

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO
“BENEDICTO XVI”
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE



**HUMEDAL ARTIFICIAL HORIZONTAL PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, UTILIZANDO TRES
MODELOS MATEMÁTICOS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR

Br. Rodriguez Rodriguez, Nancy Vannesa

<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

ASESOR

Dr. Ing. Saldaña Milla, Fernando Aristedes

<https://orcid.org/0000-0002-7274-6974>

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Nombre de la línea en minúsculas

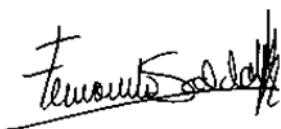
TRUJILLO - PERÚ

2025

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura:

Yo, Saldaña Milla Fernando Arístides con DNI N° 18135414, como asesor del trabajo de investigación titulado “HUMEDAL ARTIFICIAL HORIZONTAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, UTILIZANDO TRES MODELOS MATEMÁTICOS”, desarrollado por la egresada Nancy Vannesa Rodriguez Rodriguez con DNI 70653801; del Programa de estudios de Ingeniería Ambiental; considero que dicho trabajo reúne las condiciones tanto técnicas como científicos, las cuales están alineadas a las normas establecidas en el Reglamento de Titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en la normativa para la presentación de trabajos de graduación de la Facultad Ingeniería y Arquitectura. Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por los jurados designados por la mencionada facultad.



Dr. Ing. Saldaña Milla Fernando Arístides

DNI: 18135414

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

EXCMO. MONS. ALFREDO VISCARRA MORI, S. J.

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

Gran Canciller

Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

DR. MARCOANTONIO PACHERRES TORREJÓN

Rector de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

DRA. SILVIA VALVERDE ZAVALETA

Vicerrectora académica

DRA. GINA ZAVALETA ESPEJO

Vicerrectora de Investigación

MG. ING. HENRY CHIPANA SALDAÑA

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

DRA. TERESA SOFÍA REATEGUI MARIN

Secretaria General

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la vida, salud, bendiciéndome y guiándome en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber ubicado en mi trayectoria a aquellos que han sido mi apoyo y acompañamiento durante el periodo escolar.

A mis padres.

Por su apoyo absoluto y el reconocimiento del sacrificio que han realizado, además han sabido formarme con valores y que a través de sus consejos y apoyo permiten que cumpla mis metas.

Nancy Vannesa Rodriguez Rodriguez

Autor

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la vida, la salud e iluminar nuestra mente y colocar en el camino a las personas idóneas que han sido fortaleza en el transcurso de nuestra carrera universitaria.

A mi familia por su apoyo absoluto en cada paso de mi vida y que me ha permitido culminar satisfactoriamente.

A nuestros docentes, por contribuir a nuestro desarrollo personal y profesional, con valores, conocimientos científicos para hacer frente a la vida profesional. Y de manera especial a mi asesor, Dr. Ing. Fernando Aristides Saldaña Milla, por su apoyo e impulsarme en el desarrollo del proyecto de investigación.

Nancy Vannesa Rodriguez Rodriguez

Autor

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Nancy Vannesa Rodriguez Rodriguez con DNI 70653801 , egresada del Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, doy fe que he seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: “ **HUMEDAL ARTIFICIAL HORIZONTAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, UTILIZANDO TRES MODELOS MATEMÁTICOS**”, el cual consta de un total de 110 páginas, en las que se incluye 24 tablas y 2 figuras, más un total de 5 páginas en anexos.

Dejo constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaro, bajo juramento y en cumplimiento de los principios éticos, que el contenido del documento es de mi exclusiva autoría en cuanto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizo que los fundamentos teóricos están debidamente sustentados en fuentes bibliográficas, asumiendo la responsabilidad de cualquier omisión involuntaria en la citación de autores.

En este sentido, declaro/declaramos que el uso de herramientas de inteligencia artificial en el presente trabajo se ha limitado exclusivamente a la mejora de la redacción y corrección de errores gramaticales y sintácticos, sin que ello haya influido en la generación del contenido, análisis o interpretación de los resultados de la investigación.

Del mismo modo, reconozco que cualquier vulneración a los derechos de autor derivada del presente trabajo será de mi exclusiva responsabilidad, asumiendo las consecuencias académicas y legales que pudieran derivarse conforme a la normativa vigente.



Nancy Vannesa Rodriguez Rodriguez

DNI 70653801

ÍNDICE

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD	i
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	vi
ÍNDICE	vii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Límites máximos permisibles (LMP)	18
2.1. Enfoque, tipo y diseño de investigación	19
2.2. Participantes de la investigación.....	19
2.3. Población, muestra y muestreo	20
2.4. Técnicas e instrumentos de recojo de datos.....	20
2.5. Técnicas de procedimiento y análisis de la información	22
2.6. Aspectos éticos en investigación	22
III. RESULTADOS	23
3.1. Presentación y análisis de los resultados	23
3.1.1. Modelo de REED	20
3.1.2. Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT).....	22
3.1.3. Modelo de Kadlec y Knight (2K).....	23
3.2. Resultados de los cálculos de los trabajos de investigación	24
3.2.1. Cálculo del trabajo de investigación N.º 01	24
Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT), 1998.....	25
Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996	26
3.2.2. Cálculo del trabajo de investigación N.º 02	27
3.2.3. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 03	30
3.2.4. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 04	33
3.2.5. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 05	36
3.2.6. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 06	38
Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998.....	40
Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996	41
3.2.7. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 07	42
Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 08	45
3.2.8. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 09	47
3.2.9. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 10	50
Modelo de crites y tchobanoglous (CT) 1998	51
Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996	52
3.2.10. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 11	53
3.2.11. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 12	56
3.2.12. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 13	60
3.2.13. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 14	63
3.2.14. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 15	67
3.2.15. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 16	70
3.2.16. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 17	73

Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 18	77
3.2.17. Diseño de los humedales artificiales subsuperficiales del flujo horizontal	92
IV. DISCUSIÓN.....	96
V. CONCLUSIONES.....	98
VI. RECOMENDACIONES.....	99
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.	18
Tabla 2 Identificación de las variables.....	19
Tabla 3 Diagnóstico y análisis de datos	11
Tabla 4 Características físicas del medio filtrante en humedales horizontales.....	21
Tabla 5 Parámetros para la estimación de la constante KA según la temperatura.....	23
Tabla 6 Dimensiones de los humedales artificiales	80
Tabla 7 Parámetros de diseño del humedal artificial de flujo horizontal.....	84
Tabla 8 Análisis de varianza área superficial del humedal artificial de flujo horizontal	84
Tabla 9 Análisis de varianza	85
Tabla 10 Comparación del área superficial del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC	86
Tabla 11 Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC	86
Tabla 12 Análisis de varianza de un factor tiempo de retención	86
Tabla 13 Análisis de varianza	87
Tabla 14 Comparación del tiempo de retención del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC	87
Tabla 15 Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC	88
Tabla 16 Análisis de varianza de un factor, largo del humedal artificial de flujo horizontal	88
Tabla 17 Análisis de varianza	88
Tabla 18 Comparación del largo del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC	89
Tabla 19 Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC	89
Tabla 20 Análisis de varianza de un factor, ancho del humedal artificial de flujo horizontal	90
Tabla 21 Análisis de varianza	90
Tabla 22 Comparación del área superficial del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC	91
Tabla 23 Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC	91
Tabla 24 Parámetros de diseño del humedal artificial de flujo horizontal, utilizando el modelo de Crites y Thonaboglous, 1998	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procedimiento del análisis de información.	21
Figura 2 Diseños del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal modelo de Crites y Tchobanoglous, 1998.	94

RESUMEN

La investigación realizada tuvo como propósito principal el diseño de un humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Para esto, se utilizaron tres modelos matemáticos: REED, CRITES y KADLEC. La metodología se basó en un análisis exhaustivo de la literatura técnica, seguido por el cálculo comparativo de parámetros hidráulicos y estructurales importantes, como el área superficial, el tiempo de retención hidráulica y las dimensiones del humedal. Se recolectó información relevante sobre las características de entrada del sistema, que incluyó el caudal, la carga orgánica (DBO_5), la temperatura y la porosidad del medio. Después, se aplicaron los tres modelos elegidos, obteniendo resultados cuantitativamente que permitieron comparar sus diferencias técnicas, el análisis estadístico realizado con ANOVA y la prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre los modelos, siendo el modelo de CRITES el más significativo el valor del estadístico F fue de 4920.38, superando ampliamente el valor crítico de 5.14, con un p-valor de 2.26×10^{-10} , que demostró mayor eficiencia hidráulica, logrando un tiempo de retención de más de 4 días y un área de tratamiento más extensa, mientras que los otros modelos REED y KADLEC son factibles en condiciones específicas lo que los hace ideales para situaciones donde hay limitaciones de espacio. A partir de los resultados, se concluye que el modelo CRITES es el más recomendable para optimizar la eficiencia del tratamiento, mientras que los otros modelos son factibles en condiciones específicas. Este estudio aporta al desarrollo de soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas residuales en áreas rurales y periurbanas, promoviendo el uso de tecnologías naturales que son económicas y de fácil mantenimiento.

Palabras claves: *humedales artificiales, parámetros de diseño y modelos matemáticos*

ABSTRACT

The main objective of this research was to design a horizontal subsurface flow constructed wetland for the treatment of domestic wastewater. For this purpose, three mathematical models were used: REED, CRITES, and KADLEC. The methodology was based on an exhaustive review of technical literature, followed by the comparative calculation of key hydraulic and structural parameters such as surface area, hydraulic retention time, and the physical dimensions of the wetland. Relevant input data for the system were collected, including flow rate, organic load (BOD_5), temperature, and media porosity. The three selected models were then applied, yielding quantitative results that allowed for a technical comparison. The statistical analysis using ANOVA and the Tukey test revealed significant differences among the models, with the CRITES model standing out. The F-statistic value was 4920.38, well above the critical value of 5.14, with a p-value of 2.26×10^{-10} , indicating superior hydraulic efficiency. This model achieved a retention time of over 4 days and a larger treatment area. In contrast, the REED and KADLEC models were found to be feasible under specific conditions, making them suitable for situations where space is limited. Based on the results, it is concluded that the CRITES model is the most advisable for optimizing treatment efficiency, while the other two models are viable under certain constraints. This study contributes to the development of sustainable solutions for wastewater treatment in rural and peri-urban areas, promoting the use of natural, low-cost, and easy-to-maintain technologies.

Keywords: *artificial wetlands, design parameters and mathematical models*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la falta de plantas de tratamiento y la deficiencia del manejo de aguas residuales que se generan en las ciudades, las industrias, la explotación minera, agrícola y ganadera ocasionan un gran volumen de aguas contaminadas, las cuales en su gran mayoría son descargadas directamente en los lagos, ríos o mares, generando efectos altamente perjudiciales en la sostenibilidad de los cuerpos receptores, la salud de las personas, la economía y al medio ambiente.

A nivel global, es posible que “más del 80% de las aguas residuales sean vertidas a los cuerpos receptores de agua sin un tratamiento adecuado, afectando peligrosamente a las comunidades rurales pobres que dependen de la pesca de agua dulce” (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2016). En los países ricos tratan poco más o menos del 70% de aguas residuales que generan, mientras que los países con rentas medio-altas tratan el 38% en los países con rentas medio-bajas se llega a tratar un 28% y en los países pobres solo recibe algún tipo de tratamiento un 8% de sus aguas residuales industriales y municipales (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017).

La problemática en el Perú, respecto a las deficiencias del tratamiento de las aguas residuales, ha provocado serios problemas en el ecosistema acuático, problema que se agrava por las descargas de aguas residuales no tratadas o con tratamientos incompletos después de ser vertidos los efluentes al océano pacífico, la contaminación es inminente e impide la pesca artesanal y algunos deportes acuáticos, como la natación y la recreación poblacional, siendo así que hay alternativas biológicas como los humedales artificiales que de acuerdo a los parámetros del agua residual y al cálculo de los parámetros del humedal, logran bajar los niveles de contaminación.

El Perú hasta el año 2012 vertía aproximadamente 2,217 946 m³ al día de aguas residuales, descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS) entre ellos, solo 709.743 m³ son tratadas, representando solo el 32% del total de aguas residuales generadas (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014), cada habitante en el Perú genera 142 litros de aguas residuales al día. Según el (Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA], 2014), “hasta el año 2012 solo 16 regiones del país realizaron tratamiento de aguas residuales, las regiones de Ayacucho y Lambayeque

siendo las más eficaces”. Además, nueve regiones no realizaron tratamiento alguno de las aguas residuales, una de ellas es la región de Amazonas.

Si la eficiencia del tratamiento convencional de aguas residuales no es factible, se podría tratar con humedales artificiales desde la captación del agua residual hasta su tratamiento, usando una tecnología ecológica y de bajo costo, cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles (LMP). Este tratamiento de las aguas residuales se basa en técnicas naturales de depuración sin requerimiento de aditivos químicos, eliminando las sustancias contaminantes a través del uso de vegetación acuática, sustrato y microorganismos.

Para la presente investigación se planteó como problema general:

- ¿Cuáles son los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando tres modelos matemáticos?

Como problemas específicos realizamos las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la información con respecto a los parámetros de diseño en humedales artificiales?
2. ¿Cuáles son los tres modelos matemáticos que calculen los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas?

Los objetivos de la investigación se pretenden alcanzar a través de la revisión sistemática de los trabajos de investigación, en la base de datos y como como objetivo general se determinó lo siguiente:

- Diseñar un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando tres modelos matemáticos.

Y como objetivos específicos:

1. Realizar la búsqueda sistemática de información con respecto a los parámetros de diseño en humedales artificiales.
2. Seleccionar tres modelos matemáticos que calculen los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Como hipótesis general se planteó lo siguiente:

El diseño de un humedal artificial horizontal utilizando modelos matemáticos permite establecer parámetros técnicos adecuados para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Hipótesis específicas:

H0: Si existen diferencias significativas entre los valores de las variables de diseño (área superficial, tiempo de retención, largo y ancho del humedal) obtenidas a partir de la aplicación de los tres modelos matemáticos.

H1: No existen diferencias significativas entre los valores de las variables de diseño (área superficial, tiempo de retención, largo y ancho del humedal) obtenidas a partir de la aplicación de los tres modelos matemáticos.

Respecto a los antecedentes del proyecto, se encontró los siguientes:

Llagas y Guadalupe (2006) en una publicación realizada por la “Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG”, UNMSM denominada “Diseño de humedales de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM” tuvieron como objetivo diseñar un humedal artificial de flujo superficial libre, con el propósito de mitigar la contaminación, las aguas residuales a tratar fueron provenientes del alcantarillado de la ciudad universitaria y se evaluó la reducción de la DBO en función del tiempo de retención y de la temperatura, logrando una eficiencia de disminución del 60-80% de DBO con un tiempo de retención de 2 días y a 30 °C.

