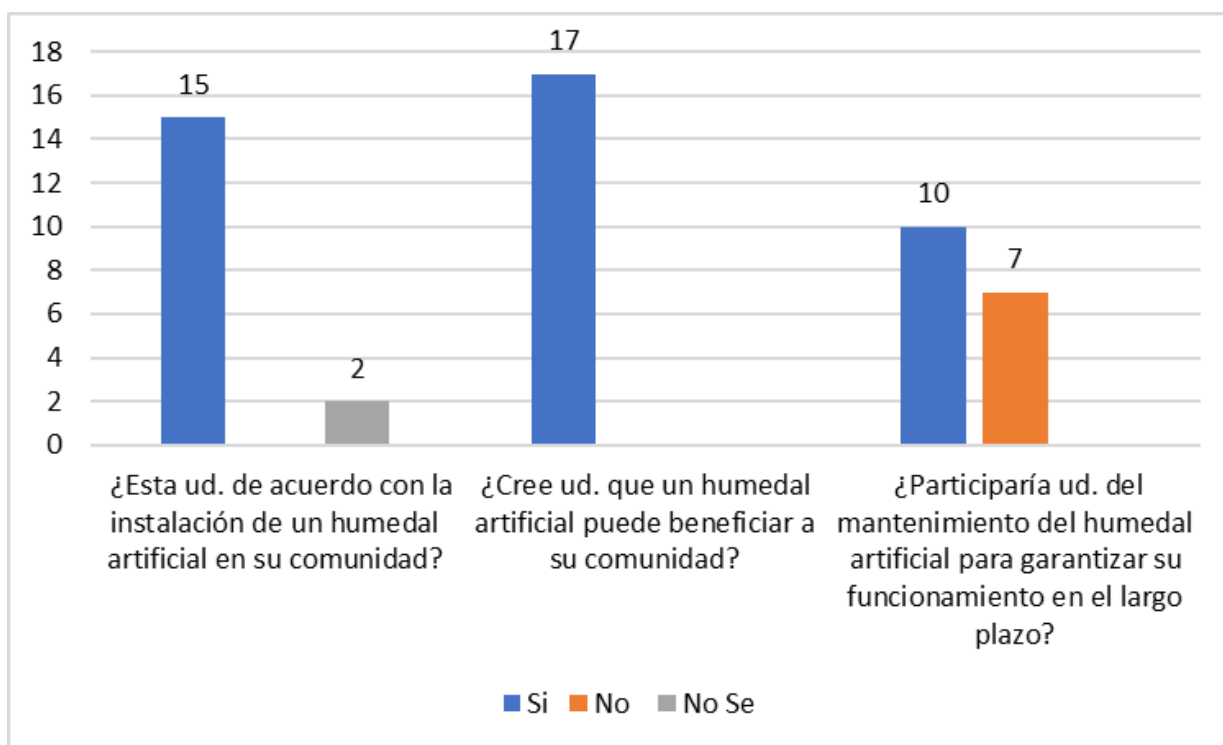
Una vez culminada la charla, se realizaron 3 planteamientos para determinar la disposición de la comunidad sobre el uso de esta tecnología en su localidad. Los planteamientos realizados fueron:

- ¿Esta Ud. de acuerdo con la instalación de un humedal artificial en su comunidad?
- ¿Cree Ud. que un humedal artificial puede beneficiar a su comunidad?
- ¿Participaría Ud. del mantenimiento del humedal artificial para garantizar su funcionamiento en el largo plazo?

Con estos planteamientos se obtuvo la respuesta mostrada en la Figura 21.

Figura 21

Disposición de la comunidad hacia el uso de humedales artificiales



Nota: Gráfico de disposición de la comunidad hacia uso de humedales artificiales

Se evidencia que la gran parte de los representantes pertenecientes a la comunidad que participaron de la sensibilización (15 de 17 personas), están de acuerdo en la aplicación de esta tecnología para tratar aguas residuales, mientras que el total de las 17 personas consideran que los humedales artificiales son efectivamente un beneficio para la comunidad.

Por otro lado, el tercer planteamiento fue de suma importancia. Este sirvió para medir la disposición de los habitantes de la comunidad hacia operar y mantener el humedal artificial, indagando sobre el aporte de la comunidad a la sostenibilidad en el tiempo del sistema. Como resultado se obtuvo que 10 de las 7 personas consultadas mostraran su disposición a participar tanto en los trabajos para el funcionamiento, operaciones y cuidado de esta alternativa. De forma

que el 58.8% de la comunidad está dispuesta garantizar el buen funcionamiento y sostenibilidad en el tiempo del humedal artificial, con lo cual, se hace factible el uso de la tecnología.

4.4 Guía de Operación y Mantenimiento

Para el correcto funcionamiento es necesario un mínimo de intervención humana por parte de la comunidad, de forma que, se pueda garantizar que todo marcha bien en el sistema. Las actividades se enfocarán principalmente en garantizar el flujo y la salud de la vegetación. A continuación, se resumen las actividades requeridas:

- Asegurar el flujo al humedal artificial.
- Supervisar el desarrollo de la vegetación.
- Vigilar acumulación de lodo y vegetación.

Las tareas que deben ser desarrolladas para el correcto funcionamiento del humedal son las siguientes.

Tabla 21

Guía para la operación, mantenimiento y cuidado del humedal artificial (HA)

Actividad	Frecuencia	Duración
Eliminar hierbas	Quincenal	25 minutos
Podar las plantas	3 meses	25 minutos
Revisar y eliminar exceso de vegetación	Mensual	25 minutos
Limpieza de tubería de entrada del agua	Anual	2.5 horas
Limpieza de tubería de salida del agua	Anual	1.5 hora

Nota: Actividades a desarrollar en la operación, mantenimiento y cuidado del humedal artificial.

Eliminar hierbas: esta actividad será especialmente importante durante los primeros 6 meses de operación. Esto garantizará el correcto crecimiento de la vegetación del humedal. Esta actividad se realizará a mano. La persona deberá utilizar guantes para la remoción de la hierba, disponiendo la misma en bolsas de basura. Una vez terminada la tarea, el operador/mantenedor debe limpiarse las manos cuidadosa mente con productos jabonosos antibacteriales.

Podar plantas: esta actividad servirá para controlar el tamaño de la vegetación empleada en el tratamiento. Esta actividad se realizará con tijeras. La persona deberá utilizar guantes para la remoción de la hierba, disponiendo la misma en bolsas de basura. Una vez terminada la tarea, el operador/mantenedor debe limpiarse las manos cuidadosa mente con productos jabonosos antibacteriales.

Revisar y eliminar exceso de vegetación: Esta actividad garantizará la densidad de vegetación requerida en el humedal artificial por metro cuadrado. Esta actividad se realizará a mano. La persona deberá realizar una inspección visual y de ser necesario la eliminación de la vegetación excedente. Deberá utilizar guantes para la remoción de las plantas, disponiendo las mismas en bolsas de basura. Una vez terminada la tarea, el operador/mantenedor debe limpiarse las manos cuidadosa mente con productos jabonosos antibacteriales.

