UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA.

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA.

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.

TEMA:

PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES PARA EL EMPRENDIMIENTO TURÍSTICO DE LISAN WASI, COMUNIDAD SAN PEDRO, PARROQUIA TARQUI,CANTÓN PASTAZA.

AUTOR(ES):

Danny Patricio Rodríguez Zambrano.

Oswaldo Xavier Saraguro Serrano.

DOCENTE - TUTOR:

Msc. Leo Maximiliano Rodríguez Badillo.

Puyo - Pastaza – Ecuador

2022.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100)puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de laidea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que secumplen.	5/5	
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué setrata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	2/5	No presenta el objetivo, no se expresan losprincipales resultados ni conclusiones
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación,vinculación y docencia. Presentación delproblema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	15/20	No se presenta el objetivo de la investigación en la introduccion
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articuladocon los objetivos. Entrega conceptos de términos que sonempleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual conadecuadas fuentes de autoridad.	12/15	Debería ser mas amplia
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con quese abordó la información.	15/15	Adecuada
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		

Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc.Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	20/25	El mapa de ubicación no es claro, se encuentra mal citado, ya que es extraído deotro documento se debe mejorar la redacción
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras yprecisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultadosobtenidos.	7/10	No se muestra una relación con losobjetivos
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas,fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen lafuente en el texto y viceversa.	5/5	Acorde
VALORACIÓN TOTAL	81/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	81/100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:



RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

Ricardo Vinicio Abril Saltos
docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 25 días del mes de Febrero de 2022.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100)puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de laidea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que secumplen.	4/5	Problemas de redacción (nombres propiosen minúscula).
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué setrata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	4/5	Problemas de redacción que dificultan laclaridad y comprensión
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación,vinculación y docencia. Presentación delproblema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articuladocon los objetivos. Entrega conceptos de términos que sonempleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual conadecuadas fuentes de autoridad.	14/15	Problemas de redacción, ortografía,
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con quese abordó la información.	15/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc.Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	22/25	Limitaciones en la notación científica de latabla 1 (en la taxonomía). Existen imprecisiones en los autores de donde fueron tomas los datos de las tablas yfigura (algunos no constan en las referencias) Las figuras no siguen el formato orientado
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras yprecisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultadosobtenidos.	9/10	Formato incorrecto de unidades de medida
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas,fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen lafuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	93/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	93.0

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:

ESTELA GUARDADO

Estela Guardado Yordi

Dado en la ciudad de Puyo, a los 24 días del mes de febrero de 2022.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Puyo, 4 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Danny Patricio Rodríguez Zambrano, con C.I. 2200112635, con el Tema: **"PROPUESTA DE TRATAMIENTOSDE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES PARA EL EMPRENDIMIENTO TURÍSTICO DE LISANWASI, COMUNIDAD SAN PEDRO, PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PASTAZA."**, de la carrera de Ingeniería Ambiental, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 18%, Informe generado con fecha 4 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
LEO MAXIMILIANO RODRIGUEZ BADILLO

Leo Maximiliano Rodríguez Badillo

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Artículo Integración Curricular Saraguro - Rodríguez.docx (D127380245)
Submitted	2022-02-08T17:04:00.0000000
Submitted by	LEO RODRIGUEZ
Submitter email	lrodriguez@uea.edu.ec
Similarity	18.1%
Analysis address	lrodriguez.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGU AS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGA CIÓN, POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA, CIPCA..docx

SA

Document PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGU AS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGA CIÓN, POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA, CIPCA..docx (D54479833)

Submitted by: ppenafiel@uea.edu.ec

Receiver: ppenafiel.uea@analysis.urkund.com

20

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Puyo, 4 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Saraguro Serrano Oswaldo Xavier, con C.I. 1600546988, con el Tema: **"PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES PARA EL EMPRENDIMIENTO TURÍSTICO DE LISAN WASI, COMUNIDAD SAN PEDRO, PARROQUIA TARQUI, CANTÓN PASTAZA.",** de la carrera de Ingeniería Ambiental, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 18%, Informe generado con fecha 4 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
LEO MAXIMILIANO RODRIGUEZ BADILLO

Leo Maximiliano Rodríguez Badillo

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Artículo Integración Curricular Saraguro - Rodríguez.docx (D127380245)
Submitted	2022-02-08T17:04:00.0000000
Submitted by	LEO RODRIGUEZ
Submitter email	lrodriguez@uea.edu.ec
Similarity	18.1%
Analysis address	lrodriguez.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGU AS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGA CIÓN, POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA, CIPCA..docx

SA Document PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGU AS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGA CIÓN, POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA, CIPCA..docx (D54479833) 20

Submitted by: ppenafiel@uea.edu.ec

Receiver: ppenafiel.uea@analysis.urkund.com

Propuesta de tratamientos de aguas residuales por medio de humedales para el emprendimiento turístico de lisan wasi, comunidad san pedro, parroquia tarqui, cantón pastaza.