Romero et al. (2009) en su trabajo de investigación “tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica” evaluó el porcentaje de remoción de la materia orgánica de aguas residuales en humedales artificiales de flujo horizontal para su tratamiento se implementó un sistema en tres módulos de manera secuencial y con dos especies vegetales *Phragmites australis* (carrizo), *Typha dominguensis* (totora), los humedales artificiales estuvieron situados a la salida de un primer tratamiento y contenían aguas residuales municipales. Se evaluaron los parámetros de Demanda Química de Oxígeno, fósforo total y conteo de bacterias, obteniendo una eficiencia de 95,73% de DQO y baja eficiencia en fosforo total, no obstante, en el análisis microbiológico tuvo bajas concentraciones Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Andreo (2014) en su trabajo de tesis “Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas” ejecutó un sistema compuesto por una depuradora de oxidación total como un decantador, separador primario y un humedal de flujo subsuperficial horizontal usando “*Phragmites australis* y un humedal de flujo superficial”. El tratamiento de aguas residuales tratadas a través de los humedales cumplió con los parámetros establecidos por la legislación, para ser vertidas y reutilizadas durante el primer año, para el segundo año no cumplió su función, el problema lo solventó mediante un sistema de destilación y luz ultravioleta logrando buenos resultados en el tratamiento de aguas residuales y su respectiva reutilización.

Lu et al. (2015) En su trabajo de investigación “Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial Wetteland”. Realizaron el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial multicapa, con el objetivo de lograr alta eficiencia en el tratamiento, mediante un sistema de humedal de flujo superficial se analizaron los efectos de eliminación de la “Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), nitrógeno y fosforo”, se lograron buenos resultados en la remoción de los parámetros evaluados, el agua residual doméstica tratada fue utilizada para el riego de cultivos.

Rabat y Trapote (2016) en su trabajo de investigación “Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración” tuvo como objetivo diseñar humedales artificiales utilizando modelos matemáticos, a través de la revisión bibliográfica aplico los parámetros requeridos, de acuerdo con los parámetros calculo y diseño los humedales artificiales, logrando encontrar diferencias mínimas en la estructura de los tres modelos matemáticos a consecuencia de que no se utilizó la misma base de datos de ingreso para el cálculo .

Saavedra (2017) en su trabajo de tesis “aplicación de macrófitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP” tuvo como objetivo construir depuradoras que sean accesibles en costo, sostenibles y eficaces, empleo un filtro con macrófitas flotantes en la laguna secundaria de la planta de tratamiento de la Universidad de Piura (UDEP). Con el sistema se logró mitigar las deficiencias de las lagunas de estabilización que provocan la eliminación de sólidos flotantes, la materia orgánica y que tienen influencia en la eficacia del efluente.

Gómez (2017) en su trabajo de tesis “evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas servidas” evaluó la eficacia de los humedales artificiales verticales utilizando macrófitas para el tratamiento de aguas residuales, ambas demostraron buena eficiencia de remoción de parámetros físico-químicos “Turbiedad (99.4-99.0%); Nitrógeno amoniacal (98- 93%); Fósforo total (9189%); DBO (98-96%); DQO (92-90%); SST (88-85%); Coliformes fecales (99-91%); Nitrógeno total fue 48-56%”, el agua tratada demostró que si puede ser vertida a un cuerpo de agua.

Almuktar et al. (2018) En su trabajo de investigación “Wetteland for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review” en esta investigación se analizó la insuficiencia de agua a nivel global, además se enfocó en el propósito del tratamiento de aguas residuales, a través del uso de los humedales artificiales que posee grandes ventajas en términos de costos de mantenimiento y energía, y en eliminación de contaminantes, compuesto orgánicos y sólidos suspendidos. Es importante conocer las particularidades de las aguas a tratar ya que según sus características se decide sobre el diseño de los humedales artificiales donde se desarrollará su tratamiento.

Rojas y Purihuamán (2018) en su trabajo de investigación “tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales de flujo subsuperficial en la comunidad de Santa Rosa bajo, Distrito de Chota” tuvieron como objetivo tratar las aguas residuales domésticas utilizando la especie vetiver en humedales artificiales, luego del tratamiento se compararon los parámetros de entrada y salida mediante los análisis de laboratorio el efluente del humedal artificial redujo contaminantes; determinando la eficiencia de la especie vetiver para el procesos de depuración de los contaminantes el efluente si cumple con los LMP de la normativa del DS N° 003-2010- MINAM.

Yalan et al. En una publicación realizada por folia Amazónica (2018) “Disminución de la tasa de mortandad de peces ornamentales para exportación por medio de la recirculación de las aguas efluentes con humedales artificiales en la región Loreto, Perú”. Realizaron un control del porcentaje de peces que murieron por estrés, debido a la calidad del agua; los resultados que obtuvieron de mortalidad de peces utilizando humedales artificiales, fueron prósperos y pasan el proceso para ser comercializados, obteniendo beneficios económicos y a la vez reducir la tasa de mortandad.

Pulcha y Valencia (2019) realizaron una tesis titulada “Evaluación de la degradación de contaminantes eco tóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales” cuyo objetivo fue valorar la reducción en los niveles de concentración de contaminantes eco tóxicos (nitrato, “amonio” y “iones metálicos” también “cobre” y “plomo”) mediante un humedal artificial piloto de flujo superficial. Se analizaron parámetros para su diseño y probaron con las especies como totora y carrizo. Luego que las aguas residuales fueron tratadas redujeron el nivel de concentración significativamente, además, cumplían con los LMP para la descarga en un cuerpo de agua, según lo establecido por las normas vigentes.

Bustamante y Pérez (2019) realizaron una tesis titulada “Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco *Typha sp* y vetiver *Chrysopogon zizanioides* en el distrito de Saposoa” donde evaluó la eficacia de la remoción de los contaminantes con junco y vetiver de las aguas residuales. Evaluaron los parámetros físico – químicos y biológicos, ambas especies resultaron ser eficientes con un porcentaje de salida de 78% de (DBO), y 78% de (DQO) con junco por otro lado, se obtuvo 89% de (DBO) y 90% de (DQO) con la especie vetiver a los 51 días. Además, la temperatura fue de 29°C para ambas especies, y el pH de 6.8.

Zuse et al. (2019) realizaron una investigación titulada “Hybrid constructed wetlands system with intermittent feeding applied for urban wastewater treatment in South Brazil” donde tuvieron como objetivo construir humedales artificiales de flujo vertical y horizontal, donde evaluaron DQO, SST, NTY NH₄, a los 10 realizaron las muestras para verificar los resultados y la eficiencia de los humedales, siendo así que obtuvieron un buen porcentaje de remoción de los parámetros analizados en DQO en un 70%, sst 90%, NT 69% Y NH₄ 91%, siendo así que el efluente cumplió con las establecidas para ser vertido al medio ambiente ya sea a un cuerpo de agua o para riego.

Birhanie et al. (2021) en su trabajo de investigación titulado “Developing horizontal subsurface flow constructed wetland using pumice and *Chrysopogon zizanioides* for tannery wastewater treatment” tuvieron como objetivo seleccionar las plantas adecuadas y eficientes que degraden los contaminantes tóxicos de la curtiduría, para eso se diseñó un humedal artificial utilizando como sustrato la piedra pómez, y se analizaron los parámetros físico químicos del agua contaminada antes y después del tratamiento en cuatro tiempos distintos de retención hidráulica, siendo así que se obtuvo una eficiencia máxima de remoción en

DBO5 96,42% y DQO 96,30%, esto indica que los humedales artificiales tienen alta eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Respecto a las bases teóricas, se describe a continuación:

Las aguas residuales suelen definirse como “aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad necesitan un tratamiento previo, antes de ser vertidas o reusadas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (OEFA, 2014, p. 2)

Los humedales artificiales son como “sistemas de ingeniería, diseñados y construidos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales” (ITRC, 2003).

Para el diseño de un humedal artificial de flujo horizontal es necesario modelos matemáticos.

El tratamiento o depuración de aguas residuales se debe principalmente a Procesos físicos, como precipitación y filtración y procesos biológicos, en la descomposición, absorción, adsorción y otras sustancias químicas.

Estos modelos se basan en datos empíricos del sistema que ya se han construido en la realidad y basado en estos sistemas construidos, se obtiene Fórmulas matemáticas expresada en forma simplificada el funcionamiento de humedales artificiales.

Respecto al modelo de REED, 1995 este método volumétrico fue planteado por Reed SC, Crites RW y Middlebrooks en su trabajo titulado “Natural Systems for Waste Management and Treatment”, donde menciona que los humedales pueden tomarse en cuenta como reactores biológicos basado en su rendimiento que se asemeja al descrito por la cinética de primer orden de un reactor de flujo a pistón.

Según Crites et al. (2006) el modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) indica que es un modelo volumétrico y que se basa en parámetros de ingreso.

Este modelo Modelo de Kadlec and Knight (1996) basado por la carga superficial se planteó en 1996, basándose que los humedales artificiales, que a consecuencia del aumento de microorganismos dan lugar al crecimiento de nueva materia orgánica, indicando que gran parte quede retenido en el propio humedal, mientras que el resto saldrá del sistema,

empeorando la calidad final de los efluentes. La expresión que define este método es idéntica que, para los humedales superficiales, lo único que varían son los parámetros KT y C* (Kadlec et al., 2000).

1.1. Límites máximos permisibles (LMP)

“El límite máximo permisible es el rango de concentración de sustancias, elementos o parámetros físicos, químicos y biológicos que forman parte y caracterizan la descarga del agua, que al exceder provoca daños en la salud de los seres vivos y ambiente” (Decreto Supremo N° 003-2010)

Tabla 1

Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100m L	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
Ph	Unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota: límites máximos permisibles para efluentes de PTAR para que sean vertidos a un cuerpo de agua.

II. METODOLOGIA

2.1. Enfoque, tipo y diseño de investigación

Según Hernández et al. (2014, p.286), El objetivo de la investigación aplicada es obtener nuevos conocimientos técnicos y aplicarlos a problemas específicos de manera inmediata. Este tipo de investigación se basa en los hallazgos de la investigación básica, y estos hallazgos dependen de las necesidades sociales a abordar.

Esta investigación es de tipo aplicada porque busca comprender y resolver un problema práctico a través del diseño de una solución técnica de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La presente investigación es de diseño cuantitativo, no experimental ya que reside en observar y calcular los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal a través, de tres modelos matemáticos y a partir de ello diseñar los humedales artificiales horizontales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Tabla 2

Identificación de las variables

Variable independiente	Variable dependiente
Parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal	Modelos matemáticos

2.2. Participantes de la investigación

Según Hernández, et al. (2014, p. 291) afirman que los participantes son fuentes internas de datos porque permiten la recopilación y análisis de datos, asimismo, los investigadores pueden desempeñar el papel de participantes.

Para recopilar estudios que pudieran proporcionar más información de humedales artificiales, se buscó exhaustivamente la literatura científico-tecnológica, en Science Direct, Web of Science, Ebsco, Scielo dicha base de datos se utilizó para copilar dicha investigación, además se tuvo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión: las investigaciones cumplan con los parámetros de diseño de humedales artificiales.

Criterios de exclusión: que las investigaciones no contengan los parámetros de diseño de humedales artificiales.

2.3. Población, muestra y muestreo

La población de este estudio incluye 80 investigaciones científicas en el país e internacionalmente relacionada con el diseño de humedales artificiales horizontalmente y el tratamiento de aguas residuales, Estos estudios se han seleccionado utilizando búsquedas sistemáticas en base de datos académicas especializadas, como Science Direct, Web of Science, Scopus, Scielo y Ebsco, dadas a aquellos que representarán especificaciones de diseño, como caudal, DBO₅, temperatura, porosidad del medio, dimensiones del humedal y tiempo de retención hidráulica.

La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, en el que se eligieron 18 investigaciones que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos.

Población: 80 investigaciones

Muestra: 18 investigaciones

2.4. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

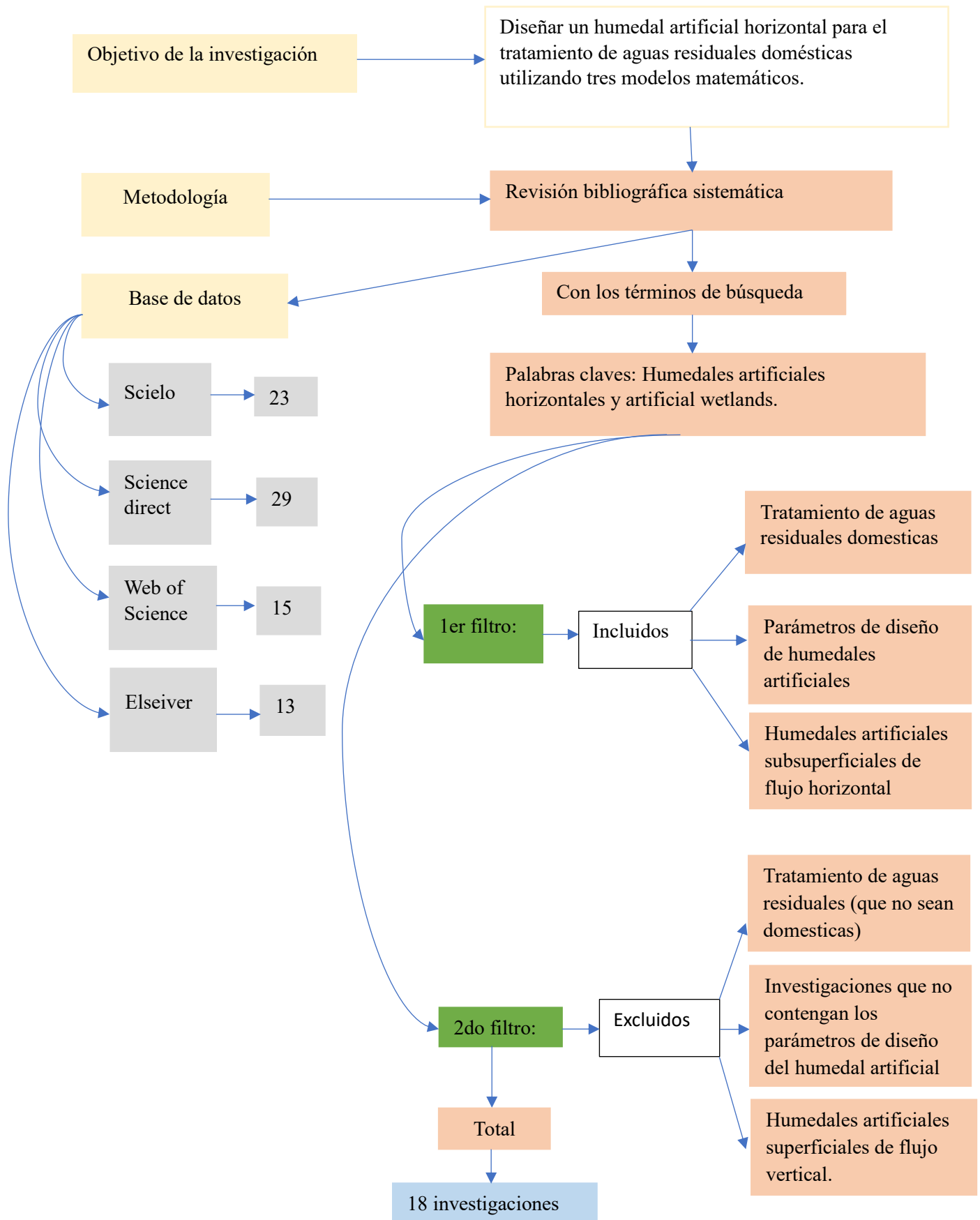
La técnica de recolección de datos utilizada fue la revisión sistemática de información para luego hacer el análisis documental, con el instrumento de recolección de datos correspondiente y se creó un protocolo para evaluar las investigaciones publicadas, el criterio principal de exclusión fue que las investigaciones no proporcionen los parámetros necesarios para el diseño de un humedal artificial horizontal, como temperatura, caudal y DBO₅.

Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos serán establecidos en tablas y analizados cuantitativamente, se aplicará un análisis estadístico mediante el ANOVA de un factor, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre los modelos. En caso de hallarse diferencias, se aplicará una prueba post hoc (Tukey) para identificar específicamente qué modelos difieren entre sí.

Figura 1.

Procedimiento del análisis de información



El procedimiento metodológico de la presente investigación toma métodos cuantitativos y aplica metodologías de investigación bibliográfica, además las investigaciones son de carácter científico y aplicado y se encuentran en revistas indexadas.

La investigación se establece en dos fases, la primera fase reside en la búsqueda de la información utilizando palabras claves como: “humedales artificiales” y “aguas residuales” siendo así se puede encontrar información en diferentes páginas web o revistas que investigan en este idioma, la segunda fase consistió en la recopilación de datos, en este diagnóstico preliminar se encontró trabajos de investigación a escala real o de laboratorio con información relevante y con datos precisos sobre los parámetros de diseño de humedales artificiales o “Artificial wetlands” y “sewage water” como la búsqueda sistemática de información respecto a los parámetros de diseño de humedales artificiales, para luego ser calculados con los tres modelos matemáticos a cada uno de los trabajos seleccionados y verificar la eficiencia del humedal, el costo del humedal, asimismo, diseñar los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal, utilizando los tres modelos matemáticos.

Los 18 trabajos de investigación seleccionados fueron calculados a través de las fórmulas de los tres modelos matemáticos.

2.5. Técnicas de procedimiento y análisis de la información

Los datos serán organizados en tablas y analizados cuantitativamente, se aplicará un análisis estadístico mediante el ANOVA de un factor, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre los modelos. En caso de hallarse diferencias, se aplicará una prueba post hoc (Tukey) para identificar específicamente qué modelos difieren entre sí.

Y para el diseño de los humedales artificiales se utilizó el programa Autodesk Revit 2024.

2.6. Aspectos éticos en investigación

El propósito de esta investigación fue proteger los derechos de propiedad intelectual de los autores respecto de diversas teorías y hallazgos, citarlos adecuadamente e indicar las fuentes bibliográficas, protegiendo al mismo tiempo la información e identidad de la mayoría de las personas involucradas.

III. RESULTADOS

3.1. Presentación y análisis de los resultados

En este apartado se presentan y analizan los resultados obtenidos del diseño de un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal, utilizando tres modelos matemáticos: REED, CRITES y KADLEC, los parámetros evaluados incluyen: área superficial, tiempo de retención, largo y ancho del humedal, los cuales fueron calculados y comparados a partir de condiciones de diseño homogéneas para los tres modelos.

Los resultados obtenidos se resumieron en tablas y se evaluaron descriptiva y estadísticamente.

OE1. Realizar la búsqueda sistemática de información con respecto a los parámetros de diseño en humedales artificiales.

Tabla 3

Diagnóstico y análisis de datos

N.º de Trabajo de investigación	Título de la investigación	Autor de la investigación	Especie vegetal	Q (m³/Día)	Área (m²)	Tiempo (días)	Concentración inicial del DBO ₅ (mg/L)	Concentración final del DBO ₅ (mg/L)	% Remoción del dbo5	SST		% Remoción de SST
										Inicial	Final	
1	"Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con <i>Phragmites australis</i> "	(Quipuzco, 2010)	<i>Phragmites australis</i>	2.4	2	10	347.83mg/l	51.68mg/l	85	460.98 mg/l	5.08 mg/l	98.9
2	"Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash - Perú, usando	(Lovera et al., 2011)	<i>Phragmites australis</i>	3	58.5	5	57.7mg/l	30mg/l	48	58.5mg/l	5.7mg/l	93.3

	tecnologías de humedales artificiales"											
3	“Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial” "Humedales artificiales en el	(Villarroe l, 2011)	<i>Typha sp</i>	0.342	1.13	39	91.61mg/l	6.88mg/l	92.49	240mg/l	40mg/l	83.33
4	tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick"	(Minchola y Ventanilla, 2013)	<i>Phragmites australis</i>	0.3	2	10	36.8mg/l	9.8mg/l	73	69.33mg/l	11mg/l	84

5	"Sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la comunidad campesina de ocopa - distrito de Lircay" "Propuesta de diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales con fines de riego en la ciudad universitaria - UNSCH - 2014"	(Perez, 2013)	<i>Typha</i>		20.154 m3	12x6x1.5	125	95	24.00 %	147	96	34.69 %
6		(Lapa, 2014)	<i>Typha</i>	26.78	4	30	120mg/l	14.86mg/l	87.6	1150.12 mg/l	66.8mg/l	55.5
7	"Propuesta de tratamiento de aguas residuales"	(Carbajal, 2014)	<i>Bambusa sp</i>	0.4	156.25		446	186	58.2	1407.5	557.5	60.4

	domésticas implementan do un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando <i>Bambusa</i> sp en la finca el recreo ubicado en Tauramena, Casanare"		<i>Helicona psittacorum</i>	0.4	156.25	5	446	24	94.6	1407.5	516.25	63.3
8	"Aplicación de humedal artificial con macrófitas flotantes en la recuperación de las aguas residuales domésticas, Moyobamba - San Martín"	(Abache y Flores, 2014)	<i>Eichhornia crassipes</i>	3	3.63	10	232 mg/L	98 mg/L	57.76	195 mg/L	122 mg/L	37.4
9	"Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de	(Ramirez, 2015)	<i>Cyperus papyrus</i>	7500 l/dia	4	3	230	20	91.3	300	12	96

10	humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales" "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando <i>Cyperus alternifolius</i> y <i>Chrysopogon zizanioides</i> para el tratamiento de aguas servidas". "Tratamiento de aguas residuales domesticas con la especie Vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) en Humedales	(Gómez, 2017)	<i>Cyperus alternifolius</i>	2.88	15	42	91.61mg/l	1.3mg/l	98.6m	25.53mg/l	2.76mg/l	89.2
			<i>Chrysopogon zizanioides</i>	2.88	15	42	91.61mg/l	3.31mg/l	96.4	25.53mg/l	3.28mg/l	87
11		(Rojas, 2017)	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	0.05	0.8	32	113 mg/L	30,30 mg/L	72.9	152,00 mg/L	25.59 mg/L	83.2

	artificiales en la Comunidad de Santa Rosa Distrito Chota 2017"											
12	"Evaluación del vetiver (<i>CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES</i>) Y LA ELEFANTA (<i>PENNISETUM PURPUREUM</i>) en la caracterización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domesticas"	(Carbajal, 2017)	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	0.04	0.018	20	149.13	28.12	81.1	121.65	35.36	70.9
			<i>Beaucarnea recurvata</i>	0.04	0.018	2	90.63	15.88	82.5	76.37	17	77.7

13	“Tratamiento de aguas residuales domesticas con la especie <i>vetiver</i> (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) en humedales de flujo subsuperficial” "Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales subsuperficiales con macrófita <i>Alocasia macrorrhizos</i> (orejas de elefante) en la urbanización los tulipanes –Chosica, Lima"	(Rojas y Purihuaman, 2017)	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	0.05	0.4	10	113mg/L	49.8 mg/L	55.9	152	6.8	95.5
14		(Castro et al., 2017)	<i>Alocasia macrorrhizos</i>	0.33	0.034	3	41 mg/L	15.58 mg/L	62	390	226	56.5

15	"Eficiencia del tratamiento de las aguas domesticas mediante HAFSV con la especie <i>Zantedeschia</i> en Viquez - Lurigancho Perú"	(Castro et al., 2018)	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	57.89m3 /dia	1.2m2	6	5	2.5	50%	260	230	11.5
16	"Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies <i>Junco Typha sp</i> y <i>vetiver chrysopogon zizanioides</i> en el distrito de Saposoa".	(Bustamante y Pérez, 2019)	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	3	3	44	247 mg/L	26 mg/L	89.5	106 mg/L	6 mg/L	94.3

17	"Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales en la comunidad nativa Teoria - Satipo, en el año 2020"	(Mesa, 2020)	<i>chrysopogon zizanioides</i>	0.252	5.85	5	230	80	65.2	254	52	79.5
18	"Alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial para reúso agrícola"	(Gutierrez et al.; 2022)	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	7.8	370.6	4.51	80	10	87.5	110	30	72.7

Nota. Análisis de la información de los trabajos de investigación

En la tabla N.º 3 Se observa los parámetros de diseño de humedales artificiales de flujo horizontal que han sido utilizados para su diseño, para el caso de la primera categoría el tipo de análisis los humedales artificiales se presentan en subcategorías; humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal, tipo de planta, caudal, área, tiempo de retención, concentración inicial de DBO₅, concentración final de DBO₅, concentración inicial de Sólidos Suspendidos Totales, concentración final de sólidos suspendidos totales y la eficiencia de remoción de DBO₅ y Sólidos Suspendidos Totales. Para este tipo de análisis se tuvieron en cuenta los criterios de inclusión: agua residual doméstica, parámetros de diseños del humedal artificial y humedales artificiales de flujo horizontal, con la finalidad que estos criterios permitirán seleccionar información de los artículos científicos necesarios que demuestran los resultados que pertenece a esta categoría y por lo tanto cumple con los fines previstos; en ese sentido, los dieciocho trabajos que cumplen con los parámetros de diseño de humedales artificiales serán calculados a través de tres modelos matemáticos.

OE2. Seleccionar tres modelos matemáticos que calculen los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En esta sección se muestra los tres modelos matemáticos seleccionados para el cálculo de los parámetros de diseño los de los dieciocho trabajos seleccionados.

3.1.1. Modelo de REED

$$KT = K20(1.06)^{(t2 - 20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

As: Área superficial del humedal (m²)

Q: Caudal promedio (m³/día)

Co: Concentración de la DBO en el afluente (mg/L)

Ce: Concentración de la DBO en el efluente (mg/L)

Kt: Constante de primer orden (velocidad de reacción) dependiente de la temperatura (1/día)

n: Porosidad del material que forma el sustrato (fracción decimal)

h: profundidad del sustrato (m)

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{(As)(h)(n)}{Q} \text{ Ecuacion 3}$$

Mediante los datos obtenidos se procede a calcular las dimensiones del H.A; ancho (W) y largo (L).

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * As}{m * Ks} \right) \exp(0.5) \text{ Ecuacion 4}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/día)

h: Profundidad (m)

As: Área superficial (m²)

Ks: Conductividad hidráulica del medio en unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo en m³/m²*día. (Tabla 4)

m: pendiente del lecho del H.A

Tabla 4

Características físicas del medio filtrante en humedales horizontales.

Tipo de Material	Tamaño efectivo mm	Conductividad Hidráulica Ks/m³/m²/d	Porosidad n %
Arena gruesa	2	100-1.000	28-32
Arena Grava	8	500-5.000	30-35
Grava fina	16	1.000-10.000	35-38
Grava media	32	10.000-50.000	36-40
Roca gruesa	128	50.000-250.000	38-45

Nota. Tomado de Crites y Tchobanoglous (1998)

Largo (L) del humedal artificial

$$L = \frac{As}{w} \quad \text{Ecuación 5}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Dm-m: Distancia entre macrófita y macrófita, (m)

L: longitud total, (m)

W= Ancho mínimo, m

3.1.2. Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT)

Se calcula la constante de velocidad (Kt) mediante la siguiente ecuación

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t - 20)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K20^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{\exp(28 - 20)}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{Ce}{Co}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

Área superficial del H.A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Q: caudal (m³/día)

TRH: Tiempo de retención hidráulica

h: altura del humedal

n: porosidad del lecho filtrante

Entonces se calcula:

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

Largo.

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

3.1.3. Modelo de Kadlec y Knight (2K)

$$KA = K20 \theta T \exp(T - 20) \quad \text{Ecuación 14}$$

KA: Constantes superficial cinética de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

K20: Constante superficial de velocidad de reacción a 20 °C

θT : Factor de corrección por temperatura (Tabla 5)

T: Temperatura del agua en el humedal (°C)

Tabla 5

Parámetros para la estimación de la constante KA según la temperatura

K20	θ	Temperatura (°C)
0	1	0
1.0	1.15	0-1
0.1367	1.15	1-10
0.2187	1.048	más de 10

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{Co}{Ce} \right) \quad \text{Ecaución 15}$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAsh}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

n: Porosidad del lecho filtrante

As: Áreas superficial

h: altura del humedal

Q: Caudal

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{Ks}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

Ks: Conductividad hidráulica

m: Pendiente del lecho filtrante = 1%

Sustituyendo:

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

3.2. Resultados de los cálculos de los trabajos de investigación

3.2.1. Cálculo del trabajo de investigación N.º 01

Modelo de REED, 1995

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$KT = 1.104(1.06)^{\exp(26.10 - 20)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$KT = 1.57$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$As = \frac{2.4(\ln 347.83 - \ln 51.68)}{(1.57)(0.35)(0.95)}$$

$$As = 8 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{(As)(h)(n)}{Q} \quad \text{Ecuacion 4}$$

$$TRH = \frac{(8)(0.95)(0.35)}{2.4}$$

$$TRH = 1.10 \text{ dias}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * As}{m * Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuacion 5}$$

$$w = \frac{1}{0.95} \left(\frac{2.4 * 8}{0.01 * 500} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 2.06 \text{ m}$$

Largo (L) del humedal artificial

$$L = \frac{8}{2.06} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L = 3.90 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$Np \left(\frac{3.90}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{2.06}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 21$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT), 1998

Se calcula la constante de velocidad (Kt) mediante la siguiente ecuación

$$KT = K20(1.06)^{t-20} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K20^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{26.10-20} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$KT = 1.74/\text{dia}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{Ce}{Co}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{347.83}{51.68}\right)}{1.74}$$

$$TRH = 1.09 \text{ días}$$

Área superficial del H.A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$As = \frac{(2.4)(1.09)}{(0.95)(0.35)}$$

As = 8 m² Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = \sqrt[2]{8/3}$$

$$W = 1.63\text{m}$$

Largo.

$$W = \frac{As}{L} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$L = \frac{8}{1.63}$$

$$L = 4.9 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$Np \left(\frac{4.9}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.63}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 19$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K20 \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\exp(26.10 - 20)} \quad \text{Ecuacion 16}$$

$$KA = 0.29/\text{dia}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{Co}{Ce} \right) \quad \text{Ecaución 17}$$

$$AS = \frac{2.4}{0.29} \ln \left(\frac{347.83}{51.68} \right)$$

$$AS = 15 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs}{Q} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(15)(0.95)}{2.4}$$

$$TRH = 2.07 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{2.4}\right)(0.01)} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$At = 1.15 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$W = \frac{1.15}{0.95}$$

$$W = 1.21 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$L = \frac{15}{1.21}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$Np \left(\frac{12}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.21}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 32$$