Limpieza de la tubería de la red de distribución: esta actividad servirá para garantizar el flujo de agua hacia el humedal artificial, así como, su distribución uniforme. Esta actividad se realizará a mano. Esta actividad será ejecutada por 2 personas, quienes deberán utilizar guantes. En primer lugar, deberán bloquear y drenar la tubería. Una vez seca, se desconectará el arreglo para su revisión y limpieza. Una vez limpiado, se conectará y dejará listo para su operación. Al culminar la tarea, el operador/mantenedor debe limpiarse las manos cuidadosa mente con productos jabonosos antibacteriales.

Limpieza de la tubería de recolección: esta actividad servirá para garantizar el flujo de salida del agua tratada del humedal artificial. Esta actividad se realizará a mano. Esta actividad será ejecutada por 2 personas, quienes deberán utilizar guantes. En primer lugar, deberán bloquear la entrada de agua al sistema. Luego, se desconectará el arreglo para su revisión y limpieza. Una vez limpiado, se conectará y dejará listo para su operación. Al culminar la tarea, el operador/mantenedor debe limpiarse las manos cuidadosa mente con productos jabonosos antibacteriales.

Se recomienda establecer un grupo de personas responsables de 4 a 5 integrantes que, se turnen y colaboren en el desarrollo de las tareas para el funcionamiento y cuidado del humedal artificial. No es requerido que los mismos sean expertos, sin embargo, deberán ser capacitados para certificar sus competencias para la manipulación segura y correcta del sistema.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante la elaboración de la investigación, el factor que limitó el desarrollo del trabajo fue la caracterización del agua residual que serviría como base para el cálculo y dimensionamiento del sistema de tratamiento. Sin la determinación de estos aspectos físicos, químicos y biológicos iniciales y/o actuales sería imposible comprobar científicamente si el agua estaba contaminada, y que parámetros estaban fuera de los límites establecidos por el Ministerio de Ambiente. Por otro lado, las medidas de seguridad relacionadas con la pandemia generada por el Covid-19 restringieron la ejecución de las tareas en el sitio de estudio requeridas para conocer la calidad del agua. Por esta razón, se contactó una institución dedicada a realizar los estudios de laboratorio para la caracterización del agua y se planificó la toma de las 8 muestras siguiendo todas las medidas de seguridad sanitaria dentro del lapso de un solo día, con lo cual, se logró superar esta limitante y obtener la información que serviría como base para el cálculo del humedal artificial.

La caracterización del agua se llevó a cabo siguiendo los protocolos de la ANA. Fueron tomadas un total de 8 muestras según lo mostrado en la Tabla 12 y Figura 7. Los hallazgos de la prueba de laboratorio de cada una de las 8 muestras evidencian que el agua presenta agentes contaminantes dentro del rango de los parámetros biológicos, los cuales, son potencialmente dañinos para el ser humano. Como se puede apreciar en la Tabla 15 y Figura 8 los aspectos físicos y químicos se encuentran dentro del rango establecido por el Ministerio de Ambiente, sin embargo, la variable biológica coliformes termotolerantes supera el límite de 2000 NMP/100 ml, desde un valor mínimo de 3300 NMP/100 ml (muestra 1), hasta un máximo de 79000 NMP/100 ml (muestra 2).

Estas evidencias son consistentes con los hallazgos de Ayllón y Pérez (2015), quienes encontraron en su investigación sobre la contaminación del río Itaya la presencia de los

contaminantes microbiológicos de *Escherichia coli* en una concentración de 50×10^2 NMP/100 ml y coliformes termotolerantes en una concentración de 80.80×10^3 NMP/100 ml. Esto implica que en este río existe la presencia de agentes biológicos que modifican de forma negativa la calidad del agua y que en este caso generan consecuencias negativas para la salud de los habitantes de la zona, provocando enfermedades gastrointestinales. El establecimiento de la caracterización del agua previo al cálculo y dimensionamiento del humedal artificial fue fundamental, ya que, permitió que un diseño pensado para solventar esta situación.

El diseño del humedal artificial se realizó de forma sistemática siguiendo los 6 pasos descritos en la Figura 9 mediante los cuales, se determinó:

- La corriente de agua residual de entrada al sistema (ver Tabla 15)
- Caudal de entrada de 18 m³/d para un modelo dimensionado para 150 personas
- El tipo de humedal requerido (flujo subsuperficial vertical), basado en la necesidad de tratamiento de la corriente de entrada y con los criterios mostrados en la Tabla 16.
- Dimensionamiento biológico determinando una población equivalente de 0.9 habitantes, para un sistema de 2 celdas de 1.125 m² cada una.
- Dimensionamiento hidráulico con dimensiones de 0.75 x 1.5 m (ancho y largo), sustrato de 0.5 m (0.3 grava fina 2 mm, 0.1 grava media de 16 mm y 0.1 de grava media de 32 mm), densidad de seis especies vegetales por 1 m² y arreglos de tubería de 1.5 pulgadas de diámetro para la distribución uniforme del afluente y recolección del agua tratada.

El diseño obtenido fue consistente con el sistema planteado por Segura (2017), quien diseñó un “humedal artificial de flujo subsuperficial vertical para tratar una corriente con CT promedio 1.8×10^4 NMP/100 ml hasta 4.6×10^6 NMP/100 ml, obteniendo resultados favorables de 4.6×10^4 NMP/100 ml hasta 1.03×10 NMP/100 ml”. Contrastando estos resultados con el

desempeño estimado del sistema mostrado en la Tabla 20 y Figura 17, se evidencia que el sistema diseñado tiene un funcionamiento óptimo para tratar el afluente considerado. Esto implica como descubrió Castañeda (2017), que los humedales artificiales son altamente eficientes para mejorar la calidad del agua bajo condiciones controladas, ya que, se el desempeño estimado del sistema calculado mejorará de forma efectiva las condiciones actuales del agua beneficiando significativamente todas las dimensiones del ambiente (medio biótico, abiótico y antrópico), ya que, controlara los parámetros del agua, servirá como hábitat para especies vegetales y animales, y disminuirá el riesgo de las personas a la exposición y consumo de agua contaminada.

Por otro lado, los resultados obtenidos de la sensibilización de la comunidad fueron positivos. Esta actividad consto de charlas a la comunidad con una duración de 30 minutos abordando conceptos básicos de los humedales (naturales y artificiales), beneficios, importancia y requisitos mínimos de operación y mantenimiento. El contenido fue diseñado de forma sencilla para que pudiera ser entendido por los pobladores de la comunidad sin necesidad poseer competencias técnicas, así como, de corta duración para mantener su atención. Con la actividad se logró sensibilizar a la comunidad sobre los beneficios que conlleva estos sistemas para la población. Esto se evidencia al comparar las Figuras 18 y 21 dónde se puede observar que a pesar de que inicialmente los habitantes manifestaron no conocer los humedales artificiales ni sus beneficios, luego de la charla la gran mayoría (15 de 2 personas) expresaron estar de acuerdo con la instalación de esta tecnología y la totalidad de los consultados entendieron los beneficios para la comunidad.