Danny Patricio Rodríguez Zambrano[1]
Amb2015365@uea.edu.ec
Oswaldo Xavier Saraguro Serrano[2]
Amb2015434@uea.edu.ec
Leo Maximiliano Rodríguez Badillo[3]
lrodriguez@uea.edu.ec
[1]Universidad Estatal Amazónica Paso lateral km 2 ½ vía Tena. Puyo, Ecuador

Resumen.

En las últimas décadas, los humedales artificiales han incrementado a nivel mundial su desarrollo como una tecnología relativamente nueva, económicamente sostenible y amigable con el ambiente para el tratamiento de aguas residuales. El presente estudio tuvo una metodología con enfoque mixto de carácter documental y bibliográfico en la recolección de datos cuantitativos y cualitativos, atreves de él se desarrolló una propuesta de tratamiento de aguas residuales con un sistema de humedal artificial para el emprendimiento turístico de Lisan Wasi, comunidad San Pedro, parroquia Tarqui, cantón Pastaza. Mediante la determinación de especies macrófitas que según su morfología y fisiología pueden ser flotantes y emergentes, se seleccionó las especies *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Phragmites australis* (Carrizo), las mismas que son propicias para el tratamiento de aguas domiciliarias y para una mayor sustentabilidad en el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS), se propuso una prueba piloto mediante la extrapolación de datos de un tratamiento de aguas por medio de humedales artificiales con similitud en el piso climático y la región, usando únicamente el sistema de reja de gruesos debido a que el caudal de tratamiento es muy bajo por lo tanto no necesita de un sistema de reja de finos.

Palabras claves: Humedal artificial, flujo subsuperficial, eficiencia de remoción, tratamiento de aguas, macrófitas.

Abstract.

In recent decades, artificial wetlands have increased their presence as a relatively new technology worldwide, economically sustainable and eco-friendy for residual streams treatment. The present study had a mixed methodology of bibliographic and documentative approach gathering quantitative and qualitative data. Through it, a wastewater treatment proposal was developed with an artificial wetland system for the Lisan Wasi entrepreneurial initiative, San Pedro community, Tarqui, Pastaza. Through the determination of macrophyte species that, according to their morphology a physiology, can be floatin and emergent, the species Euchhornia crassipes (water hyacinth) and Phragmites australis (carrizo) were selected, the same ones tha are conductive to the treatment of domestic water. Lastly for greater sustainability in the design of the subsurface flow artificial wetland (SSFAH), a pilot test was proposed trough the extrapolation of data from a water treatment through artificial wetlands with similary in the climatic floor and the region, using only the treatment flow is very low, so therefore, it does not need a fine screen.

Keywords: Artificial wetlands, Surface flow, Removal Efficiency, Sewage Treatment, Macrophytes.

1. INTRODUCCIÓN.

América Latina es una región rica en recursos de agua dulce, esta agua es utilizada en distintas actividades que las personas realizan de manera cotidiana: tales como la agricultura la industria y servicios domésticos, este último con el 6% de su uso total. Por lo que se considera un recurso indispensable para el ser humano. (CEPAL, 2012).

La Amazonia como tal ha sido uno de las regiones más importantes por contemplar un sistema fluvial tan denso como abasto, poniendo en consideración que casi la mayoría de comunidades étnicas se encuentran fuera del perímetro de los cascos urbanos, se considera que en su mayoría no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales (Bermeo, 1995).

En la comunidad de San Pedro, parroquia Tarqui se sitúa el emprendimiento turístico Lisan Wasi, a partir de las diferentes actividades que se realizan dentro del emprendimiento, se producen distintos contaminantes que afectan a los componentes del ambiente, como por ejemplo la generación de aguas residuales domésticas que son descargadas directamente al río Puyo, provocando la alteración de la calidad del mismo y un impacto visual. Para ello se planteó como objetivo general una propuesta de un

diseño de humedal artificial de flujo subsuperficial, el cual para su mayor veracidad se dispuso una prueba piloto mediante la extrapolación de datos cuantitativos.

Gracias al estudio detallado de organismos como plantas macrófitas que ayudan a la eliminación de contaminantes, mediante un proceso denominado fito depuración, es que los sistemas de humedales artificiales, están tomando mucho más terreno como una tecnología relativamente nueva y ambientalmente sostenible (García Serrano & Corzo Hernández, 2008). Muchas de las veces instalaciones de tratamiento de aguas residuales que son construidas en sectores con una pequeña tasa de población resultan ser ineficaces en su rendimiento o acaban siendo abandonadas por el alto costo de mantenimiento (Balcázar, 2008).