3.2.2. Cálculo del trabajo de investigación N.º 02

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{(t-20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{(20-20)} \quad \text{Ecuación}$$

$$Kt = 1.104$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$As = \frac{3(\ln 57.7 - \ln 30)}{1.104 \cdot 0.487 \cdot 0.45}$$

$$As = 8.11 \text{ m}^2$$

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot As}{Q} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$TRH = \frac{0.49 * 0.45 * 8.6}{3}$$

$$TRH = 0.49 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * As}{m * Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuacion 5}$$

$$w = \frac{1}{0.45} \left(\frac{3 * 8.11}{0.01 * 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 1.55 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA:

$$L = As / W \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L = \frac{As}{w}$$

$$L = \frac{8.11}{1.55}$$

$$L = 5.23 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$Np \left(\frac{5.23}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.55}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 19.87$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K20(1.06) \exp(t - 20) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K20^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$KT = 1.225(1.06) \exp(20 - 20) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$KT = 1.225/\text{DIA}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{Ce}{Co}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{57.7}{30}\right)}{1.225}$$

$$TRH = 0.53 \text{ DIAS}$$

Área superficial del H.A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$As = \frac{(3)(0.53)}{(0.45)(0.40)}$$

$$AS = 8.83 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{AS/R} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = \sqrt[2]{(8.83)/(3)}$$

$$W = 1.72 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{AS}{W} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$L = \frac{8.83}{1.72}$$

$$L = 5.13 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$Np \left(\frac{5.13}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.72}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 22$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\exp(20 - 20)} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$KA = 0.2187/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$AS = \frac{3}{0.2187} \ln \left(\frac{57.7}{30} \right)$$

$$AS = 8.97 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{n_{Ash}}{Q} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$TRH = \frac{(0.40)(8.97)(0.45)}{3}$$

TRH = 0.53 días

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$At = \frac{3}{\left(\frac{500}{3}\right)(0.01)}$$

$$At = 1.8 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$W = \frac{1.8}{0.45}$$

$$W = 2.24 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$L = \frac{8.97}{4}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$Np\left(\frac{2.24}{0.5} - 1\right)\left(\frac{4}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 24$$

3.2.3. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 03

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$KT = (1.104)(1.06)^{\exp(23 - 20)} \quad \text{Ecuacion 2}$$

$$Kt = 1.31$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$As = \frac{0.342(\ln 91.62 - \ln 6.88)}{1.31 \cdot 500 \cdot 0.46}$$

$$As = 2.94 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot AS}{Q} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$TRH = \frac{0.40 \cdot 0.46 \cdot 2.94}{0.342}$$

$$TRH = 1.58 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q \cdot AS}{m \cdot K_s} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$w = \frac{1}{0.46} \left(\frac{0.342 \cdot 2.94}{0.01 \cdot 500} \right) \exp(0.5)$$

$$w = 0.97 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = AS / W$

$$L = \frac{AS}{w} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L = \frac{2.94}{0.97}$$

$$L = 3.03 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$N_p \left(\frac{3.03}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.97}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 5$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1 + 1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{(23 - 20)} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$KT = 1.028/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{91.62}{6.88}\right)}{1.028}$$

$$TRH = 2.52 \text{ Días}$$

Área superficial del H.A

$$AS = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$AS = \frac{(0.342)(2.52)}{(0.46)(0.40)}$$

$$A_s = 4.7 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = 1.25 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$L = \frac{4.7}{1.25}$$

$$L = 3.76 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$N_p \left(\frac{3.76}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.25}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 10$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$K_A = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$K_A = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)}$$

$$K_A = 20$$

$$K_A = (0.2187)(1.048)^{\exp(23 - 20)} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$K_A = 0.2517/\text{día}$$

Área superficial

$$A_s = \frac{Q}{K_A} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$A_s = \frac{0.342}{0.2517} \ln \left(\frac{91.62}{6.88} \right)$$

$$A_s = 3.52 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{n A_s h}{Q} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$TRH = 1.89 \text{ días}$$

$$TRH = \frac{(0.40)(3.52)(0.46)}{0.342}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$A_t = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q} \right) (m)} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$A_t = \frac{0.342}{\left(\frac{5000}{0.342} \right) (0.01)}$$

$$A_t = 2.34 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{A_t}{h} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$W = \frac{2.34}{0.46}$$

$$W = 5.08 \text{ m}$$

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$L = \frac{2.34}{5.08}$$

$$L = 0.46 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$N_p \left(\frac{0.46}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{5.08}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 0.73$$

3.2.4. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 04

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t_2 - 20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K_{20} = 1.104/\text{día}$$

$$K_T = (1.104)(1.06)^{(20 - 20)}$$

$$K_t = 1.104$$

Área superficial del humedal artificial

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_t * n * h} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$A_s = \frac{0.3(\ln 36.8 - \ln 9.8)}{1.104 * 0.40 * 1.20}$$

$$A_s = 0.74 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{(A_s)(h)(n)}{Q} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$TRH = \frac{0.40 * 1.20 * 0.74}{0.3}$$

$$TRH = 1.18 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * A_s}{m * K_s} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$w = \frac{1}{1.20} \left(\frac{0.3 * 0.74}{0.01 * 500} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 0.18 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = A_s / W$

$$L = A_s / w \text{ Ecuación 6}$$

$$L = 0.74 / 0.18 \text{ m}$$

$$L = 0.4 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$N_p \left(\frac{0.4}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.18}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 0.12$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$K_T = 1.225(1.06)^{(20 - 20)} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$K_T = 1.225/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{36.8}{9.8}\right)}{1.225}$$

$$TRH = 1.08 \text{ días}$$

Área superficial del H.A.

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$A_s = \frac{(0.3)(1.080)}{(1.20)(0.40)}$$

$$A_s = 0.67 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s / R} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = \sqrt[2]{(0.675)/(3)}$$

$$W = 0.47 \text{ m}$$

Largo

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$L = \frac{0.675}{0.47}$$

$$L = 0.44 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$Np\left(\frac{0.44}{0.5} - 1\right)\left(\frac{0.47}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 0.007$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\exp(20 - 20)} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$KA = 0.218 / \text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$AS = \frac{0.3}{0.218} \ln\left(\frac{36.8}{9.8}\right)$$

$$As = 1.82 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{n_{Ash}}{Q} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$TRH = \frac{0.40 * 1.82 * 1.20}{0.3}$$

$$TRH = 2.19$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$At = \frac{0.3}{\left(\frac{500}{0.3}\right)(0.01)}$$

$$At = 0.018$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$W = \frac{0.018}{1.20}$$

$$W = 0.015 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$L = \frac{1.82}{0.015}$$

$$L = 1.21 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$Np\left(\frac{1.21}{0.5} - 1\right)\left(\frac{0.015}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = -1.377$$

3.2.5. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 05

Modelo de RED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{(10 - 20)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Kt = 0.61$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$As = \frac{20.15(\ln 125 - \ln 95)}{0.61 \cdot 0.35 \cdot 0.6}$$

$$As = 43 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot AS}{Q} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$TRH = \frac{0.35 \cdot 0.6 \cdot 43}{20.15}$$

$$TRH = 0.45 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q \cdot AS}{m \cdot Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuacion 5}$$

$$w = \frac{1}{0.6} \left(\frac{20.15 \cdot 43}{0.01 \cdot 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 6 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = AS / W$

$$L = \frac{AS}{w} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L = \frac{43}{6}$$

$$L = 7 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p = \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$N_p = 143$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K_{20}(1.06)^{(t-20)} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{(10-20)}$$

$$KT = 0.63/\text{DIA}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{125}{95}\right)}{0.63}$$

$$TRH = 0.43 \text{ DIAS}$$

Área superficial del H. A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A_s = \frac{(20.15)(0.43)}{(0.6)(0.35)}$$

$$A_s = 41 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(41)/(3)}$$

$$W = 3.69 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{41}{3.69}$$

$$L = 11 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p = \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$N_p = \left(\frac{11}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{3.69}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 133$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T_{exp}}(T - 20) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)\exp(10 - 20)$$

$$KA = 0.14/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln\left(\frac{Co}{Ce}\right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{20.15}{0.14} \ln\left(\frac{125}{95}\right)$$

$$As = 39.5 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAsh}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(39.5)(0.6)}{20.15}$$

$$TRH = 0.41 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{Ks}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{20.15}{\left(\frac{5000}{20.15}\right)(0.01)}$$

$$At = 8 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{8}{0.6}$$

$$W = 13 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{39.5}{13}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np\left(\frac{3}{0.5} - 1\right)\left(\frac{13}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 125$$

3.2.6. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 06

Modelo de REED, 1995

Para calcular la temperatura

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t_2 - 20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K_{20} = 1.104/\text{día}$$

$$K_T = 1.104(1.06)^{(20 - 20)}$$

$$K_T = 1.104$$

Área superficial del humedal artificial

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_t * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$A_s = \frac{26.78(\ln 120 - \ln 14.86)}{(1.104)(0.35)(0.50)}$$

$$A_s = 289 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{(A_s)(h)(n)}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{(289)(0.50)(0.35)}{26.78}$$

$$TRH = 1.88 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * A_s}{m * K_s} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.50} \left(\frac{26.78 * 289}{0.01 * 50000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 30 \text{ m}$$

Largo (L) del humedal artificial

$$L = \frac{289}{30} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L = 9.63 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{30}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{9.63}{0.5} - 1 \right)$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

Se calcula la constante de velocidad (Kt) mediante la siguiente ecuación

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_T = 1.225(1.06)^{(20 - 20)}$$

$$K_T = 1.225$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{k_t} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{120}{14.86}\right)}{1.225}$$

$$TRH = 1.705$$

Área superficial del H.A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$A_s = \frac{(26.78)(1.705)}{(0.50)(0.35)}$$

$$A_s = 260 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = \sqrt[2]{260/3}$$

$$W = 9 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$L = \frac{260}{9}$$

$$L = 29 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$N_p \left(\frac{29}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{9}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 969$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T-20} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\exp(20 - 20)}$$

$$KA = 0.219/\text{dia}$$

KA: Constantes superficial cinética de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$AS = \frac{26.78}{0.219} \ln \left(\frac{120}{14.86} \right)$$

$$AS = 259 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{n A_s h}{Q} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(259)(0.50)}{26.78}$$

$$TRH = 1.69 \text{ dias}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q} \right) (m)} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$At = \frac{26.78}{\left(\frac{50000}{26.78} \right) (0.01)}$$

$$At = 1.43 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$W = \frac{1.43}{0.50}$$

$$W = 2.86 \text{ m}$$

$$L = \frac{AS}{W} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$L = \frac{259}{2.86}$$

$$L = 90 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 21}$$

$$Np\left(\frac{90}{0.5} - 1\right)\left(\frac{2.86}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 844$$

3.2.7. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 07

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{(27 - 20)}$$

$$Kt = 1.66$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = \frac{0.4(\ln 446 - \ln 186)}{1.66 * 0.40 * 0.6}$$

$$As = 1 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n * h * AS}{Q} \quad \text{Ecuacion 3}$$

$$TRH = \frac{0.35 * 0.6 * 1}{0.4}$$

$$TRH = 0.52 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * AS}{m * Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuacion 4}$$

$$w = \frac{1}{0.6} \left(\frac{0.4 * 1}{0.08 * 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 0.16 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = As / W$

$$L = \frac{As}{w} \quad \text{Ecuacion 5}$$

$$L = \frac{1}{0.16}$$

$$L = 3.14 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Np \left(\frac{3.14}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.91}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 15$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K20(1.06) \exp(t - 20) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K20^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$KT = 1.225(1.06) \exp(27 - 20)$$

$$KT = 1.84/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_0}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{44.6}{186}\right)}{1.84}$$

$$TRH = 0.47 \text{ DIAS}$$

Área superficial del H.A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$As = \frac{(0.4)(0.47)}{(0.6)(0.35)}$$

$$As = 0.90 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$W = \sqrt[2]{(0.90)/(3)}$$

$$W = 0.54 \text{ M}$$

Largo

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$L = \frac{0.90}{0.54}$$

$$L = 1.6 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$Np \left(\frac{1.6}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.54}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 0.18$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{\text{Texp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\text{exp}(27 - 20)}$$

$$KA = 0.39/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$AS = \frac{0.4}{0.39} \ln\left(\frac{446}{186}\right)$$

$$AS = 0.89 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs_h}{Q} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(0.89)(0.60)}{0.4}$$

$$TRH = 0.47 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (A_t) mediante:

$$A_t = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$A_t = \frac{0.4}{\left(\frac{100}{0.4}\right)(0.08)}$$

$$A_t = 0.02 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H. A

$$W = \frac{A_t}{h} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$W = \frac{0.02}{0.6}$$

$$W = 0.03 \text{ m}$$

$$L = \frac{AS}{W} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$L = \frac{0.89}{0.03}$$

$$L = 2.96 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np\left(\frac{2.96}{0.5} - 1\right)\left(\frac{0.03}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 0$$

Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 08

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{\exp(27 - 20)}$$

$$Kt = 1.660$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = \frac{3(\ln 110 - \ln 37)}{1.66 \cdot 0.38 \cdot 0.70}$$

$$As = 23.8 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot AS}{Q} \quad \text{Ecuacion 3}$$

$$TRH = \frac{0.38 \cdot 0.70 \cdot 23.75}{3}$$

$$TRH = 2.10 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q \cdot AS}{m \cdot Ks} \right)^{\exp(0.5)} \quad \text{Ecuacion 4}$$

$$w = \frac{1}{0.70} \left(\frac{3 \cdot 23.75}{0.01 \cdot 5000} \right)^{\exp(0.5)}$$

$$W = 2.04 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = As / W$

$$L = \frac{As}{w} \quad \text{Ecuacion 5}$$

$$L = \frac{23.75}{2.04}$$

$$L = 11.64 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Np \left(\frac{11.64}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{2.04}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 68$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t - 20)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$K_T = 1.225(1.06) \exp(27 - 20) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_T = 1.84/\text{DÍA}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{C_i}{C_f}\right)}{k_t} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{110}{37}\right)}{1.84}$$

$$TRH = 0.59 \text{ días}$$

Área superficial del H.A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$A_s = \frac{(3)(0.59)}{(0.70)(0.38)}$$

$$A_s = 6.7 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = \sqrt[2]{(6.65)/(3)}$$

$$W = 1.48 \text{ m}$$

Largo

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$L = \frac{6.65}{1.48}$$

$$L = 4.49 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$N_p \left(\frac{4.49}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.48}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 15$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$K_A = K_{20} \theta^{T_{\text{exp}}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$K_A = 20$$

$$K_A = (0.2187)(1.048) \exp(27 - 20)$$

$$K_A = 0.303/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$AS = \frac{3}{0.303} \ln\left(\frac{110}{37}\right)$$

$$As = 10.78 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAsh}{Q} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$TRH = \frac{(0.38)(10.78)(0.70)}{3}$$

$$TRH = 0.95 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{Ks}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$At = \frac{3}{\left(\frac{500}{3}\right)(0.01)}$$

$$At = 1.8 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$W = \frac{1.8}{0.70}$$

$$W = 2.57 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$L = \frac{10.78}{2.57}$$

$$L = 4.19 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 21}$$

$$Np\left(\frac{4.19}{0.5} - 1\right)\left(\frac{2.57}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 30$$