Al contrastar estos resultados con Rodríguez (2017), se ratifica la importancia de sensibilizar a las comunidades que serán los beneficiarios, operadores y mantenedores del sistema a largo plazo para la sostenibilidad del sistema. Esto implica, que lograr que los beneficiarios de

los humedales artificiales sea un factor de éxito para el sistema, ya que, permitirá que estos puedan desarrollar la disposición para participar en las actividades relacionadas con la garantía del funcionamiento del humedal.

Con respecto a la operación y mantenimiento, es clave desarrollar las tareas mínimas requeridas para garantizar el funcionamiento del sistema. Como se observar en la Tabla 21, estas tareas incluyen poda de la vegetación, control de vegetación, limpieza de hierbas, así como, limpieza de tuberías de distribución y recolección. Esta secuencia de actividades servirá para solventar cualquier situación que altamente contra la operación del sistema por medio de tareas de mantenimiento preventivo. Tal como lo evidencio Arteaga (2018), la organización de la comunidad es fundamental en las tareas de mantenimiento y operación. Lo que implica que tener una guía de mantenimiento, que de indicaciones de que actividades realizar y cómo hacerlo es fundamental si se quiere mantener eficiente el humedal y lograr una calidad del agua óptima.

VI. CONCLUSIONES

- El agua tomada como muestra en la zona Baja de Belén muestra que el parámetro biológico coliforme termotolerante está fuera del límite establecido por el Ministerio de Ambiente (2000 NMP/100 ml), presentando como valor mínimo 3300 NMP/100 ml hasta 79000 NMP/100 ml.
- Como medio de control para los coliformes termotolerantes se diseñó un sistema de tratamiento basado en humedal construido por el hombre (artificial), de flujo tipo subsuperficial con orientación vertical, para el cual se calculó una población equivalente de 0.9 habitantes para un área de superficie de 2.25 m², divididos en 2 celdas de 1.125 m² cada una. Se diseñó una estructura de 2:1 (1.5 x 0.75 m largo y ancho), con un sustrato de 0.5 metros de 3 niveles con 0.3 m de grava fina de 2mm, 0.1 m de grava media de 16 mm y 0.1 m de grava gruesa de 32 mm. Las plantas se colocarán a razón de 6 especímenes por m² y para distribuir el agua residual de forma uniforme se utilizar un arreglo de 1.5 pulgadas.
- La sensibilización realizada a la comunidad mostró que inicialmente solo 1 persona conocía los humedales artificiales y ninguno conocía ni sus beneficios ni había participado en algún tipo de curso sobre esta tecnología. Sin embargo, luego de la charla 15 de 17 personas estaban de acuerdo con su implementación y todos los participantes de la charla coinciden en que los humedales artificiales son beneficiosos para la comunidad.
- La guía de operación y mantenimiento propuesta muestra las tareas mínimas que deberán cubrir los responsables del funcionamiento del humedal artificial, de forma que, puedan desarrollar las actividades que garanticen la sostenibilidad del sistema.

VII. RECOMENDACIONES

- Construir un humedal artificial piloto siguiendo las especificaciones determinadas en la investigación, para estudiar su comportamiento bajo condiciones reales y caudal de entrada igual al considerado en el cálculo.
- Realizar la prueba piloto del humedal artificial utilizando 2 sistemas con especies de plantas diferentes para evaluar con cual tipo de espécimen se obtiene el mejor resultado de calidad del agua.
- Expandir las charlas de sensibilización hasta alcanzar el 100% de las personas que hacen vida en las comunidades beneficiarias, de forma que todos logren ser conscientes de los beneficios de este sistema y de la importancia de su manutención.
- Crear planes de capacitación formales para crear las competencias necesarias para mantener y operar los humedales artificiales de forma segura y eficiente. La capacitación deberá incluir visitas asistidas a humedales artificiales existentes y en operación para participar en su mantenimiento y tareas de operación. Esta actividad debe durar un mínimo de 5 días entre actividades teóricas y prácticas.

VIII. REFERENCIAS

- ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Autor. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/209>
- Aponte, H. (2017). *Humedales de la Costa central del Perú - Un diagnóstico de los humedales e Santa Rosa, laguna El Paraíso y Albufera de Medio Mundo (1° ed.)*. Cooperación. http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo_0/140.pdf
- Araya, F., Pesante, S., Vera, L. y Vidal, G. (2016). *Las Aguas Servidas y su Depuración en Zonas Rurales: Situación Actual y Desafíos (1° ed.)*. GIBA. <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/las-aguas-servidas-y-su-depuracion-en-zonas-rurales-situacion-actual-y-desafios.pdf>
- Arellano, S. (2017). *Humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual doméstica en el caserío Ternique-Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo], Repositorio Digital Institucional César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/32282>
- Arias, C. y Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (13), pp. 17-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302>
- Arrús, D. y Mogollón, M. (2019). *Centro de interpretación de los humedales de ventanilla*. [Tesis de pregrado, Universidad de Lima]. Repositorio Institucional ULIMA. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/9990>
- Ayllón, Z. y Pérez, M. (2015). *Contaminación del agua del Río Iyaya por agentes Biológicos Patógenos y su impacto en la salud humana*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de

Amazonía Perú]. Repositorio Institucional Digital UNAP.

<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4391>

BCRP. (2018). *Caracterización del Departamento de Loreto*. BCRP.

<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Iquitos/loreto-caracterizacion.pdf>

Benedict, M. y McMahon, E. (2006). *Green infrastructure: linking landscapes and communities*.

Island press. Washington.

Borjas, M. (2012). *Metodología de la Investigación científica para ingenieros*. Autor.

<https://es.slideshare.net/manborja/metodologia-de-inv-cientifica-para-ing-civil>.

Calvache, A. (2012). *Revalorización y revitalización de las manifestaciones culturales de la*

comunidad Kichwa Shayari para el diseño de un producto turístico comunitario, Cantón

Cascales, Provincia de Sucumbío. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo]. Repositorio DBRAI. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2173>

Castañeda, L. (2017). Una revisión sobre el uso de Humedales Artificiales para el tratamiento de

aguas residuales domesticas en América Latina: Diseño, operación y resultados.

Tecnología Bioresource, pp. 1-17. <https://elsevier.com>

Castro, Y., Pérez, W., Mariño, C. y Amparo, M. (2018). Eficiencia de tratamiento de las aguas

domésticas mediante HAFSV con la especie *Zantedeschia aethiopica* en Viquez –

Lurigancho. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(2), pp. 16-28.

<https://doi.org/10.17162/riectd.v4i2.1094>

CONAM. (2005). *Indicadores Ambientales de Loreto*. CONAM. Lima.

“*La Biodiversidad de Loreto, Perú: El Conocimiento Actual de Plantas y Vertebrados Terrestres*”,

por Pitman et al., 2013 e “*Indicadores Ambientales de Loreto*” por CONAM, 2005.

Corner, J. (2006). The Landscape Urbanism Reader. *Terra Fluxus*, pp. 23-33.