La ventaja de aplicar este sistema como alternativa al tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades, es la depuración de agua, contribuyendo como una alternativa viable que puede aportar valor estético al paisaje con elementos naturales y amigables con el ambiente (López, 2014). Sin la necesidad de requerir a montos abruptos, en cuestiones económicas y que a más de ello este sistema de humedales artificiales no se verá afectados por la variabilidad de caudales representativos de la zona de estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La presente investigación se realizó en el emprendimiento turístico Lisan Wasi, ubicado a 21 km de la ciudad de Puyo con un clima súper húmedo sin déficit de agua, mesotérmico templado cálido entre los 600 a 700 msnm, en la Amazonía ecuatoriana con una población aproximada de 7 familias dentro del emprendimiento de la cultura Kichwa, su principal actividad es el senderismo y la toma de ayahuasca, recibiendo turistas tanto nacionales como internacionales, puesto que en este sector se mantienen las costumbres ancestrales de los pueblos amazónicos.

La investigación de carácter documental y bibliográfico se presentó con un enfoque mixto debido a la obtención de datos cuantitativos y cualitativos, en la misma se aplicó y seleccionó el tipo de plantas con su respectiva taxonomía, el tipo de humedal y la elaboración de un diseño técnico para la propuesta de tratamientos de aguas residuales por medio de humedales de flujo subsuperficial.

Para la determinación de especies vegetales óptimas a los factores climáticos del sector se aplicó el método de investigación bibliográfica, con la ayuda de estudios de macrófitas en humedales artificiales, se pudo tener una correcta interpretación y

aplicación necesaria para la selección de dos especies que potencialicen el sistema de depuración de aguas domesticas del emprendimiento turístico.

Los criterios usados en la selección de las plantas fueron con base en las siguientes características, las mismas que determina el tipo de planta apropiada para la zona de estudio:

Según (Pérez, 2009) Los criterios usados son:

- Fáciles de mantener bajo el clima y la calidad de agua residual de la zona.
- Que sean nativas.
- Fácil de cultivar y propagar en invernadero.
- Perennes.

2.1. Tipos de plantas.

En lo que refiere (Morocho et al., 2019). La especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) es una especie de tipo flotante, puesto que posee bulbos de aire haciéndole permitirse flotar sobre el espejo de agua, además es capaz de eliminar los nutrientes de manera muy modesta ya que en aguas residuales de este tipo su contribución es mayor al 50% de remoción.

Según (Amabilis et al., 2016), en lo que supone al *Phragmites australis (*Carrizo) como especie emergente, es una de las más empleadas en humedales artificiales de flujo subsuperficial por tener buena trasferencia de oxígeno desde las partes en la superficie hasta los rizomas y raíces, favoreciendo el desarrollo de bacterias.

2.2. Tipo de humedal

Se analizó el diseño de humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS). (Salas, 2018) afirma que las aguas residuales generadas en pequeñas aglomeraciones urbanas están recibiendo un correcto tratamiento dentro de los procesos físicos, químicos y biológicos que este sistema de autodepuración ofrece, de la misma manera (López, 2014) da veracidad de las ventajas de aplicar este sistema como alternativa al tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades, como es la purificación de agua naturalmente y contribuyendo como una alternativa viable que puede aportar valor estético al paisaje con elementos naturales y amigables con el ambiente.

2.3. Criterios de implementación para humedales artificiales.

Para la implementación de humedales artificiales se tomó en consideración criterios técnicos como: la cantidad requerida del efluente según el medio receptor, la superficie disponible, la disponibilidad del recurso energético, la naturaleza del agua residual y variación del caudal, etc; en cuestión de criterios ambientales pueden presentarse indicadores como: generación de olores, generación de residuos y en criterios económicos: costes de inversión y explotación (EPSAR, 2017).

2.4. Diseño técnico de la propuesta de tratamientos de aguas residuales por medio de humedales de flujo subsuperficial.

En el diseño adecuado de los humedales artificiales de flujo subsuperficial se debe tener en cuenta variables tanto hidráulicas como cinéticas que permitan integrar no solo las variables hidrodinámicas, sino también el comportamiento de los microrganismos, las plantas y la adherencia al medio de soporte.

2.5. Características de las aguas domésticas.

Las aguas residuales domésticas son generadas en las viviendas que se localizan dentro del emprendimiento turístico Lisan Wasi, las mismas que son potencialmente peligrosas por sus efectos en la salud humana y el ambiente, poseen características físicas como un color gris oscuro, malos olores, solidos suspendidos y restos de materia orgánica debido a las actividades turísticas y gastronómicas del sector.

Para el diseño técnico del humedal artificial se tomó como referencia la prueba piloto de una propuesta de Humedal Artificial con vegetación herbácea de macrófitas para el tratamiento de aguas residuales que se originan por la actividad ganadera del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica, CIPCA (Morocho & Morocho, 2019), realizado en una zona con una similitud climática y en la misma región amazónica. Allí se procedió a emular y extrapolar los datos y resultados de este estudio mencionado en función de características del Emprendimiento turístico Lisan Wasi.