3.2.8. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 09

Modelo de RED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$KT = 1.104(1.06) \exp(22 - 20)$$

$$KT = 1.24$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = \frac{7.5(\ln 230 - \ln 20)}{1.24 \cdot 0.35 \cdot 0.6}$$

$$As = 70 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot AS}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{0.35 \cdot 0.6 \cdot 70}{7.5}$$

$$TRH = 1.96 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q \cdot AS}{m \cdot Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.6} \left(\frac{7.5 \cdot 70}{0.01 \cdot 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 5 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = As / W$

$$L = \frac{As}{w} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L = \frac{70}{5}$$

$$L = 14 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Np \left(\frac{14}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{5}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 243$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K20(1.06) \exp(t - 20) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K20^{\frac{1.1 + 1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$KT = 1.225(1.06) \exp(22 - 20)$$

$$KT = 1.37/\text{DIA}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln(\frac{Ce}{Co})}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = - \frac{\ln(\frac{230}{20})}{1.37}$$

$$TRH = 1.78 \text{ DIAS}$$

Área superficial del H. A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$As = \frac{(7.5)(1.78)}{(0.6)(0.35)}$$

$$As = 63 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(63)/(3)}$$

$$W = 4.5 \text{ m}$$

Largo

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{63}{4.5}$$

$$L = 14 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Np \left(\frac{14}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{4.5}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 216$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta_{Texp}(T - 20) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)\exp(22 - 20)$$

$$KA = 0.24/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{Co}{Ce} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{7.5}{0.24} \ln \left(\frac{230}{20} \right)$$

$$As = 76 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs h}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(76)(0.6)}{7.5}$$

$$TRH = 2.13 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{7.5}{\left(\frac{5000}{7.5}\right)(0.01)}$$

$$At = 1.125 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{1.125}{0.6}$$

$$W = 1.87 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{76}{1.875}$$

$$L = 40.5 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np\left(\frac{40.5}{0.5} - 1\right)\left(\frac{1.875}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 220$$

3.2.9. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 10

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$K_{20} = 1.104/\text{día}$$

$$KT = 1.104(1.06) \exp(21.98 - 20)$$

$$KT = 1.24$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = \frac{4(\ln 91.61 - \ln 1.3)}{(1.24)(0.35)(0.70)}$$

$$As = 56 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{(As)(h)(n)}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{(56)(0.70)(0.35)}{4}$$

$$TRH = 3.43 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * As}{m * Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.70} \left(\frac{4 * 56}{0.01 * 5000} \right) \exp(0.5)$$
$$W = 3 \text{ m}$$

Largo (L) del humedal artificial

$$L = \frac{56}{9} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L = 18 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Np \left(\frac{18}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{3}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Np = 175$$

Modelo de crites y tchobanoglous (CT) 1998

Se calcula la constante de velocidad (Kt) mediante la siguiente ecuación

$$KT = K20(1.06)^{t - 20} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K20^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{21.98 - 20}$$

$$KT = 1.37$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{Ce}{Co}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{91.61}{1.3}\right)}{1.37}$$

$$TRH = 3.11$$

Área superficial del H.A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$As = \frac{(4)(3.11)}{(0.70)(0.35)}$$

$$As = 50 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{50/3}$$

$$W = 4 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{50}{4}$$

$$L = 12.5 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Np \left(\frac{12.5}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{4}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 168$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T-20} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\exp(21.98 - 20)}$$

$$KA = 0.24/\text{dia}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{4}{0.24} \ln \left(\frac{91.61}{1.3} \right)$$

$$AS = 70 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAsh}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(70)(0.70)}{4}$$

$$TRH = 4.29 \text{ dias}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{4}{\left(\frac{5000}{4}\right)(0.01)}$$

$$At = 3.2 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{3.2}{0.70}$$

$$W = 4.6 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{70}{4.6}$$

$$L = 15.2 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np \left(\frac{15.2}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{4.6}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 241$$

3.2.10. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 11

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06) \exp(t2 - 20) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06) \exp(5 - 20) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Kt = 0.46$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt * n * h} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$As = \frac{7.8(\ln 80 - \ln 10)}{0.46 * 0.38 * 0.25}$$

$$As = 371 \text{ m}^2$$

$$TRH = \frac{n * h * AS}{Q} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$TRH = \frac{0.38 \cdot 0.25 \cdot 371}{1036.8}$$

$$TRH = 4.51 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K_s} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$w = \frac{1}{0.40} \left(\frac{7.8 \cdot 371}{0.02 \cdot 50000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 7.23 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA:

$$L = A_s / W \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L = \frac{371}{7.23}$$

$$L = 51 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$N_p \left(\frac{51}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{7.23}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 1359$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1 + 1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{(5 - 20)} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$KT = 0.51/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{80}{10}\right)}{0.51}$$

$$TRH = 4.07 \text{ días}$$

Área superficial del H.A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$As = \frac{(7.8)(4.07)}{(0.25)(0.38)}$$

$$As = 334 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = \sqrt[2]{(334)/(3)}$$

$$W = 10 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$L = \frac{334}{10}$$

$$L = 33 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$Np \left(\frac{33}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{10}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 1235 \text{ un}$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\exp(5 - 20)} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$KA = 0.108/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$AS = \frac{7.8}{0.108} \ln \left(\frac{80}{10} \right)$$

$$As = 150 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs h}{Q} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$TRH = \frac{(0.38)(150)(0.25)}{7.8}$$

$$TRH = 1.83 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$At = \frac{7.8}{\left(\frac{50000}{7.8}\right)(0.02)}$$

$$At = 0.608 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$W = \frac{0.06}{0.25}$$

$$W = 2.43 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$L = \frac{150}{2.43}$$

$$L = 61 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H.A

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$Np \left(\frac{61}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{2.43}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 467$$

3.2.11. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 12

Modelo de RED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{\exp(22 - 20)}$$

$$Kt = 1.24$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = \frac{0.05(\ln 113 - \ln 30.30)}{1.24 * 0.38 * 0.30}$$

$$A_s = 0.47 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot A_s}{Q} \text{ Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{0.38 \cdot 0.30 \cdot 0.47}{0.05}$$

$$TRH = 1.07 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K_s} \right) \exp(0.5) \text{ Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.30} \left(\frac{0.05 \cdot 0.47}{0.01 \cdot 500} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 0.22 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = A_s / W$

$$L = \frac{A_s}{w} \text{ Ecuación 5}$$

$$L = \frac{0.47}{0.22}$$

$$L = 2.13 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \text{ Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{2.13}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.22}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = -1$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K_{20} (1.06)^{\exp(22 - 20)} \text{ Ecuación 7}$$

$$K20^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$KT = 1.225(1.06) \exp(22 - 20) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$KT = 1.37/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{113}{30.30}\right)}{1.37}$$

$$TRH = 0.96 \text{ días}$$

Área superficial del H.A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$As = \frac{(0.05)(0.96)}{(0.30)(0.38)}$$

$$As = 0.42 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(0.42)/(3)}$$

$$W = 0.37 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{0.47}{0.37}$$

$$L = 1.27 \text{ m}$$

Numero de plantas

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Np \left(\frac{1.27}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.37}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = -0$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta_{Texp}(T - 20) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)\exp(22 - 20)$$

$$KA = 0.24/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{0.05}{0.24} \ln\left(\frac{113}{30.30}\right)$$

$$As = 0.27 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs_h}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.38)(0.27)(0.30)}{0.05}$$

$$TRH = 0.62 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{0.05}{\left(\frac{500}{0.05}\right)(0.01)}$$

$$At = 0.04 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{0.04}{0.30}$$

$$W = 0.13 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{0.27}{0.13}$$

$$L = 2.07 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np\left(\frac{2.07}{0.5} - 1\right)\left(\frac{0.13}{0.5} - 1\right)$$

$$N_p = -0$$

3.2.12. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 13

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t_2 - 20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K_{20} = 1.104/\text{día}$$

$$K_t = 1.104(1.06)^{(29 - 20)}$$

$$K_t = 1.87$$

Área superficial del humedal artificial

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_t * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$A_s = \frac{0.3(\ln 149.13 - \ln 28.12)}{1.87 * 0.35 * 0.30}$$

$$A_s = 2 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n * h * A_s}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{0.35 * 0.30 * 2}{0.3}$$

$$TRH = 0.7 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * A_s}{m * K_s} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.3} \left(\frac{0.3 * 2}{0.01 * 500} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 1 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = A_s / W$

$$L = \frac{A_s}{w} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L = \frac{2}{1}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{2}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{1}{d_m - m} - 1 \right)$$

$$N_p = 3$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_T = 1.225(1.06)^{(29 - 20)}$$

$$K_T = 2.06/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{149.13}{28.12}\right)}{2.06}$$

$$TRH = 0.80 \text{ DIAS}$$

Área superficial del H.A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A_s = \frac{(0.3)(0.80)}{(0.3)(0.35)}$$

$$A_s = 2 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(2)/(3)}$$

$$W = 0.81 \text{ M}$$

Largo.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{2}{0.81}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Np \left(\frac{2}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.81}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 2$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K20 \theta^{Texp(T - 20)} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = (0.2187)(1.048)\exp(29 - 20)$$

$$KA = 20$$

$$KA = 0.33/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{Co}{Ce} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{0.3}{0.33} \ln \left(\frac{149.13}{28.12} \right)$$

$$As = 1.50 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAsh}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(1.50)(0.30)}{0.3}$$

$$TRH = 0.53 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{Ks}{Q} \right) (m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{0.3}{\left(\frac{50}{0.3} \right) (0.01)}$$

$$At = 0.018 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H. A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{0.18}{0.30}$$

$$W = 0.6 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W}$$

$$L = \frac{8.97}{4}$$

$$L = 2.5 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right) \quad \text{Ecuación 19}$$

$$Np\left(\frac{2.5}{0.5} - 1\right)\left(\frac{0.6}{0.5} - 1\right)$$

$$Np = 0.8$$

3.2.13. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 14

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{\exp(t2 - 20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{\exp(23 - 20)}$$

$$Kt = 1.31$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{0.05(\ln 113 - \ln 49.8)}{1.31 * 0.35 * 0.30}$$

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = 0.30 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n * h * AS}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{0.35 * 0.30 * 0.30}{0.05}$$

$$TRH = 0.63 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{3 * As}{m * Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.30} \left(\frac{0.05 * 0.30}{0.5 * 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 0.08 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = As / W$

$$L = \frac{As}{w} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L = \frac{0.30}{0.8}$$

$$L = 3.14 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{3.14}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.91}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 15$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$K_T = 1.225(1.06)^{(20 - 20)} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_T = 2.06/\text{DIA}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = \frac{\ln\left(\frac{247}{26}\right)}{2.06}$$

$$TRH = 4.6 \text{ días}$$

Área superficial del H. A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A_s = \frac{(3)(4.6)}{(0.7)(0.35)}$$

$$A_s = 8.83 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(8.83)/(3)}$$

$$W = 1.72 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{8.83}{1.72}$$

$$L = 5.13 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$N_p \left(\frac{5.13}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.72}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 22.6$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta T_{exp}(T - 20) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)\exp(20 - 20)$$

$$KA = 0.2187/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{3}{0.2187} \ln \left(\frac{57.7}{30} \right)$$

$$AS = 8.97 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs_h}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.40)(8.97)(0.45)}{3}$$

$$TRH = 0.53 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q} \right) (m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{3}{\left(\frac{500}{3} \right) (0.01)} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$A_t = 1.8 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H. A

$$W = \frac{A_t}{h} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$W = \frac{1.8}{0.45}$$

$$W = 4 \text{ m}$$

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$L = \frac{8.97}{4}$$

$$L = 2.24 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 21}$$

$$N_p \left(\frac{2.24}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{4}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 24$$

3.2.14. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 15

Modelo de REED, 1995

para calcular la constante de temperatura

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t_2 - 20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K_{20} = 1.104/\text{día}$$

$$K_t = 1.104(1.06)^{(22.4 - 20)}$$

$$K_t = 1.26$$

Área superficial del humedal artificial

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_t * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$A_s = \frac{0.33(\ln 41 - 15.58)}{1.26 * 0.35 * 0.30}$$

$$A_s = 2.41 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n * h * A_s}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{0.35 * 0.30 * 2.41}{0.33}$$

$$TRH = 0.76 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{Q * A_s}{m * K_s} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.30} \left(\frac{0.33 * 2.41}{0.02 * 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 0.41 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = A_s / W$

$$L = \frac{A_s}{w} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L = \frac{2.41}{0.94}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{2}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.94}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 2$$

Modelo de crites y tchobanoglous (CT) 1998

$$K_T = K_{20}(1.06)^{t-20} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$K_T = 1.225(1.06)^{22.4-20}$$

$$K_T = 1.40/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{k_t} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{41}{15.58}\right)}{1.40}$$

$$TRH = 0.69 \text{ días}$$

Área superficial del H. A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A_s = \frac{(0.33)(0.69)}{(0.30)(0.35)}$$

$$A_s = 2.17 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(2.17)/(3)}$$

$$W = 0.85 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{2.17}{0.85}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$N_p \left(\frac{2}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.85}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 2$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta T \exp(T - 20) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = K_{20} \theta T \exp(T - 20)$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)\exp(22.4 - 20)$$

$$KA = 0.24/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{0.33}{0.24} \ln \left(\frac{41}{15.58} \right)$$

$$As = 1.33 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{n_{Ash}}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.35)(1.33)(0.30)}{0.33}$$

$$TRH = 0.42 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q} \right) (m)} \quad \text{ecuación 17}$$

$$At = \frac{0.33}{\left(\frac{100}{0.33} \right) (0.02)}$$

$$At = 0.054 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H.A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{0.01}{0.30}$$

$$W = 0.033 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{1.33}{0.033}$$

$$L = 0.40 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np \left(\frac{40}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.033}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = -73$$

3.2.15. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 16

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$Kt = K20(1.06)^{(t2 - 20)} \quad \text{Ecuacion 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{(18.8 - 20)}$$

$$Kt = 1.02$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt * n * h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = \frac{51.84(\ln 247 - \ln 100)}{1.87 * 0.35 * 0.7}$$

$$As = 6 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n * h * AS}{Q} \quad \text{Ecuacion 3}$$

$$TRH = \frac{0.35 * 0.7 * 6}{3}$$

$$TRH = 0.49 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{3 * AS}{m * Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuacion 4}$$

$$w = \frac{1}{0.7} \left(\frac{3 * 6}{0.01 * 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 1.91 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = As / W$

$$L = \frac{As}{w} \text{ Ecuación 5}$$

$$L = \frac{6}{1.91}$$

$$L = 3.14 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{3.14}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.91}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 15$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{(20 - 20)}$$

$$KT = 2.06/\text{día}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{2.47}{26}\right)}{2.06}$$

$$TRH = 4.6 \text{ días}$$

Área superficial del H. A

$$As = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$As = \frac{(3)(4.6)}{(0.7)(0.35)}$$

$$As = 8.83 \text{ M}^2$$

$$W = \sqrt[2]{As/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(8.83)/(3)}$$

$$W = 1.72 \text{ M}$$

$$W = 1.72 \text{ M}$$

Largo.