Decreto Supremo N° 004-2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. (7 de junio de 2017). MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones-1>

De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M. y Davidson, N. (2007). *Valoración de humedales Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales* (3° ed.). RAMSAR. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_rtr03_s.pdf

Diaz Enamorado, C. (2018). *Diseño de un parque y centro interactivo del agua en el borde del caño Juan Angola del barrio Canapote de Cartagena*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Buenaventura]. Biblioteca Digital USB. <http://hdl.handle.net/10819/6186>

Edward, B., Mike, A. y Duncan, K. (1997). *Valoración económica de los humedales*. Oficina de la Convención de Ramsar. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/Ramsar-021-Es.pdf>

Fernández, L. (2010). *Diagnóstico de base sobre el impacto de las obras de infraestructura en la capacidad de adaptación de los humedales*. Wetlands International. <http://www.keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Adaptacion-Riesgo/26.pdf>

- García, J. y Corzo, A. (2009). *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Universitat Politècnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/2117/2474>
- García, A. (6 de agosto de 2018). *Tipos de tratamiento de aguas residuales*. Ecologiaverde. <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-tratamiento-de-aguas-residuales-1448.html>
- Gobierno Regional del Callao. (2009). *Plan Maestro- Área de conservación regional humedales de ventanilla*. Autor. <http://hdl.handle.net/1834/8220>
- Gobierno Regional del Callao. (2011). *Zonificación territorial para la demarcación y organización territorial del Distrito de Ventanilla*. Autor. <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/Estudio-Ventanilla.pdf>
- Granda, M. (2012). *Centro de Interpretación Ambiental Mindo: La relación entre la Arquitectura y la Naturaleza*. [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio Digital USFQ. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1205>
- Henzen, I. (5 de setiembre de 2012). *¿Qué es la infraestructura verde?*. GreenInfranet. http://documents.rec.org/publications/GreenSpace_issue01_ES_Web.pdf
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación (2° ed.)*. Mc. Graw Hill. México.
- INEI. (2020). *Perú: Formas de Acceso al Agua Potable y Saneamiento Básico*. Autor. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- MAGAP. (2015). *Memoria Técnica Geomorfología. Cánton Loreto*. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Geomorfologia_LORETO_2015_1117.pdf

Marín, R. (1985). *Pedagogía Social y Sociología de la educación (3º ed.)*. UNED.

<https://www.casadellibro.com/libro-pedagogia-social-y-sociologia-de-la-educacion-3-ed/9788436216318/449225>

Mena, J. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos*. Alquimia Soluciones Ambientales.

http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2643_JMena.pdf

Moscoso, J. (2016). *Manual de Buenas Practicas para el Uso Seguro y Productivo de las Aguas Residuales Domesticas*. ANA. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/207>

MITECO. (4 de julio de 2016). *Las infraestructuras verdes*.

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/Infraestructura_verde.aspx

MITECO. (21 de mayo de 2019). *Estrategia estatal de infraestructura verde y de la conectividad y la restauración ecológicas*.

https://www.miteco.gob.es/images/es/borradoreivcre_infopublica_tcm30-497133.PDF

Mitsch, W. y Gosselink, J. (1993). *Wetlands*. Van Nostrand. Nueva York.

MVCS. (2015). *Reglamento Nacional de Edificaciones (1º ed.)*. Autor.

<https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

Noticias de Arquitectura. (10 de febrero de 2010). *Centro para los humedales más visitados del mundo*. <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/10608.html#.X212z2hKjIU>

- Núñez, R. (2019). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas a Nivel Familiar, con Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal, Mediante la Especie Macrófita Emergente Cyperus Papyrus (Papiro)*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de Tesis UPEU. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/555>
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales (1° ed.)*. Autor. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- PNUD. (28 de marzo de 2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Pastor, R., Arias, C. y Miglio, R. (2017). *Humedales construidos para la depuración de aguas residuales (1° ed.)*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://www.fondoeditorialunalm.com/wpcontent/uploads/2020/09/HUMEDALES.pdf>
- Pitman, N., Gagliardi, Urrutia, G. y Jenkins, C. (2013). *La Biodiversidad de Loreto, Perú: El Conocimiento Actual de Plantas y Vertebrados Terrestres*. CIEL. <http://creativecommons.org/licenses/by-nd-nc/1.0>
- RAMSAR. (2016). *Manual de la Convención del RAMSAR. Introducción a la Convención sobre Humedales (5° ed.)*. Gland: RAMSAR. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introducciontoconvention_s_final.pdf
- Reed, S. y Crites, M. (1995). *E.J, Natural Systems for waste Management and Treatment (2° ed.)*. McGraw-Hill. New York.

- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L. y López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), pp. 59-68.
<http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/46>
- Rojas, I., Quevedo, C. y Velásquez, M. (2017). *Diseño del parque interactivo de flora y fauna del Tolima*. [Tesis de pregrado, Universidad del Tolima]. Repositorio UT. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1677>
- Romero, B. (2015). *Estudio y Dimensionado Experimental de Humedales Artificiales para la Mejora de la Calidad de las Aguas de Cursos Fluviales Eutrofizados*. [Tesis de pregrado, Universidad Miguel Hernandez de Elche]. Redi UMH. <http://dspace.umh.es/handle/11000/2712>
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E. y Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), pp. 157-167.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012012004>
- Sánchez, Y. (2019). *Implementación de un centro de investigación y difusión para la conservación de los humedales de Villa María en Chimbote - centro de investigación y difusión en los humedales de Villa María*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43416>
- Sandoval, J. (2019). *Eficiencia del jacinto de agua Eichhornia Crassipes y Lenteja de agua Lemna Minor L. en la remoción de cadmio en aguas residuales*. [Tesis de pregrado, Universidad

Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3256>

Segura, I. (2017). *Cinética de decaimiento de coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical*. [Tesis de maestría, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua], Repositorio Institucional MTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1606>

Tipe, C. (2016). *Centro de investigación y difusión ambiental en los humedales de Ventanilla*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio Académico USMP. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/2775>

Torres, M. (2018). *Modelo de diseño urbano arquitectónico de un parque interactivo como integrador social en el Barrio Olaya Herrera Sector Ricaurte*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Buenaventura]. Biblioteca Digital USB. <http://hdl.handle.net/10819/6189>

Villacorta, A. (2019). *Centro de Interpretación Ambiental para la Restauración Ecológica de los humedales de Ventanilla*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucionl UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/36924>

Villagra, M. (2017). *Centro de Investigación y Educación Ambiental en los humedales de Ventanilla - Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/621783>

Vodanovic, D. (2004). *Centro de investigacion ecologica de humedales y educacion ambiental*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de UCHILE. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100584>

Young, O., Berkhout, F., Gallopin, G., Janssen, M., Ostrom, E. y Van der Leeuw, S. (2006). The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research. *Global Environmental Change*, 16(3), pp. 304-316.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.004>