2.6. Prueba piloto.

2.6.1. Canal de Desbaste.

Como lo propone (García & Corzo, 2008), se ha usado únicamente el sistema de Reja de Gruesos debido a que el Caudal de tratamiento es muy bajo por lo tanto no necesita de un sistema de reja de Finos. Como primer punto se fijó un valor de inicio para el ancho del canal entre 0,30 y 3 m dependiendo del

colector de entrada, y luego se determinó el ancho útil. Se dimensionó una reja con barrotes de 20 mm de ancho, 50 mm de luz entre los barrotes y un grado de colmatación de 30 % con la aplicación de cuatro barrotes.

A partir de ancho del canal de 0.3 m establecido en la metodología, se calculó el ancho útil de paso.

Ecuación 1: $Wu = (Ac - n \cdot Ab) \cdot (1 - \frac{G}{100})$

Siendo:

Wu: el ancho útil de paso, en m.

Ac: el ancho de canal, en m. n el número de barrotes.

Ab: el ancho de barrotes, en m.

G: el grado de colmatación, normalmente se utiliza un valor de 30%.

Para el cálculo de la profundidad de colmatación necesario para la planta de tratamiento artificial se estableció el caudal máximo y una velocidad de paso de 0,3 m/s.

Ecuación 2: $h = \frac{Q}{v} \; x \; \frac{1}{Wu}$

Siendo:

h: la profundidad, en m.

Q: el caudal de paso, en $m3$ /s.

v: la velocidad de aproximación, en m/s.

La profundidad que dio como resultado es muy reducida como consecuencia del bajo caudal (m/s) por lo tanto se aproximó a un dimensionamiento más estándar con un resguardo de 0,4 m teniendo esta altura en todo el canal.

Para la longitud del canal, el tiempo de retención fue de10s y una velocidad de paso del agua 0,3 m/s.

$$L = T_h * V$$

Donde:

L: es el largo del canal, en m.

T_h: es el tiempo de retención, en s.

v: es la velocidad de aproximación del agua.

2.6.2. Desarenador.

Una vez obtenido el ancho necesario para el desbaste, se partió de ese valor para dimensionar la zona del desarenador, usando el valor de una velocidad adecuada para que se pueda sedimentar (0,5 m/s), y un tiempo de retención de (60 s), como lo propone en su metodología (Garcia & Corzo, 2008).

En primero lugar, se determinó el largo del Desarenador usando la ecuación 5, tomando en cuenta un valor para la variable relación largo-ancho de 4:

Ecuación 5: $L = W\ relacion\ largo * ancho.$

Posterior a ello se obtuvo la sección transversal del canal mediante la Ecuación 6.

Ecuación 6: $\boldsymbol{A = \frac{Q_{max}}{VH}}$

Siendo:

A: la sección trasversal, en m.

Qmax: el caudal máximo, en m3 / h.

VH: la velocidad horizontal del agua, en m/s.

Según (García & Corzo, 2008) usando la ecuación 7 y el valor obtenido en la ecuación 6, se calcula la profundidad o calado.

Ecuación 7: $h = \frac{A}{W}$

Siendo:

h: el calado, en m.

A: la sección trasversal, en m.

W: el ancho del canal, en m.

2.6.3. Dimensionamiento biológico.

Para realizar el dimensionamiento biológico se siguió la "Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Su superficial" (Garcia & Corzo, 2008). Esta guía, divide el dimensionamiento en dos partes: en la primera se determinó la superficie necesaria de tratamiento (dimensionamiento biológico) y en la segunda se estableció dimensiones geométricas (dimensionamiento hidráulico).

Para el dimensionamiento de la superficie necesaria para el humedal artificial utilizaremos la siguiente ecuación:

Ecuación 9: $S = \frac{Q}{K_A}\ In\ [\frac{C_0}{C_1}]$

Siendo:

S la superficie del humedal, en m.

Q el caudal, en m3 / s.

k_A la constante, varía según el contaminante.

C0 la concentración de DBO5 inicial.

C1 la concentración de DBO5 que quiero llegar.

2.6.4. Dimensionamiento hidráulico.

Sirve para determinar las dimensiones del sistema (anchura y longitud) una vez conocida su superficie (Garcia & Corzo, 2008). Se calculó la sección transversal del humedal aplicando la ecuación E10, con un valor de conductividad hidráulica de 1000 m 3 /m2 ·d para gravas de diámetro 5 mm, con una reducción de 5 (factor de seguridad) y una pendiente del lecho de 0,01 m/m.

Ecuación 10: $Ar = \frac{Q_{med}.d}{k_s.S}$

Siendo:

AT: la sección del humedal trasversal a la dirección del flujo, en m.

Qmed.d: el caudal medio diario, en m3 / d.

Ks: la conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, en m3 / m ·d.

S: es el gradiente hidráulico o pendiente (dh / dL), en m / m.

Una vez calculada el área de la selección transversal y a su vez determinada la profundidad se determinó el ancho aplicando:

Ecuación 11: $W = \frac{AT}{h}$

Siendo:

W: el ancho, en m.