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{8.83}{1.72}$$

$$L = 5.13 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$N_p \left(\frac{5.13}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.72}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 22.6$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)^{\exp(20 - 20)}$$

$$KA = 0.2187/\text{día}$$

Área superficial

$$AS = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$AS = \frac{3}{0.2187} \ln \left(\frac{57.7}{30} \right)$$

$$AS = 8.97 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs_h}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.40)(8.97)(0.45)}{3}$$

$$TRH = 0.53 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q} \right) (m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{3}{\left(\frac{500}{3} \right) (0.01)}$$

$$At = 1.8 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H. A

$$W = \frac{A_t}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{1.8}{0.45}$$

$$W = 4 \text{ m}$$

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{8.97}{4}$$

$$L = 2.24 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$N_p \left(\frac{2.24}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{4}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 24$$

3.2.16. Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 17

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(t_2 - 20)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K_{20} = 1.104/\text{día}$$

$$K_t = 1.104(1.06)^{(29 - 20)}$$

$$K_t = 1.87$$

Área superficial del humedal artificial

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_t \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$A_s = \frac{3(\ln 247 - \ln 100)}{1.87 \cdot 0.35 \cdot 0.7}$$

$$A_s = 6 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot A_s}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{0.35 \cdot 0.7 \cdot 6}{3}$$

$$TRH = 0.49 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{3 \cdot A_s}{m \cdot K_s} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.7} \left(\frac{3 * 6}{0.01 * 5000} \right) \exp(0.5)$$

$$W = 1.91 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = A_s / W$

$$L = \frac{A_s}{w} \text{ Ecuación 5}$$

$$L = \frac{6}{1.91}$$

$$L = 3.14 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{3.14}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.91}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 15$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K_{20}(1.06)^{t-20} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{20-20} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$KT = 2.06/\text{DIA}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_0}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = -\frac{\ln\left(\frac{2.47}{26}\right)}{2.06}$$

$$TRH = 4.6 \text{ DIAS}$$

Área superficial del H.A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A_s = \frac{(3)(4.6)}{(0.7)(0.35)}$$

$$A_s = 8.83 \text{ m}^2$$

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(8.83)/(3)}$$

$$W = 1.72 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{8.83}{1.72}$$

$$L = 5.13 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$N_p \left(\frac{5.13}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{1.72}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 22.6$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$K_A = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$K_A = 20$$

$$K_A = (0.2187)(1.048)^{\exp(20 - 20)}$$

$$K_A = 0.2187/\text{día}$$

Área superficial

$$A_s = \frac{Q}{K_A} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$A_s = \frac{3}{0.2187} \ln \left(\frac{57.7}{30} \right)$$

$$A_s = 8.97 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{n A_s}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.40)(8.97)(0.45)}{3}$$

$$TRH = 0.53 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q}\right)(m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{3}{\left(\frac{500}{3}\right)(0.01)}$$

$$At = 1.8 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H. A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{1.8}{0.45}$$

$$W = 4 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{8.97}{4}$$

$$L = 2.24 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np \left(\frac{2.24}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{4}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 24$$

Cálculo de los parámetros de diseño del trabajo de investigación N.º 18

Modelo de REED, 1995

Para calcular la constante de temperatura

$$KT = K20(1.06)^{t2 - 20} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$K20 = 1.104/\text{día}$$

$$Kt = 1.104(1.06)^{17 - 20}$$

$$Kt = 0.92$$

Área superficial del humedal artificial

$$As = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$As = \frac{0.25(\ln 230 - 80)}{0.92 \cdot 0.30 \cdot 0.60}$$

$$As = 1.60 \text{ m}^2$$

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{n \cdot h \cdot AS}{Q} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$TRH = \frac{0.30 \cdot 0.6 \cdot 1.60}{0.25}$$

$$TRH = 1.15 \text{ días}$$

Dimensiones del humedal artificial

$$w = \frac{1}{h} \left(\frac{3 \cdot AS}{m \cdot Ks} \right) \exp(0.5) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$w = \frac{1}{0.6} \left(\frac{0.25 \cdot 1.60}{0.01 \cdot 500} \right) \exp(0.5)$$

$$w = 0.47 \text{ m}$$

Para el largo (L) del HA: $L = As / W$

$$L = \frac{As}{w} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L = \frac{1.60}{0.47}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del humedal artificial:

$$N_p \left(\frac{L}{d_m - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{d_m - m} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_p \left(\frac{3}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.47}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 0$$

Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) 1998

$$KT = K_{20}(1.06)^{(t - 20)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_{20}^{\frac{1.1+1.35}{2}} = 1.225/\text{día} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$KT = 1.225(1.06)^{(17 - 20)}$$

$$KT = 1.02/\text{DIA}$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{kt} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$TRH = - \frac{\ln\left(\frac{230}{80}\right)}{1.02}$$

$$TRH = 1.03 \text{ días}$$

Área superficial del H. A

$$A_s = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$A_s = \frac{(0.25)(1.03)}{(0.6)(0.30)}$$

$$A_s = 1.43 \text{ m}^2$$

Ancho del humedal fijando una relación (R) como 1:3 es decir uno de ancho por 3 de largo

$$W = \sqrt[2]{A_s/R} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W = \sqrt[2]{(1.43)/(3)}$$

$$W = 0.69 \text{ m}$$

Largo.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$L = \frac{1.43}{0.69}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su diseño del humedal artificial

$$N_p \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$N_p \left(\frac{2}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.69}{0.5} - 1 \right)$$

$$N_p = 1.14$$

Modelo de Kadlec y Knight (2K) 1996

$$KA = K_{20} \theta^{T_{exp}(T - 20)} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$KA = 20$$

$$KA = (0.2187)(1.048)\exp(17 - 20)$$

$$KA = 0.19/\text{día}$$

Área superficial

$$As = \frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$As = \frac{0.25}{0.19} \ln \left(\frac{230}{80} \right)$$

$$As = 1.38 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{nAs_h}{Q} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$TRH = \frac{(0.30)(1.38)(0.60)}{0.25}$$

$$TRH = 0.99 \text{ días}$$

Área de sección transversal del HA (At) mediante:

$$At = \frac{Q}{\left(\frac{K_s}{Q} \right) (m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$At = \frac{0.25}{\left(\frac{500}{0.25} \right) (0.01)}$$

$$At = 0.01 \text{ m}^2$$

Con esta área transversal se calcula las dimensiones del H. A

$$W = \frac{At}{h} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$W = \frac{0.01}{0.60}$$

$$W = 0.02 \text{ m}$$

$$L = \frac{As}{W} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$L = \frac{1.38}{0.02}$$

$$L = 69 \text{ m}$$

Número de plantas requeridas para su instalación del H. A

$$Np \left(\frac{L}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{W}{0.5} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Np \left(\frac{69}{0.5} - 1 \right) \left(\frac{0.02}{0.5} - 1 \right)$$

$$Np = 131$$

El cálculo de los parámetros de diseño de los humedales artificiales utilizando los tres modelos matemáticos Modelo de Reed, modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) y modelo de Kadlec y Knight (2K). Los autores, el año y el modelo matemático utilizado.

Tabla 6

Dimensiones de los humedales artificiales

Autor	Modelo matemático	Área superficial m ²	Tiempo de retención (días)	Largo (m)	Ancho (m)
(Quipuzco, 2010)	(REED, 1995)	8	1.1	3.9	2.06
	(CT, 1998)	8	1.09	4.9	1.63
	(2K,1996)	15	2.07	12	1.21
(Lovera et al., 2011)	(REED, 1995)	8.11	0.49	5.23	1.55
	(CT, 1998)	8.83	0.53	5.13	1.72
	(2K,1996)	8.97	0.53	4	2.24
(Villarroel, 2011)	(REED, 1995)	2.94	1.58	3.03	0.97
	(CT, 1998)	4.7	2.52	3.76	1.25

	(2K,1996)	3.52	1.89	0.46	5.08
	(REED, 1995)	0.74	1.18	0.4	0.18
Gonzales y Ventanilla	(CT, 1998)	0.67	1.08	0.44	0.47
	(2K,1996)	1.82	2.19	1.21	0.015
	(REED, 1995)	43	0.45	7	6
(Flores y Huaman, 2013)	(CT, 1998)	41	0.43	11	3.69
	(2K,1996)	39.5	0.41	3	13
	(REED, 1995)	289	1.88	9.63	30
(Lapa, 2014)	(CT, 1998)	260	1.705	9	29
	(2K,1996)	259	1.69	90	2.86
	(REED, 1995)	1	0.52	3.14	0.16
(Carbajal, 2014)	(CT, 1998)	0.9	0.47	1.6	0.54
	(2K,1996)	0.89	0.47	2.96	0.03
	(REED, 1995)	23.8	2.1	11.64	2.04
(Azabache y Flores, 2014)	(CT, 1998)	6.7	0.59	4.49	1.48
	(2K,1996)	10.78	0.95	4.19	2.57
	(REED, 1995)	70	1.96	14	5
(Ramirez, 2015)	(CT, 1998)	63	1.78	14	4.5
	(2K,1996)	76	2.13	40.5	1.87

	(REED, 1995)	56	3.43	18	3
(Gómez, 2017)	(CT, 1998)	50	3.11	12.5	4
	(2K,1996)	70	4.29	15.2	4.6
	(REED, 1995)	0.47	1.07	2.13	0.22
(Rojas, 2017)	(CT, 1998)	0.42	0.96	1.27	0.37
	(2K,1996)	0.27	0.62	2.07	0.13
	(REED, 1995)	2	0.7	2	1
(Carbajal, 2017)	(CT, 1998)	2	0.8	2	0.81
	(2K,1996)	1.5	0.53	2.5	0.6
	(REED, 1995)	0.3	0.63	3.14	0.08
(Rojas y Purihuaman, 2017)	(CT, 1998)	8.83	4.6	5.13	1.72
	(2K,1996)	8.97	0.53	2.24	4
	(REED, 1995)	2.41	0.76	2	0.41
(Castro et al., 2017)	(CT, 1998)	2.17	0.69	2	0.85
	(2K,1996)	1.33	0.42	0.033	0.4
	(REED, 1995)	6	0.49	3.14	1.91
(Castro et al., 2018)	(CT, 1998)	8.83	4.6	5.13	1.72
	(2K,1996)	8.97	0.53	4	2.24

	(REED, 1995)	6	0.49	3.14	1.91
(Bustamante y Pérez, 2019)	(CT, 1998)	8.83	4.6	5.13	1.72
	(2K,1996)	8.97	0.53	2.24	4
	(REED, 1995)	1.6	1.15	3	0.47
(Mesa, 2020)	(CT, 1998)	1.43	1.03	2	0.69
	(2K,1996)	1.38	0.99	69	0.02
	(REED, 1995)	371	4.51	15	7.23
(Gutiérrez et. Al; 2022)	(CT, 1998)	334	4.07	33	10
	(2K,1996)	150	1.83	61	2.43

Nota. Las dimensiones de los humedales artificiales se calcularon utilizando los tres modelos matemáticos.

Para el desarrollo de la presente investigación se seleccionó diferentes trabajos basados en la experiencia y la practica operativa, con la finalidad de calcular los parámetros de diseño de humedales artificiales y evaluar el modelo y el trabajo más eficiente para su respectivo diseño. Respecto a los modelos de REED, 1995; CT,1998; 2K,1996. Según Pride (2010) menciona que, en relación con los parámetros de diseño de humedales artificiales, se encontró que los caudales de agua a tratar son importantes, así como la concentración inicial del DBO₅ (mg/l) y la concentración final del DBO₅ para la precisión de su eliminación, la temperatura (°C) por lo general se utiliza la temperatura media del mes más frio para el diseño de dichos humedales.

Para mayor análisis se seleccionó un trabajo de investigación experimental el trabajo de investigación N.º 16 de (Bustamante y Pérez, 2019) titulado, “Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies *junco Typha sp* y *vetiver Chrysopogon zizanioides* en el distrito de Saposoa” debido a su alto nivel de remoción de DBO₅ de acuerdo con la tabla N. 3º y porque se desarrolló a escala experimental, y a través del uso del programa Excel y aplicando el complemento de

análisis de varianza de un factor ANOVA, se analizarán los parámetros de diseño de un humedal artificial del trabajo seleccionado se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7

Parámetros de diseño del humedal artificial de flujo horizontal

Modelo	Área superficial	Tiempo retención	Largo humedal	Ancho humedal
REED	6	0.49	3.14	1.91
REED	6.1	0.5	3.1	1.9
REED	5.9	0.48	3.18	1.89
CRITES	8.8	4.6	5.13	1.72
CRITES	8.9	4.7	5.1	1.71
CRITES	8.7	4.5	5.16	1.7
KADLEC	8.95	0.53	2.24	4
KADLEC	9	0.54	2.2	3.99
KADLEC	8.85	0.52	2.28	3.98

Nota. Valores obtenidos de diseño del humedal artificial utilizando tres modelos matemáticos.

En la tabla N° 7 muestra los parámetros de diseño obtenidos mediante la aplicación de tres modelos matemáticos: REED, CRITES y KADLEC, para el diseño de un humedal artificial horizontal, los parámetros analizados fueron: área superficial, tiempo de retención, largo del humedal y ancho del humedal. Además, se ha simulado datos para aplicar ANOVA.

Tabla 8

Analís de varianza área superficial del humedal artificial de flujo horizontal

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
REED	3	18	6	0.01
CRITES	3	26.4	8.8	0.01
KADLEC	3	26.8	8.93	0.0058

En la tabla N° 8, después de realizar el análisis de varianza de un factor (ANOVA) para la variable evaluada (áreas superficiales), se evidencia que existe diferencias estadísticas significativas en el área superficial que requiere cada modelo matemático para el diseño del humedal:

El modelo REED utiliza el área más reducida (6 m²).

CRITES y KADLEC usan áreas mayores y muy cercanas entre sí (8.8 y 8.93 m² respectivamente).

Tabla 9

Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	16.4622222			955	3.0626	
Entre grupos	2	2	8.2311	.87	E-08	5.14
Dentro de los grupos	0.05166666	7	0.0086			
	16.5138888					
Total	9	8				

El resultado del ANOVA mostró un estadístico $F = 955.87$, muy superior al valor crítico $F = 5.14$, y un valor de probabilidad $(p) = 3.06 \times 10^{-8}$, inferior al nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de área superficial requeridos por cada modelo.

Esto indica que el modelo matemático empleado influye de manera directa en la dimensión superficial del humedal diseñado. En este caso, el modelo de Reed (1995) presenta el valor más bajo, lo que lo convierte en una alternativa óptima cuando se dispone de espacio físico limitado. Por otro lado, los modelos de Crites y Kadlec exigen superficies mayores, lo cual puede ser ventajoso en términos de mayor capacidad de tratamiento, pero a costa de un requerimiento de terreno más amplio y los promedios son: Modelo Reed: 6.00 m², Modelo Crites: 8.80 m² y Modelo Kadlec: 8.93 m²

Se realizó la prueba Tukey para la variable área superficial, comparando los tres modelos.