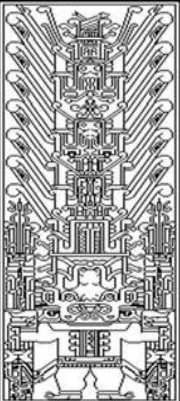
IX. ANEXO

Anexo A. Matriz de Consistencia.....	102
Anexo B. Formato para recolección de datos	103
Anexo C. Memoria fotográfica.....	104
Anexo D. Informe de laboratorio.....	108
Anexo E. Tríptico – Humedales Artificiales	111
Anexo F. Asistencia a la charla de sensibilización.....	113
Anexo G. Esquema del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical	114
Anexo H. Layout del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical	115
Anexo I. Plano del sistema de recolección y distribución del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical	116
Anexo J. Presupuesto	117
Anexo K. Plano de ubicación de la zona de estudio.....	118
Anexo L. Plano de ubicación del proyecto.....	119

Anexo A. Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE Y DIMENSIONES	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	MÉTODO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
General:	General:	General:			
¿De qué manera el diseño de un humedal artificial incide en el tratamiento de aguas residuales generadas en la zona baja de Belén de la ciudad de Iquitos?	Diseñar un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales generadas en la zona baja de Belén de la ciudad de Iquitos	El diseño de un humedal de tipo artificial es favorable para mejorar la calidad del agua en la zona baja de Belén de la ciudad de Iquitos	Independiente: Humedales Artificiales	Según el tipo: Aplicada	Método: Hipotético deductivo
Específicos:	Específicos:	Específicos:		Según el enfoque: Cuantitativo	Técnicas: Observación
1. ¿Cómo es la calidad actual del agua en la cuenca del río Itaya en la zona baja de Belén de Iquitos?	1. Determinar la calidad actual del agua en el río Itaya en la zona baja de Belén en Iquitos	1. Los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de la cuenca del río Itaya en la zona baja de Belén en Iquitos no cumplen los parámetros del MINAM.	Dependiente: Calidad de Aguas Residuales	Según el alcance: Descriptivo	Instrumentos Recolección de datos: –Lista de Verificación –Formatos de registro de datos
2. ¿Cuál es el diseño de un modelo de humedal artificial para tratamiento de las aguas residuales en la zona baja de Belén en Iquitos?	2. Diseñar un modelo de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales en la zona baja de Belén en Iquitos	2. El diseño de un humedal artificial mejora la calidad del agua en la zona baja de Belén en Iquitos.		Según su diseño No experimental	Análisis de los Resultados La información será procesada mediante estadística descriptiva utilizando el SPSS
3. ¿En qué medida la aplicación de una técnica adecuada permite sensibilizar a las comunidades de la zona baja de Belén en Iquitos en el uso y beneficios de los humedales artificiales?	3. Determinar en qué medida la aplicación de una técnica adecuada permite sensibilizar a las comunidades de la zona baja de Belén en Iquitos en el uso y beneficios de los humedales artificiales.	3. La aplicación de una técnica adecuada permite sensibilizar a las comunidades de la zona baja de Belén en Iquitos en el uso y beneficios de los humedales artificiales			
4. ¿De qué manera se va a garantizar la operación y mantenimiento del humedal artificial?	4. Elaborar una guía de operación y mantenimiento para garantizar la operación y mantenimiento del humedal artificial	4. Las guías de operación y mantenimiento facilitan el buen funcionamiento del humedal artificial.			

Anexo B. Formato para recolección de datos

	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO							
	<i>LOS HUMEDALES ARTIFICIALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA ZONA BAJA DE BELÉN EN IQUITOS</i>							
	<i>Investigador:</i> _____ <i>Lugar:</i> _____							
FICHA RESUMEN								
Muestra	Parámetros							
	Coordenadas UTM	Fecha	Hora	pH	Cloro residual (mg/L)	Conductividad (μ S/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Anexo C. Memoria fotográfica

Figura 22

Toma de muestra OD-AS-01 / 02



Nota: Toma de muestras de agua en rio Itaya Octubre 2020

Figura 23

Toma de muestra OD-AS-03 / 04



Nota: Toma de muestras de agua en río Itaya Octubre 2020

Figura 24

Toma de muestra OD-AS-05 / 06



Nota: Toma de muestras de agua en río Itaya Octubre 2020

Figura 25

Toma de muestra OD-AS-07 / 08



Nota: Toma de muestras de agua en río Itaya Octubre 2020

Anexo D. Informe de laboratorio

INFORME DE ENSAYO N° 203266 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : ORLANDO DOMINGUEZ
 Domicilio Legal : Av. Augusto Freyre 556 - Iquitos
 Solicitado Por : ORLANDO DOMINGUEZ
 Referencia : Cotización N°2003-20 / Plan de muestreo N° 0850-2020
 Proyecto : Reservado por el cliente
 Procedencia : Reservado por el cliente
 Muestreo Realizado Por : ENVIROTEST S.A.C
 Cantidad de Muestra : 8
 Producto : Agua natural
 Fecha de Recepción : 20/09/2020
 Fecha de Ensayo : 20/09/2020 al 01/10/2020
 Fecha de Emisión : 01/10/2020

I. Resultados

Código de Laboratorio	203266-01	203266-02	203266-03	203266-04	203266-05	203266-06		
Código de Cliente	OS-AS-01	OS-AS-02	OS-AS-03	OS-AS-04	OS-AS-05	OS-AS-06		
Fecha de Muestreo	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020		
Hora de Muestreo (h)	07:15	07:30	09:15	10:15	11:15	12:15		
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0693329 N 9583070	E 0693497 N 9583172	E 0693656 N 9583231	E 0693889 N 9583394	E 0694186 N 9583540	E 0694435 N 9583623		
Tipo de Producto	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial		
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Análisis de Campo								
pH	Und. pH	0,01 ⁽¹⁾	6,45	6,31	6,51	6,37	6,31	6,37
Temperatura de Muestra	°C	0,1 ⁽¹⁾	27,4	28,1	28,1	27,7	28,0	29,2
Lugar de ensayo (Laboratorio Inorgánico)								
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Fisicoquímicos								
Aceites y Grasas	mg/L	0,2 ⁽¹⁾	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	6	32	112	99	106	51	104

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. Indicado, ⁽¹⁾ = Resolución cuantificable, ⁽²⁾ = Límite de Detección de Método, "—" = No Analizado.

Código de Laboratorio	203266-07	203266-08		
Código de Cliente	OS-AS-07	OS-AS-08		
Fecha de Muestreo	19/09/2020	19/09/2020		
Hora de Muestreo (h)	08:45	09:00		
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0694532 N 9583661	E 0694831 N 9583664		
Tipo de Producto	Agua Superficial	Agua Superficial		
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados	
Análisis de Campo				
pH	Und. pH	0,01 ⁽¹⁾	6,91	6,70
Temperatura de Muestra	°C	0,1 ⁽¹⁾	27,7	27,9
Lugar de ensayo (Laboratorio Inorgánico)				
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados	
Fisicoquímicos				
Aceites y Grasas	mg/L	0,2 ⁽¹⁾	<0,2	<0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2,0	<2,0	<2,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5,0	<5,0	<5,0
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	6	96	77

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. Indicado, ⁽¹⁾ = Resolución cuantificable, ⁽²⁾ = Límite de Detección de Método, "—" = No Analizado.