H: la profundidad, en m.

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determinó la longitud del sistema con la siguiente ecuación:

Ecuación 12: $L = \frac{S}{W}$

Siendo:

L: la longitud, en m.

S: superficie.

W: profundidad.

3. Resultados y discusión.

La selección de especies vegetales macrófitas se las selecciono de acuerdo a los criterios establecidos dentro de los materiales y métodos.

Tabla 1: Resultados de especies vegetales *Eichhornia crassipes* y *Phragmites australis* para humedales artificiales.

Resultados de especies vegetales para humedales artificiales.		
Especies	**Características**	**Taxonomía**
Eichhornia crassipes (jacinto de agua)	• Es colonizadora. • Se adapta a las condiciones climáticas de la zona. • Es capaz de eliminar nutrientes de manera modesta.	**Reino:** Plantae **División:** Magnoliophyta **Clase:** Liliopsida **Orden:** Commelinales **Género:** Eichoornia
Phragmites australis (Carrizo)	• Se adapta perfectamente a las condiciones hídricas de los humedales. • Tiene buena trasferencia de oxígeno. • Los tallos percolan el agua.	**Reino:** Plantae **División:** Magnoliophyta **Clase:** Liliopsida **Orden:** Poales **Género:** Phragmites

Elaborado por: Rodríguez Danny & Saraguro Oswaldo, (Morocho et al., 2019)

Por su potencial de remoción de sólidos en suspensión, la especie más importante dentro del grupo de las macrófitas flotantes para la región amazónica es la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) ya que las hojas en la superficie minimizan el efecto de una posible resuspensión y a través de la sedimentación de partículas los elementos orgánicos se eliminan predominantemente; en cambio (Martelo & Lara Borrero, 2012) afirma que dentro de este grupo, la especie de mayor importancia es *Lemma minor* (Lenteja de agua), esto de acuerdo a su distribución universal, pues se ha encontrado en varias regiones de los hemisferios norte y sur, incluyendo América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda.

Como lo menciona (Vidal & Hormazabal, 2018) debido a su capacidad de adaptación y propagación las especies de plantas macrofitas emergentes más utilizadas son: *Typha latifolia, Scirpus y Phragmites,* siendo esta ultima la seleccionada como parte del humedal artificial, el Carrizo o (*Phragmites australis*) por su adaptación fácil a la altitud excepto en alta montaña y a climas diversos, por su eficiencia en transferir oxígeno. (Pérez, 2013) asevera que esta planta emergente posee una alta capacidad de fotosíntesis y crecimiento potencializando la autodepuración en un menor tiempo.

A continuación, se presentan más detalladamente algunos criterios de implementación para humedales artificiales:

Tabla 2: Criterios de Implementación para humedales artificiales.

Criterios de implementación para humedales artificiales.	
Criterio.	**Indicador.**
Criterios técnicos	• Calidad requerida del efluente según el medio receptor. • Carga contaminante equivalente influente. • Superficie disponible. • Disponibilidad de recursos energéticos. • Naturaleza del agua residual (domesticas/urbana/industrial). • Variación de caudal y/o carga contaminante. • Meteorología. • Gestión del fango generado. • Complejidad de explotación.
Criterios Ambientales.	• Generación de olores. • Generación de residuos. • Integración paisajística.
Criterios Económicos.	• Costes de inversión. • Costes de explotación.

Elaborado por: Rodríguez Danny & Saraguro Oswaldo, (EPSAR, 2017).

A continuación, para los resultados de la propuesta de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales se tomó en cuento las características de las aguas residuales domiciliarias y el caudal de paso respectivo para lograr dar veracidad con datos del emprendimiento turístico en la prueba piloto mencionada en la metodología.

Tabla 3: Resultados de las fases estructuradas en la prueba piloto.

Resultados canal de Desbaste
$Q = \frac{49\ m^3}{2500\ s} = 0{,}14\frac{m^3}{s}$
$Wu = (0{,}3m - 4\,.\,0{,}020m).\left(1 - \frac{30}{100}\right) = 0{,}17m$
$h = \frac{0{,}014\frac{m^3}{s}}{0{,}3\ \frac{m}{s}}\ \text{x}\ \frac{1}{0{,}17\ m} = 0{,}27\text{m}$
$L = 10\text{s}\,.\,0{,}3\ \frac{m}{s} = 3\ m$
$L = 0.5m * 3 = 2m$
$A = \frac{[(5{,}4\frac{m^3}{h})/3600]}{0{,}2\frac{\text{m}}{s}} = 0{,}0075m^2$
$\text{h} = \frac{0.0075\text{m}^2}{0.3\ \text{m}} = 0.025\text{m}$
Resultados del Dimensionamiento Biológico.
$S = \frac{5\frac{m_3}{d}}{0{,}08\ \frac{m}{d}}\ In\left[\frac{819\frac{mg}{l}}{50\frac{mg}{l}}\right] = 174{,}75m^2$
Resultado del Dimensionamiento Hidráulico.
$A_T = \frac{5\frac{m_3}{d}}{\left(\frac{1000\ m_3}{5m_2}\ .d\right) * 0{,}01\ \frac{m}{m}} = 2{,}5\ m^2$
$W = \frac{2{,}5\ m^2}{0{,}27\ m} = 9{,}3\ m$
$L = \frac{174{,}75\ m^2}{9{,}3\ m} = 18{,}79m$