Tabla 10

Comparación del área superficial del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC

AREA SUPERFICIAL DEL HUMEDAL		
REED	CRITES	KADLEC
6	8.8	8.95
6.1	8.9	9
5.9	8.7	8.85
6	8.8	8.93

Tabla 11

Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC

Comparación	Diferencia de medias	p-valor	Diferencia significativa
Crites vs Kadlec	0.13 m ²	0.000	Sí
Crites vs Reed	-2.80 m ²	0.000	Sí
Kadlec vs Reed	-2.93 m ²	0.000	Sí

En la tabla N° 11 todas las comparaciones son significativamente diferentes (p-valor < 0.05), el modelo Reed difiere de manera significativa con Crites y Kadlec, usando menos área superficial, aunque Crites y Kadlec tienen promedios cercanos (8.80 vs 8.93 m²), también presentan una diferencia significativa, aunque pequeña (0.13 m²).

Tabla 12

Análisis de varianza de un factor tiempo de retención

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
REED	3	1.47	0.49	0.0001
CRITES	3	13.8	4.6	0.01
KADLEC	3	1.59	0.53	0.0001

En la tabla N° 12 después de realizar el análisis ANOVA aplicado a los datos del tiempo de retención hídrica mostró diferencias significativas entre los tres modelos matemáticos evaluados. El promedio de tiempo de retención fue: Reed (1995): 0.49 días, Crites y Tchobanoglous (1998): 4.60 días y Kadlec y Knight (1996): 0.53 días.

Tabla 13

Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Proba bilidad	Valor crítico para F
				4920.3	2.2624	
Entre grupos	33.4586	2	16.7293	82353	2E-10	5.14325285
Dentro de los grupos	0.0204	6	0.0034			
Total	33.479	8				

El resultado arrojó un valor de $F = 4920.38$, muy superior al valor crítico de 5.14, y un $p\text{-valor} = 2.26 \times 10^{-10}$, indicando diferencias estadísticamente significativas entre los modelos. Se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tiempo de retención varía de forma significativa según el modelo utilizado.

El modelo de Crites y Tchobanoglous es el que presenta el mayor tiempo de retención hidráulica, lo que sugiere una mayor eficiencia en el proceso de depuración del agua residual, al permitir un mayor contacto del agua con el medio filtrante y las plantas.

Tabla 14

Comparación del tiempo de retención del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC

TIEMPO DE RETENCION		
REED	CRITES	KADLEC
0.49	4.6	0.53
0.5	4.7	0.54
0.48	4.5	0.52
0.49	4.6	0.53

Tabla 15

Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC

Comparación	Diferencia de medias (días)	p-valor	¿Diferencia significativa?
Crites vs Kadlec	-4.07 días	0.000	Sí
Crites vs Reed	-4.11 días	0.000	Sí
Kadlec vs Reed	-0.04 días	0.000	Sí

En la tabla N° 15 se evidencia que todas las comparaciones son estadísticamente significativas, el modelo de Crites tiene un tiempo de retención mucho mayor que los otros dos modelos, aunque Kadlec y Reed tienen valores muy cercanos (0.53 vs 0.49 días), la diferencia también es significativa (debido a la mínima varianza entre los valores).

Tabla 16

Análisis de varianza de un factor, largo del humedal artificial de flujo horizontal

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
REED	3	9.42	3.14	0.0016
CRITES	3	15.39	5.13	0.0009
KADLEC	3	6.72	2.24	0.0016

En la tabla N° 16 después de realizar el análisis en cuanto a la dimensión longitudinal del humedal, el promedio del largo fue Reed: 3.14 m, Crites: 5.13 m y Kadlec: 2.24 m.

Tabla 17

Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Proba bilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	13.1222	2	6.5611	4800.8	2.4356	
Dentro de los grupos	0.0082	6	0.001366667	04878	1E-10	5.14325285
Total	13.1304	8				

Los resultados del ANOVA mostraron un valor $F = 4800.80$, con un $p\text{-valor} = 2.43 \times 10^{-10}$, mucho menor al nivel de significancia de 0.05. Esto indica diferencias significativas entre los modelos.

El modelo de Crites demanda un largo considerablemente mayor, lo que puede contribuir al aumento del tiempo de retención y eficiencia del tratamiento. En cambio, Kadlec propone un diseño más compacto en longitud, lo cual puede ser útil en espacios físicos reducidos.

Tabla 18

Comparación del largo del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC

LARGO HUMEDAL		
REED	CRITES	KADLEC
3.14	5.13	2.24
3.1	5.1	2.2
3.18	5.16	2.28
3.14	5.13	2.24

Tabla 19

Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC

Comparación	Diferencia de medias (m)	p-valor	¿Diferencia significativa?
Crites vs Kadlec	-2.89 m	0.000	Sí
Crites vs Reed	-1.99 m	0.000	Sí
Kadlec vs Reed	0.90 m	0.000	Sí

En la tabla N° 19 muestra que todos los modelos presentan diferencias significativas en el largo del humedal, Crites requiere el mayor largo, Kadlec es el más corto y Reed se ubica en un punto intermedio.

Tabla 20*Análisis de varianza de un factor, ancho del humedal artificial de flujo horizontal*

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
REED	3	5.7	1.9	0.0001
CRITES	3	5.13	1.71	0.0001
KADLEC	3	11.97	3.99	0.0001

En la tabla N° 20 después de realizar el análisis respecto al ancho del humedal, los promedios obtenidos fueron Reed: 1.90 m, Crites: 1.71 m y Kadlec: 3.99 m.

Tabla 21*Análisis de varianza*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
				48		
				01	2.43897	
Entre grupos	9.6026	2	4.8013	3	E-13	5.14325285
Dentro de los grupos	0.0006	6	0.0001			
Total	9.6032	8				

El análisis de varianza arrojó un valor $F = 480.13$ y un $p\text{-valor} = 2.44 \times 10^{-13}$, lo cual también confirma diferencias altamente significativas entre los tres modelos.

El modelo de Kadlec y Knight es el que requiere un ancho mayor, lo cual puede beneficiar la distribución del flujo y aumentar el volumen de tratamiento. Por el contrario, Crites y Reed diseñan humedales más angostos, lo que puede resultar ventajoso en terrenos limitados.

Tabla 22

Comparación del área superficial del humedal según los modelos REED, CRITES y KADLEC

ANCHO HUMEDAL		
REED	CRITES	KADLEC
1.91	1.72	4
1.9	1.71	3.99
1.89	1.7	3.98
1.9	1.71	3.99

Tabla 23

Resultados de la prueba de Tukey para el área superficial del humedal entre los modelos REED, CRITES y KADLEC

Comparación	Diferencia de medias (m)	p-valor	¿Diferencia significativa?
Crites vs Kadlec	2.28 m	0.000	Sí
Crites vs Reed	0.19 m	0.000	Sí
Kadlec vs Reed	-2.09 m	0.000	Sí

En la tabla N° 23 se evidencia que existen diferencias significativas en el ancho del humedal, el modelo Kadlec es el más ancho (3.99 m), Crites es el más estrecho (1.71 m) y Reed tiene un ancho ligeramente mayor que Crites (1.90 m).

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey confirma que todos los modelos matemáticos presentan diferencias estadísticamente significativas en el área superficial requerida para el diseño del humedal. Crites y Tchobanoglous (1998) presenta un tiempo de retención significativamente mayor, lo que puede traducirse en mayor eficiencia en la remoción de contaminantes en el humedal. En cambio, los modelos de Reed y Kadlec son significativamente más bajos y similares entre sí, lo que podría comprometer la calidad del tratamiento si no se ajustan otros parámetros del diseño.

Y según el análisis estadístico ANOVA el modelo de Crites y Tchobanoglous (1998) es el mejor, ya que tiene el mayor tiempo de retención hídrica, lo que mejora la remoción de contaminantes, Presenta dimensiones bien equilibradas (ancho moderado y largo suficiente) y sus diferencias respecto a los otros modelos son estadísticamente significativas en todas las variables clave.

3.2.17. Diseño de los humedales artificiales subsuperficiales del flujo horizontal

Para el diseño de los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal se diseñó de acuerdo con el cálculo de los tres modelos matemáticos, Modelo de Reed, modelo de Crites y Tchobanoglous (CT) y modelo de Kadlec y Knight (2K).

Para el diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, se seleccionó un trabajo de investigación experimental el trabajo de investigación N.º 16 de (Bustamante y Pérez, 2019) titulado, “Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies *junco Typha sp* y *vetiver Chrysopogon zizanioides* en el distrito de Saposa.

Luego de aplicar el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey a las variables de diseño de humedales artificiales horizontales (área superficial, tiempo de retención hidráulica, largo y ancho), se concluye que:

El modelo Crites y Tchobanoglous (1998) es el más eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a que presenta el mayor tiempo de retención hidráulica, lo cual permite una mejor depuración del agua, sus resultados fueron estadísticamente significativos en comparación con los otros modelos, lo que valida su superioridad técnica desde el punto de vista hidráulico. Además, su configuración estructural mantiene un balance adecuado entre eficiencia y diseño, siendo recomendable para implementaciones donde la calidad del tratamiento es el objetivo principal.

Por lo tanto, se elige el modelo Crites y Tchobanoglous (1998) como base para el diseño final del humedal artificial horizontal, ya que garantiza una mayor eficiencia de tratamiento, respaldada por resultados estadísticamente significativos y un desempeño superior en la variable crítica de tiempo de retención.

Tabla 24

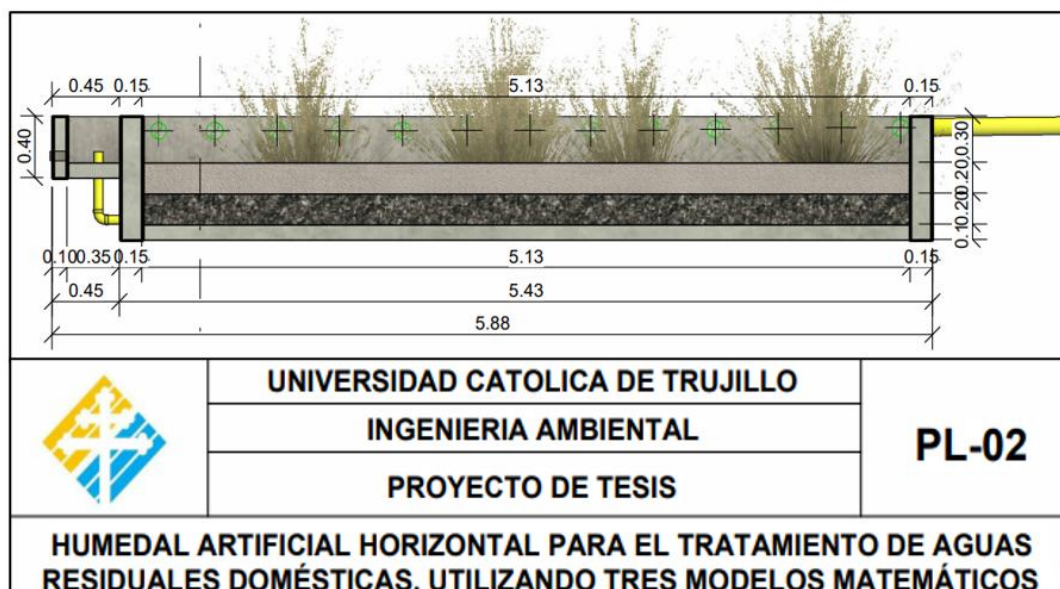
Parámetros de diseño del humedal artificial de flujo horizontal, utilizando el modelo de Crites y Thonaboglous, 1998

TIPO:		DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL	
Datos de ingreso:			
	Datos	UM	
Caudal	3	m³/d	
DBO5 inicial	247	mg/L	
DBO5 salida	100	mg/L	
Temperatura	29	°C	
Porosidad del medio granular	0.35	%	
Altura del humedal	0.7	m	
Pendiente del humedal	0.01	%	
Área superficial	8.83	m²	
Tiempo de retención hídrica	4.6	días	
Dimensiones del humedal			
Ancho	1.72	m	
Largo	5.13	m	
Número de plantas	22	Ud.	

En la tabla N° 24 presenta los datos de ingreso y resultados del diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, considerando condiciones operativas y características técnicas del sistema.

Figura 2

Diseños del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal modelo de Crites y Tchobanoglous, 1998



En la figura N.º 3 muestra un esquema técnico del diseño de un humedal subterráneo de flujo horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas, Longitud total: 5.88 m (incluyendo estructuras de entrada y salida), altura total de estructura aproximadamente 0.60 m, pendiente longitudinal no visible gráficamente, pero típicamente es de 1% distancias de protección 0.15 m a cada extremo como margen de seguridad, el ingreso del agua residual ubicada al lado izquierdo, consta de un sistema de distribución con tubería perforada y una cámara de entrada que garantiza una distribución uniforme del caudal a lo largo del ancho del humedal, la zona de tratamiento del humedal es de 5.13 m, ancho 1.72 m y profundidad útil 0.40 m, esta área está llena de material granular (grava o arena gruesa) que permite el flujo de agua horizontal debajo de la superficie y la salida el conducto encuentra al lado derecho con un registro de control de nivel, lo que permite mantener el flujo subsuperficial constante y evitar el contacto del agua con el ambiente exterior.

Este diseño sigue las directrices propuestas por Crites y Tchobanoglous (1998) y considera los parámetros de dimensionamiento calculados previamente.

Este diseño representa un sistema eficiente y de bajo mantenimiento para el tratamiento descentralizado de aguas residuales, su configuración física permite maximizar el tiempo de contacto entre el efluente y el medio, cumpliendo con criterios de

dimensionamiento técnico validados por la bibliografía especializada. además, se considera que los mecanismos de eliminación de DBO y patógenos con similares a los que se desarrollan en lagunaje (EPA, 2000)

Asimismo, Sanchez, 2013 indico que al igual que el modelo de REED es necesario la relación largo y ancho ya que tiene un gran dominio en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema, una pendiente considerable para permitir un drenaje completo, además las reacciones biológicas dependen de la temperatura para ello es importante evaluar la temperatura del agua en el humedal.

IV. DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como finalidad diseñar un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas, aplicando tres modelos matemáticos reconocidos: REED, CRITES y KADLEC. A partir de los parámetros de entrada establecidos (como caudal, carga orgánica y condiciones climáticas), se calcularon las dimensiones y características técnicas de cada modelo, las cuales fueron posteriormente comparadas mediante análisis estadísticos.

Para el desarrollo de la investigación se realizó la búsqueda sistemática de información, para ello se tuvo en cuenta los parámetros de ingreso al humedal artificial de flujo horizontal como el caudal (Q), DBO5 inicial (mg/l), DBO5 final (mg/l) y temperatura (°C), logrando seleccionar 18 trabajos de investigación y que cada uno con los parámetros de diseño concuerda con la investigación de Montalvan y Olivares (2022) “Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales con Metales Pesados, Revisión Sistemática 2022” para el desarrollo de su investigación selecciono 25 trabajos de la base de datos.