INFORME DE ENSAYO N° 203266 CON VALOR OFICIAL

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Análisis de Campo		
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 H+ B, 23rd.Ed. 2017	pH Value. Electrometric Method
Temperatura	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017	Temperature Laboratory and Field Methods
Físicoquímicos		
Aceites y Grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23rd.Ed. 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd.Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd.Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C

SIGLAS: "SM": Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017

III. Procedimiento de muestreo

PM-OPE-04 Muestreo en Aguas Rev 09

Ing. Jessica Tapia C.
Gerente de Calidad, Seguridad, Salud
y Ambiente
C.I.P N° 238897

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en físico como en digital es de 4 años. El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y sigue desde la toma de muestra. Está prohibida la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Entidad S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con los lotes de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron. Para verificar la autenticidad del presente informe de ensayo solicitar información al correo: info@entidad.com.pe

** FIN DEL INFORME **

INFORME DE ENSAYO N° 203266 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : ORLANDO DOMINGUEZ
 Domicilio Legal : Av. Augusto Freyre 556 - Iquitos
 Solicitado Por : ORLANDO DOMINGUEZ
 Referencia : Cotización N°2003-20 / Plan de muestreo N° 0859-2020
 Proyecto : Reservado por el cliente
 Procedencia : Reservado por el cliente
 Muestreo Realizado Por : ENVIROTEST S.A.C
 Cantidad de Muestra : 8
 Producto : Agua natural
 Fecha de Recepción : 20/09/2020
 Fecha de Ensayo : 20/09/2020 al 01/10/2020
 Fecha de Emisión : 01/10/2020

I. Resultados

Código de Laboratorio	203266-01	203266-02	203266-03	203266-04	203266-05	203266-06
Código de Cliente	OS-AS-01	OS-AS-02	OS-AS-03	OS-AS-04	OS-AS-05	OS-AS-06
Fecha de Muestreo	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020	19/09/2020
Hora de Muestreo (h)	07:15	07:30	09:15	10:15	11:15	12:15
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0693329 N 9583070	E 0693497 N 9583172	E 0693658 N 9583231	E 0693889 N 9583394	E 0694186 N 9583540	E 0694435 N 9583623
Tipo de Producto	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial

Lugar de ensayo (Laboratorio Biológico)								
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Microbiológicos								
Fecal Coliform Bacteria	NMP/100 mL	1,8	3,3E+03	7,9E+04	2,3E+04	4,5E+03	4,5E+03	2,7E+04

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. Indicado, "—", = No Analizado.

Código de Laboratorio	203266-07	203266-08
Código de Cliente	OS-AS-07	OS-AS-08
Fecha de Muestreo	19/09/2020	19/09/2020
Hora de Muestreo (h)	08:45	09:00
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0694532 N 9583661	E 0694831 N 9583664
Tipo de Producto	Agua Superficial	Agua Superficial

Lugar de ensayo (Laboratorio Biológico)				
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados	
Microbiológicos				
Fecal Coliform Bacteria	NMP/100 mL	1,8	6,8E+03	1,1E+04

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. Indicado, "—", = No Analizado.

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Microbiológicos		
Fecal Coliform Bacteria	SM 9221 E. / 9221C. Standard Methods 23rd Edition 2017	Enumeration of Fecal Coliforms by MPN method Fecal Coliform Procedure

SIGLAS: "SM": Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017

III. Procedimiento de muestreo

PM-OPE-04 Muestreo en Aguas Rev 09

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años. El tiempo de peribilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y tipo desde la toma de muestra. Está prohibida la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con los datos de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron. Para verificar la autenticidad del presente informe de ensayo solicitar información al correo: info@envirotest.com.pe

** FIN DEL INFORME **

Anexo E. Tríptico – Humedales Artificiales

Los Humedales Naturales

son toda área terrestre que está inundada de agua de manera estacional o permanente. Pueden ser continentales como: lagos, ríos, arroyos, marismas, turberas, lagunas, llanuras de inundación y pantanos. También pueden ser costeros como: todo el litoral, manglares, marismas de agua salada, estuarios, albuferas o lagunas litorales, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral.



Los Humedales Artificiales

Son sistemas construidos por el hombre, con la finalidad de eliminar los contaminantes de las aguas residuales. Por lo general está compuesto por lagunas o canales de poca profundidad (menos de 1m), impermeables y plantado con especies vegetales



Humedales Artificiales

Alternativa ecológicamente amigable para el tratamiento y depuración de aguas residuales



propias de las zonas húmedas, como la caña de azúcar, la espadaña o el papiro entre otros.



¿Porque son Importantes los Humedales Naturales y Artificiales?

- Sirven como sistema de tratamiento de aguas residuales controlando sus parámetros físicos, químicos y biológicos.
- Proporcionan agua dulce para nuestras necesidades básicas (beber, cocinar e higiene), y también para riego.
- Alimenta a la humanidad. El arroz cultivado en los humedales representa el 20% de la alimentación mundial.
- Sirven como medio de protección para prevenir inundaciones y como reservorios de agua para épocas de sequía.
- Son esenciales para la

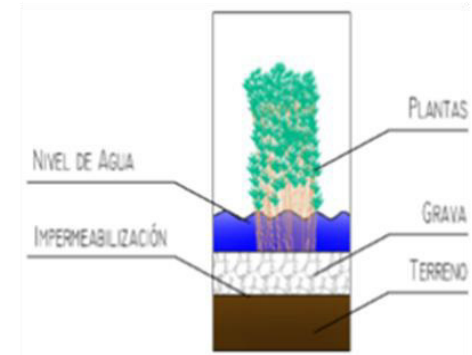
biodiversidad, ya que son hábitat de muchas especies de mamíferos, aves, peces, reptiles y otros, albergando hasta más de 100.000 especies de animales conocidas.

- Proporcionan productos y medios de vida sostenible facilitando actividades como la pesca, agricultura, madera, plantas medicinales, entre otros.
- Los humedales artificiales son soluciones económicas, sencillas y sostenibles que sirven como sistema de tratamiento para las comunidades.

Partes del Humedal Artificial

- **Terreno:** se debe contar con un área de terreno para la instalación del terreno artificial, la cual dependerá de la cantidad de agua que entre diariamente al humedal.
- **Material impermeable:** medio que proporciona la separación entre el sistema y el terreno para evitar la contaminación del suelo y para asegurar el espacio requerido para que funcione el sistema.
- **Grava y Arena:** estos materiales proporcionaran el lecho filtrante requerido por el sistema.

- **Plantas:** son esenciales para retener partículas sólidas, sedimentos y nutrientes.



Principales labores de operación y mantenimiento de los humedales artificiales

- Poda anual o semestral de la vegetación cuando esta empieza a secarse.
- Cambio de lecho filtrante (grava y arena) cada 3 o 4 años.
- Retiro semanal de residuos sólidos grandes (bolsas, cajas, otros).
- Reposición de vegetación (de ser necesario).
- Mantenimiento de los muros.