Elaborado por: Rodríguez Danny & Saraguro Oswaldo, (Morocho & Morocho, 2019)

Los resultados de los parámetros analizados el ancho útil de paso del canal de desbaste es de 0.17m, para la profundidad de colmatación es 0.27m, la longitud del canal de desbaste con un valor de 3m. Los resultados para los parámetros analizados en el largo del desarenador son de 2m, posterior a ello se obtuvo un área transversal de 0.0075m^2**,**

~~para la profundidad o calado un valor de 0.025m. Los resultados de la superficie del~~ humedal del dimensionamiento biológico es 174.75 m^2, y por último el área, ancho y longitud de la sección transversal con valores de 2.5m2, 9.3m y 18,79 m indistintamente.

A continuación, se presenta gráficamente la ubicación del humedal artificial de flujo subsuperficial en el emprendimiento turístico Lisan Wasi.

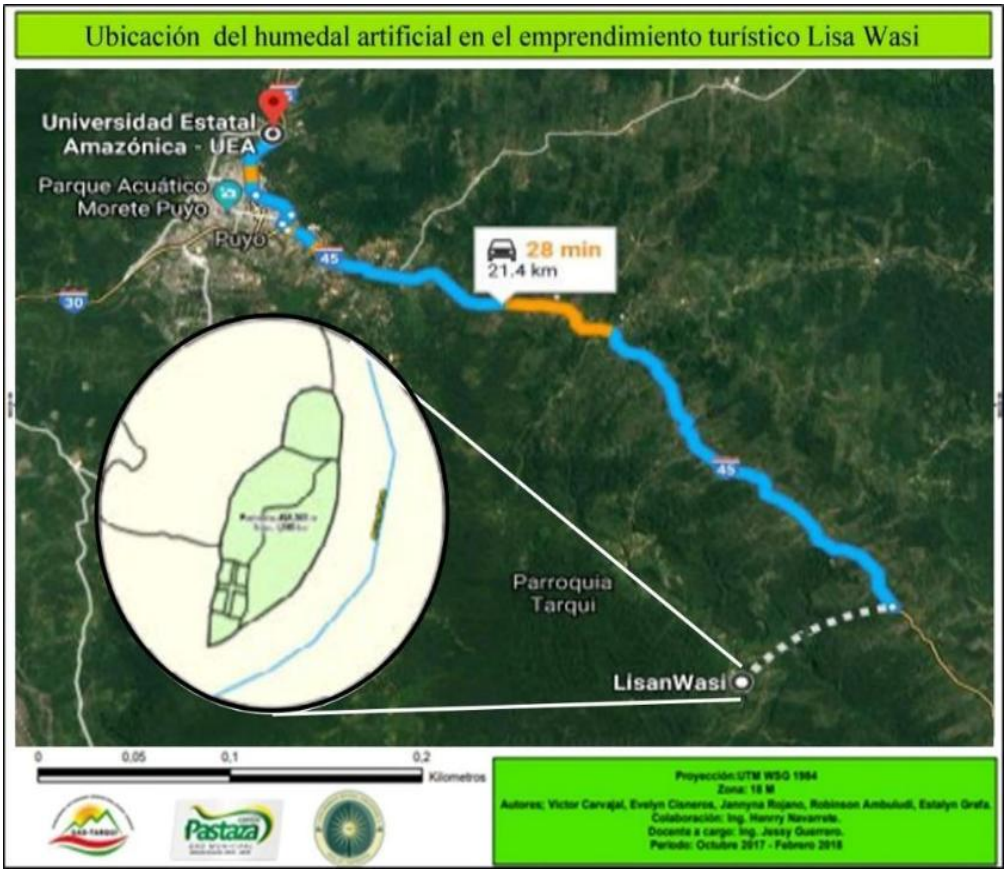

Figura 1.- Centro turístico Lisan Wasi.

Elaborado por: Rodríguez Danny & Saraguro Oswaldo (Orejuela & Vargas, 2018)

4. Conclusiones.

La propuesta de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales se llevó a cabo mediante el uso de especies herbáceas macrófitas puesto que estas potencializan en la depuración de las aguas residuales domesticas como es el caso de la especie flotante *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) ya que las hojas en la superficie minimizan el efecto de una posible resuspensión y a través de la sedimentación de partículas los elementos orgánicos se eliminan predominantemente. Así mismo la especie emergente *Phragmites australis* (Carrizo) que tiene un efecto significativo por su rápida adaptación y elevados índices de recuperación en estas aguas residuales de tipo domésticas.