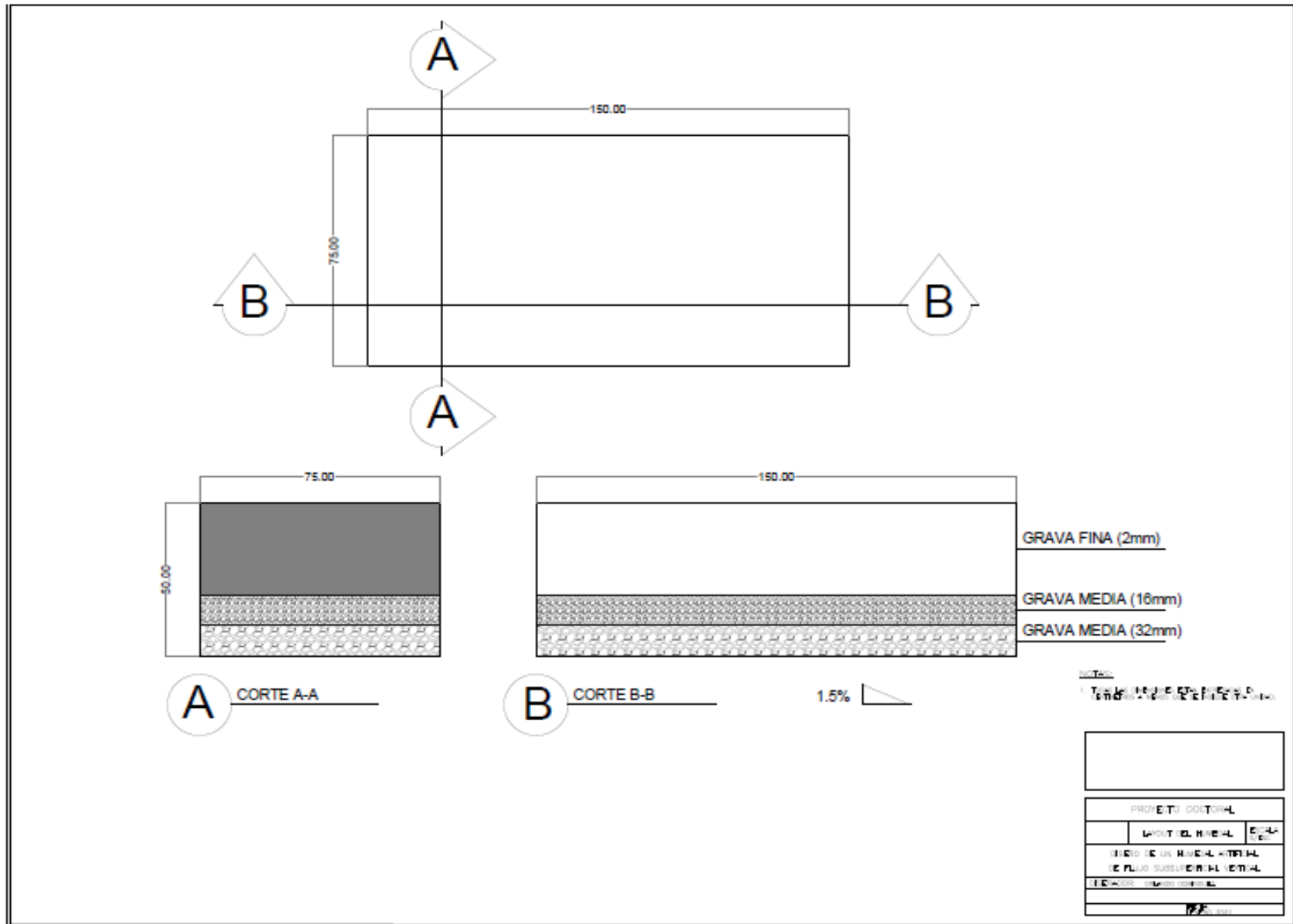
Anexo F. Asistencia a la charla de sensibilización

PLANILLA DE ASISTENCIA

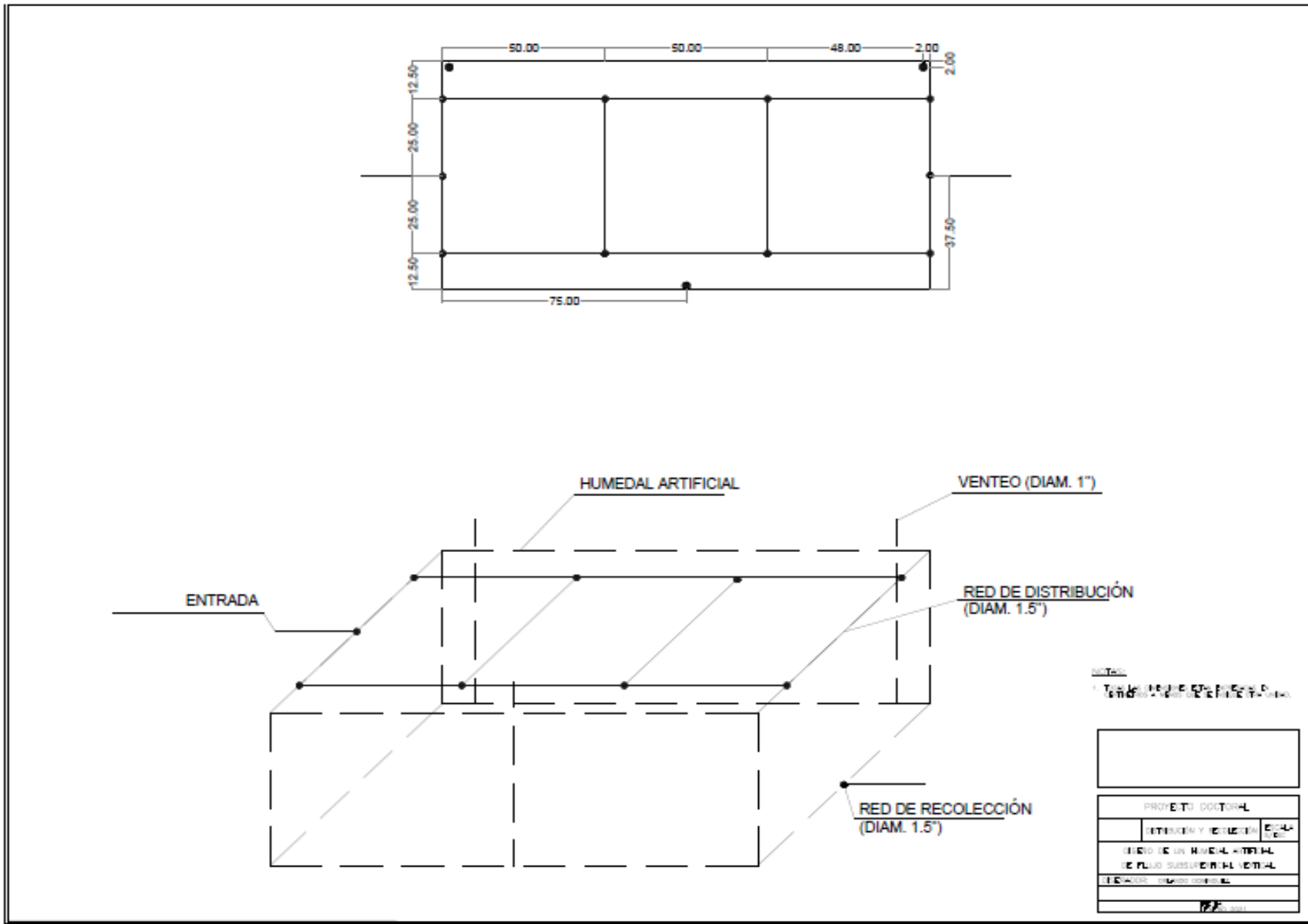
CHARLA DE SENSIBILIZACIÓN
HUMEDALES ARTIFICIALESNombre de la comunidad: AAHH Santa Rosa Fecha 01/12/2020Hora de inicio de la charla 2.20 pm Hora de finalización de la Charla: 2.50 pm

Nº	Nombre	Apellido	DNI	Firma
1	Norelia	Guerra Pacaya	73885924	
2	ROXANA	PACAYA INUMA	74054252	
3	Rosa Patricia	Inuma Yumbata	77015600	
4	Jacira Rosario	Rengifo TAMANI		
5	NANCY	MORI JIPA		
6	ROMAN RODRI	RUIZ PEREZ	05906434	
7	WALTER	TORRES	05377827	
8	Teófilo	Inuma Yumbata	7437608	
9	Elda	Pacaya Pizango	05757347	
10	ROGER	GARCIA UPIACHIMAY	05341371	
11	DIERO	ELVANDOS	77030051	
12	ANGELIKE	UPIACHIMAYALHO	76483310	
13	Roger	GARCIA MORI	74490707	
14	HILDER RAUL	GARCIA LI	48766101	
15	Chayano	Garcia Oliveira	61533614	
16	Carlos Eduardo	Macado del Aguila	73951612	
17	Leci Misteli	MORI CHUTUXIL	43797726	
18				
19				
20				
21				
22				

Anexo H. Layout del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical



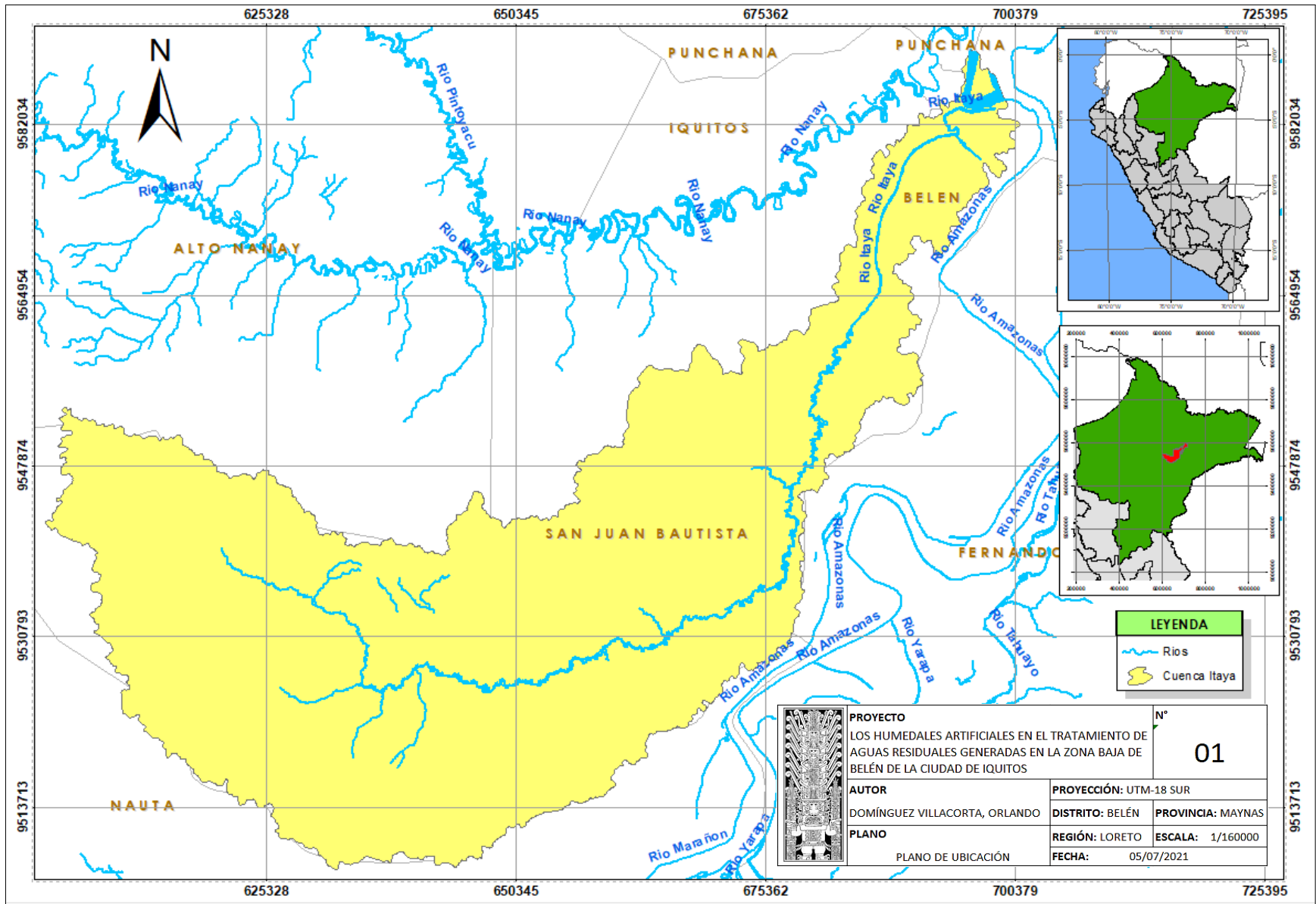
Anexo I. Plano del sistema de recolección y distribución del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical



Anexo J. Presupuesto

Ítem	Concepto	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Total (S/.)
1	Tubería PVC de 1" de 3m	1	4	8
2	Tubería PVC de 1.5" de 3m	2	5	20
3	Codos PVC de 90° de 1.5"	4	1	8
4	Te PVC de 1.5"	4	1	8
5	Pega para tubería PVC	1	18	36
6	Grava fina 2 mm (saco 40 kg)	10	7	140
7	Grava media 16 mm saco 40 kg)	5	7	70
8	Grava media 32 mm (saco 40 kg)	5	7	70
9	Malla impermeable (1 x 75m)	6	12	144
10	Mano de obra	1	145	390
Total				794

Anexo K. Plano de ubicación de la zona de estudio



Anexo L. Plano de ubicación del proyecto