Los humedales de flujo subsuperficial operan dentro del sistema de depuración por medio de tratamientos secundarios o terciarios, casi siempre precedidos por algún tipo de pre-tratamiento (tratamiento primario), por medio de este sistema se pueden obtener mejores resultados en la remoción de contaminantes característicos de las aguas domesticas en una pequeña población sin requerir el implemento de una planta tradicional de aguas residuales, que en ocasiones tienen costos muy altos en términos de mantenimiento y operación.

Para la propuesta de tratamiento de aguas residuales se ha usado únicamente el sistema de Reja de Gruesos debido a que el Caudal de tratamiento es muy bajo por lo tanto no necesita de un sistema de reja de Finos. Como primer punto se fija un valor de inicio para el ancho del canal entre 0,30 y 3 m dependiendo del colector de entrada, y luego se determina el ancho útil. Se dimensionará una reja con barrotes de 20 mm de ancho, 50 mm de luz entre los barrotes y un grado de colmatación de 30 % con la aplicación de cuatro barrotes. Los resultados de la superficie del humedal del dimensionamiento biológico es 174.75 m^2, y por último el área, ancho y longitud de la sección transversal para el dimensionamiento hidráulico con valores de 2.5m2, 9.3m y 18,79 m indistintamente.

5. Referencias bibliográficas.

Amabilis, L., Siebe, C., Moeller, G., & Durán, M. (2016). Remoción de mercurio por Phragmites australis empleada como barrera biológica en humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes a metales pesados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *32*(1), 47-53.

Asamblea Nacional Constituyente. (2014). *Registro Oficial No. 305 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.pdf*. Http://ppless.asambleanacional.gob.ec/alfresco/d/d/workspace/spacesstore//RegistroOficialNo.305LeyOrgdeRecursosHidricos,UsosyAprovechamientodelAgua.pdf

Balcazar, C. (2008). *Agua y saneamiento para las zonas marginales urbanas de América Latina.pdf*. Https://documents1.worldbank.org/curated/en/pdf/Medellin.pdf

Bermeo, R. (1995). *El sistema fluvial amazónico: Su importancia*. Https://core.ac.uk/download/.pdf

CEPAL. (2012). *Water and a Green Economy in Latin America and the Caribbean*. 54.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artifi ciales*. Https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf

EPA. (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo subsuperficial*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf

EPSAR. (2017). *Criterios de diseño y construcción de humedales artificiales aplicados en la EPSAR - PDF Free Download*. Https://docplayer.es/64020208-Criterios-de-diseno-y-construccion-de-humedales-artificiales-aplicados-en-la-epsar.html

Fernández, J., Beascoechea, E. De M., & Muñoz, J. De M. (2006). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Https://fundacionglobalnature.org/content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf

Garcia, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos*. 108.

García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Https://upcommons.upc.edu/handle/2117/2474

Llagas, W. A., & Gómez, E. (2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. 12.

López, O. (2014). *Diseño de unidad piloto de humedales artificiales de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales domesticas en el campus umng-cajicá con fines de reusó*. 79.

Martelo, J., & Lara Borrero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: Una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, *8*(15), 221-243. Https://doi.org/10.17230/ingciencia.8.15.11

Ministerio del Ambiente. (2015). *Edición Especial Nº 316—Registro Oficial—Lunes 4 de mayo de 2015*. 80.

Morocho, D., Morocho, J., & Peñafiel, P. (2019). *Propuesta de humedal artificial con vegetación herbácea para el tratamiento de aguas residuales que se originarán por la actividad ganadera en el centro de investigación, posgrado y conservación amazónica, CIPCA.* 86.

Orejuela, K., & Vargas, A. (2018). *Diálogo de Saberes entre el Modelo Educativo de la Carrera de Turismo y la Cosmovisión de la Comunidad Kichwa Lisan Wasi, para el Desarrollo del Turismo Local.* 79.

Ortiz, D. (2011). *Manual de tratamientos biológicos de aguas residuales para poblaciones medianas de la región sur del Ecuador*. Https://library.co/document/manual-tratamientos-biologicos-residuales-poblaciones-medianas-region-ecuador.html

Pérez, E. (2009). *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango.* Https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/TesisMa.ElenaPérez.pdf

Perez, M. (2013). *Ficha de Iris sibirica*. Botánica Y Jardines. Http://www.botanicayjardines.com/iris-sibirica/

Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida. (2021). *Plan Nacional de Desarrollo Toda Una Vida 2017—2021.pdf*. Https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/PlanNacionaldeDesarrolloTodaUnaVida2021.pdf

Rodríguez Latorre, A. (2017). *Diseño de un humedal artificial para el municipio de Arcos de las Salinas (Teruel)*. Https://riunet.upv.es/handle/10251/89917

Salas, J. (2018, julio 2). *Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales*. Https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales

Vidal, G., & Hormazabal, S. (2018). *Humedales-construidos-_diseño-y-operación.pdf*. Http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2018/09/humedales-construidos-_diseño-Y-operación.pdf

6. Anexos.

6.1. Fundamentación teórica

6.1.1. Aguas residuales.

En las aguas residuales se puede encontrar combinaciones variables de compuestos físicos, químicos y biológicos. Los sólidos suspendidos o disueltos, poseen partículas que las identifican como tal, ya que proceden de los desechos de grasas, aceites, materia orgánica y compuestos inorgánicos. Además del nitrógeno, fósforo y otros nutrientes que forman parte de la composición que se genera como resultado de la intervención por parte de virus, bacterias y otros patógenos contaminantes (Rodríguez Latorre, 2017).

6.1.2. Características de las aguas residuales.

El agua posee características físicas, químicas y biológicas que permiten establecer límites permisibles de contaminación en el agua para los diferentes usos de consumo humano:

6.1.2.1. Características Físicas.

Según (Delgadillo et al., 2010) por medio de los parámetros físicos se puede obtener un resultado aproximado de la calidad del agua residual, así como de los procesos o de los resultados del tratamiento proporcionado, entre los parámetros medibles, de manera más detallada, encontramos principalmente los siguientes:

- Solidos Totales.
- Temperatura.
- Turbidez.
- Color.

- Olor.
- Ph.
- Alcalinidad del Agua.
- Conductividad Eléctrica.

6.1.2.2. Características Químicas.

Son de gran importancia en los análisis de aguas residuales las características o propiedades químicas del agua ya que debido a su interacción con el suelo se producen alteraciones en la composición natural del agua, por lo que se considera necesario tomar en cuenta estos cambios para poner mantener un equilibrio y evitar posibles problemas en la naturaleza de sistema que se quiere aplicar un tratamiento (Ortiz, 2011), encontramos principalmente los siguientes:

- Componentes de la materia Orgánica.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- Demanda Química de Oxígeno.
- Nitratos y nitratos.
- Fosfatos.

6.1.2.3.Características Biológicas.

Las aguas residuales, dependiendo de la concentración y composición, pueden contener gran cantidad de organismo. En este punto influyen la presencia de la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere valores determinados de estos parámetros para desarrollarse.

Encontramos principalmente los siguientes:

- Coliformes totales.
- Coliformes fecales.

6.1.3. Fito depuración.

La Fito depuración es la reducción, eliminación y o descontaminación de agentes patógenos presentes en las aguas residuales, realizada en los sistemas de humedales naturales o artificiales, la participación de plantas

acuáticas en un complejo conjunto de procesos fisicoquímicos y biológicos (Fernández et al., 2006).

6.1.4. Humedales artificiales (HA).

Los HA constan de una o más cuencas o canales de poca profundidad que tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación (paso lento de fluidos a través de materiales porosos) al agua evitando una contaminación del agua sub superficial, además contienen una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación macrófitas emergente selecciona. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y salida para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección (EPA, 2000).

6.1.4.1. Humedal artificial flujo Subsuperficial.

Estos sistemas se aplican en hogares u otros edificios que no estén conectados a una planta de tratamiento de aguas negras, donde exista el espacio disponible. Los sistemas de tratamiento de agua por humedales artificiales requieren extensas áreas de terreno en relación a los sistemas convencionales, también proporcionan un hábitat para la vida silvestre, y que son estéticamente agradables a la vista (Llagas & Gómez, 2006).

6.2. Marco Legislativo.

6.2.1. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.

Registro Oficial Nº 305 – Segundo Suplemento, del 06-08-2014 (Asamblea Nacional Constituyente, 2014) Menciona en sus artículos:

Art. 80. – Establece que: “Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.”

Art. 151. – Considera como una infracción administrativa muy grave, en materia de recursos hídricos, el: “Verter agua contaminadas sin tratamiento o substancias contaminantes en el dominio hídrico público”.

6.2.2. Acuerdos ministeriales.

Acuerdo Ministerial No 061. De Registro Oficial No 316 y de fecha 04 de mayo de 2015, sección III calidad de componentes abióticos, parágrafo I, del agua.

Art 211. - La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (TULSMA).

6.2.3. Norma técnica para el control de descargas de aguas residuales.

De acuerdo al inciso 3.3 "Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecido en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia" (Ministerio del Ambiente, 2015).

6.2.4. Plan nacional de desarrollo 2017 – 2021. Toda una vida.

Según el (Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida, 2021) Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 – Toda Una Vida /secretaria nacional de Planificación y Desarrollo, 2017-2021), en relación al Eje 1 (Derecho para todos durante toda la vida), se estipula lo siguiente:

De acuerdo al objetivo 3. "Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones", en la política 3.4: "Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global." Y en sus metas: "Incrementar el porcentaje de aguas residuales con tratamiento adecuado a 2021" e "Incrementar el número de municipios que depuran las descargas de agua antes de verterlas al ambiente, a 2021".