Durante el desarrollo de la investigación se calculó 18 trabajos de la base de datos utilizando los tres modelos matemáticos modelo de REED, 1995; Crites y Tchobanoglous, 1998; Kadlec and Knight, 1996 los resultados revelaron diferencias importantes entre los tres modelos en cuanto a área superficial requerida, tiempo de retención hidráulica, largo y ancho del humedal. El modelo CRITES presentó el mayor tiempo de retención (promedio de 4.6 días), así como un área superficial de 8.83 m², lo que sugiere una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes debido a un mayor tiempo de contacto entre el agua y el medio filtrante. Este modelo también mostró un diseño más alargado (5.13 m de largo), lo cual favorece un flujo uniforme y continuo, mejorando el desempeño del sistema.

En comparación, los modelos REED y KADLEC mostraron tiempos de retención mucho menores, con promedios de 0.49 y 0.53 días, respectivamente lo que podría restringir su efectividad en el tratamiento. No obstante, el modelo KADLEC se distingue por su forma más corta y más ancha, llegando un ancho hasta 4.00 m, lo que podría ser más adecuado para terrenos que tienen limitaciones en longitud. Por su parte, el modelo REED presento el diseño más compacto y equilibrado en cuanto a dimensiones más compacto y equilibrado en cuanto a dimensiones, siendo perfecto para situaciones donde el espacio es reducido.

En el diseño del humedal artificial horizontal utilizando el modelo de REDD, 1995 las dimensiones del humedal fueron área superficial 6 m², tiempo de retención hidráulica 0.49 días, ancho 1.91 m y largo 3.14 m además para completar el sistema se calculó el número de plantas requerido con un total de 15 unidades. En el diseño del humedal artificial utilizando el modelo de Crites y Tchobanoglous, 1998 las dimensiones del humedal fueron área superficial 8.83 m², tiempo de retención hidráulica 4.6 días, ancho 1.72 m y largo 5.13 y el número de plantas 22 unidades. Y para el diseño del humedal artificial horizontal utilizando el modelo de Kadlec and Knight, 1996 se obtuvo las dimensiones del área superficial 8.97 m², tiempo de retención hidráulica 0.53 días, ancho 4 m, largo 2.24 m y el número de plantas 22 unidades, para los tres modelos se utilizó el mismo conjunto de datos.

El estudio de varianza (ANOVA) y la prueba Tukey usadas en las variables de tiempo de retención y área superficial demostraron la presencia de diferencias que son estadísticamente importantes entre los modelos. En los dos casos, el modelo CRITES se destacó notablemente de los otros dos, lo que respalda su ventaja técnica en relación a la eficiencia hidráulica.

Estos hallazgos están en línea con lo señalado por autores como Crites y Tchobanoglous (1998), quienes indican que es aconsejable tener tiempos de retención superiores a 4 días para conseguir su eliminación efectiva DBO₅ en sistemas de humedales, también se apoya la perspectiva de que el diseño debe ajustarse a las características del entorno, teniendo en cuenta tanto la eficacia técnica como la cantidad de terreno disponible. Por lo tanto, se llega a la conclusión de que el modelo CRITES es el más apropiado desde una perspectiva técnica para la situación que se aborda en esta investigación. Sin embargo, los modelos de REDD y KADLEC siguen siendo opciones válidas, sobre todo cuando se necesita maximizar el uso del espacio o disminuir los costos de construcción.

V. CONCLUSIONES

1. Se recopiló y analizó la información científica y técnica reciente sobre los parámetros clave para diseñar humedales artificiales horizontales, esto abarca el flujo de diseño, la carga DBO_5 , la temperatura, la porosidad del material filtrante, la inclinación y las medidas físicas del sistema, esta revisión proporcionó una base firme para implementar adecuadamente los modelos matemáticos elegidos.
2. Se eligieron tres modelos de matemáticas reconocidos en el área de ingeniería sanitaria y ambiental: REED, CRITES y KADLEC. El uso de estos modelos permitió medir y evaluar las características técnicas del humedal, el modelo CRITES se destacó por proporcionar un tiempo de retención hidráulica más prolongado y un diseño más extenso, lo que mejora la eficacia en la limpieza del efluente. Los modelos REED y KADLEC, aunque son más pequeños, presentan opciones adecuadas según las condiciones del terreno.
3. Se logró diseñar un humedal artificial que tiene un flujo horizontal por debajo de la superficie, utilizando tres modelos matemáticos diferentes (REED, CRITES y KADLEC). Esto hizo posible comparar elementos de diseño importantes, como el área de la superficie, el tiempo de retención y el tamaño físico del sistema. El estudio estadístico mostró que el modelo CRITES ofrece un diseño que permite un mayor tiempo de contacto y una mejor eficiencia en la eliminación de contaminantes, posicionándose como la opción técnica más adecuada para tratar aguas residuales en condiciones similares a las mencionadas.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda considerar el análisis de todos los parámetros técnicos identificados (caudal, DBO₅, temperatura, porosidad, etc.) en futuros diseños de humedales. los parámetros de diseño en humedales artificiales de flujo horizontal para los tres modelos matemáticos.
2. Se recomienda la búsqueda de más revisiones sistemáticas sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala real, piloto o de laboratorio con la finalidad de conocer las nuevas metodologías que se vienen realizando para el tratamiento de aguas residuales domésticas y así mitigar los índices de contaminación.
3. Se recomienda Aplicar el modelo CRITES en proyectos que requieran alta eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, en base a la conclusión general, se recomienda utilizar este modelo en contextos donde se disponga del espacio adecuado y se priorice la calidad del efluente tratado, ya que demostró mayor tiempo de retención y mejor desempeño técnico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreo, P. D. (2014). Evaluación y Diseño de un Humedal Construido para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas [Tesis de postgrado, Universidad de Murcia]. [Http://www.tdx.cat/handle/10803/286327](http://www.tdx.cat/handle/10803/286327)
- Bustamante, E., y Pérez, W. T. (2019) *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver chrysopogon zizanioides en el distrito de Saposoa* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2763>
- García, M. E., Pérez, J. A., L. (s.f.). *Aguas Residuales. Composición*. [Tesis de pregrado]. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/56798574/aguas_residuales_composicion.pdf?responsecontentdisposition=inline%3Bfilename%3Daguas_residuales._composicion.pdf&xamzf%2fweacxvzlwvhc3qtmsjhmeucih8zizq4wd9bzbv%2fsx3gdb5fvl23pb3ahbftzmhzk7mqhji2lcidxkh2op5lrmt6me1kyfphfs%2fgufqv3h27nmdcrisignature=963902e2e2c2ab36a7be1afa12a4e22eef943f7c7cbe4f7a4798381550db1eaf
- Gómez, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando cyperus alternifolius y chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2875>
- Pulcha, J. R., y Valencia, M. P. (2019). *Evaluación de la degradación de contaminantes ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rabat, J. (2016). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración* [Tesis de maestría, Universidad de Alicante]. <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf>
- Residuales,A.(S.f.).*Aguas residuales* [Tesis de pregrado]. [.http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf)
- Saavedra, C, B. (2017). *Aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura].

<http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/792>

- Villarroel, C. M. (2005). *Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales el cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial* [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Trujillo]. http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/III/3/3.3.15.pdf
- Cejas Barja, M.(2021) *Implementación Piloto De Un Humedal Artificial De Flujo Subsuperficial Horizontal En La Universidad Nacional De Moquegua, Para El Tratamiento Del Agua Residual De La Laguna Primaria De La Planta De Tratamiento De Agua Residual – Ptar Del Distrito De Pacocha, Ilo 2017*. [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Moquegua]. <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/223>
- Valverde, Q., Peña, Orocaja. (2021) *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de humedales artificiales mejorados con las especies cyperus papyrus y phragmites australis* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur].
- Valdez, E., y Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los Sistemas De Tratamiento Y Disposición De Aguas Residuales*. In Fundación Ica. https://www.academia.edu/31205529/Ingeniería_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales
- Delgadillo, O., Camacho, A., Andrade, M., Y Perez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/dat/publicaciones/geologia/vol9_n17/a11.pdf
- Metcalf Y Eddy. (1985). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, Vertido y reutilización*. In Psychology Applied to Work: An Introduction to Industrial and Organizational Psychology, Tenth Edition Paul: Vols. I–II (Issue 9, p. 1507). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sperling, M. von. (2008). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. In Choice Reviews Online (Vol. 45, Issue 05). <https://doi.org/10.5860/choice.45-2633>
- Beascochea, E., Muñoz, M., & Fernandez, D. (n.d.). *Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*.
- Almuktar, S. A. A. N., Abed, S. N., & Scholz, M. (2018). Wetlands for wastewater

treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 2359523623. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3>

Andreo, P. D. (2014). *Evaluación y Diseño de un Humedal Construido para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas* [Tesis de postgrado, Universidad de Murcia]. [Http://www.tdx.cat/handle/10803/286327](http://www.tdx.cat/handle/10803/286327)

Bustamante, E., y Pérez, W. T. (2019) *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver chrysopogon zizanioides en el distrito de Saposoa* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2763>

García, M. E., Pérez, J. A., L. (s.f.). *Aguas Residuales. Composición*. [Tesis de pregrado]. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/56798574/aguas_residuales_composicion.pdf?responsecontentdisposition=inline%3bfilename%3Daguas_residuales_composicion.pdf&xamzf%2fweacxvzlwvhc3qtmshmeucih8zqi4wd9bzbv%2fsx3gdb5fvl23pb3ahbftzmhzk7mqhji2lidxkh2op5lrmt6me1ykyfphfs%2fgufqv3h27nmdcrisignature=963902e2e2c2ab36a7be1afa12a4e22eef943f7c7cbe4f7a4798381550db1eaf

Gómez, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando cyperus alternifolius y chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2875>

Pulcha, J. R., y Valencia, M. P. (2019). *Evaluación de la degradación de contaminantes ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Rabat, J. (2016). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración* [Tesis de maestría, Universidad de Alicante]. <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf>

Residuales, A. (S.f.). *Aguas residuales* [Tesis de pregrado]. [.http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf)

- Saavedra, C, B. (2017). *Aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/792>
- Villarroel, C, M. (2005). *Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales el cortijo para uso agrícola con humedales contruidos de flujo superficial* [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Trujillo]. http://www.ciiq.org/varios/peru_2005/Trabajos/III/3/3.3.15.pdf
- Cejas Barja, M.(2021) *Implementación Piloto De Un Humedal Artificial De Flujo Subsuperficial Horizontal En La Universidad Nacional De Moquegua, Para El Tratamiento Del Agua Residual De La Laguna Primaria De La Planta De Tratamiento De Agua Residual – Ptar Del Distrito De Pacocha, Ilo 2017*. [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Moquegua]. <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/223>
- Valverde, Q., Peña, Orocaja. (2021) *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de humedales artificiales mejorados con las especies cyperus papyrus y phragmites australis* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur].
- Valdez, E., y Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los Sistemas De Tratamiento Y Disposición De Aguas Residuales*. In Fundación Ica. https://www.academia.edu/31205529/Ingeniería_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposición_de_aguas_residuales
- Delgadillo, O., Camacho, A., Andrade, M., Y Perez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/data/publicaciones/geologia/vol9_n17/a11.pdf
- Metcalf Y Eddy. (1985). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, Vertido y reutilización*. In *Psychology Applied to Work: An Introduction to Industrial and Organizational Psychology*, Tenth Edition Paul: Vols. I–II (Issue 9, p. 1507). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sperling, M. von. (2008). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. In *Choice Reviews Online* (Vol. 45, Issue 05). <https://doi.org/10.5860/choice.45-2633>
- Beascochea, E., Muñoz, M., & Fernandez, D. (n.d.). *Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*.

- Almuktar, S. A. A. N., Abed, S. N., & Scholz, M. (2018). Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: *a review. Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 2359523623. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3>
- Lu, S., Pei, L., & Bai, X. (2015). Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.165>
- Llagas Chafloque, W. A., & Guadalupe Gómez, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. Perú. 15, 85–96. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v9i17.699>
- Mara, D. (2013). Domestic wastewater treatment in developing countries. In *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. <https://doi.org/10.4324/9781849771023>
- Rojas, M. Y., y Purihuamán, C. N. (2018). Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en humedales de flujo subsuperficial. *tzhoecon*, 10(1), 13–24. <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.125751>
- Romero, M., Colín Cruz, A., Sánchez Salinas, E., & Ortiz Hernández, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(3), 157–167. <https://www.researchgate.net/publication/41619897%0D>
- Yalan, R., Chuqipiondo, C., y Villacorta Flores, L. (n.d.). La Recirculación De Las Aguas Efluentes Con Humedales Artificiales En La Región Loreto , Perú. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana*. 28(2), 215–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.24841/fa.v27i2.455>
- Fernández Gonzáles, J. (2005). Humedales artificiales para depuración. *Jesús*. 3349, 282–290. <https://doi.org/10.1117/12.316498>
- Gutiérrez, V., et al., (2022). Alternativa de tratamiento terciario de aguas residuales mediante humedal de flujo subsuperficial para reusó agrícola. <https://revistaalfa.org>
- Surichaqui, M., (2022) Tratamiento de Aguas Residuales con Humedales Artificiales en la

Comunidad Nativa Teoría – Satipo, en el Año 2020.
<https://hdl.handle.net/20.500.12848/4961>

Inga, S., Velez, Ch., (2022) Tratamiento con humedales artificiales de aguas residuales canalizadas para su uso en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión - 2022. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Reyes, O., et., (2023). Modelo matemático de un sistema basado en la naturaleza (SBN) por medio de humedales construidos para tratamiento de aguas residuales utilizando plantas endémicas. https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2023/07/3_26_modelo-matematico-de-un-sistema-basado-en-la-naturaleza-sbn-por-medio-de-humedales-construidos-para-tratamiento-de-aguas-residuales-utilizando-plantas-endemicas.pdf

Convenio Sobre los Humedales. (2006). *documento informativo que son los humedales*
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual_2006s.pdf.

Iagua. (Enero de 2013) *Los humedales artificiales*. Obtenido de
<https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado*. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>

OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

DS- 003-2010. (MINAM, 2010). Perú Ministerio del ambiente Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

TITULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
Humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas, utilizando tres modelos matemáticos	Problema ¿Cuáles son los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando tres modelos matemáticos? Problemas específicos: ¿Cuál es la información con respecto a los parámetros de diseño en humedales artificiales? ¿Cuáles son los tres modelos matemáticos que	Hipótesis El diseño de un humedal artificial horizontal utilizando modelos matemáticos permite establecer parámetros técnicos adecuados para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Hipótesis específicas: H0: Si existen diferencias significativas entre los valores de las variables de diseño (área superficial, tiempo de retención, largo y ancho del humedal) obtenidas a partir de la aplicación de los tres modelos matemáticos.	Objetivo general Diseñar un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando tres modelos matemáticos. Objetivos específicos a) Realizar la búsqueda sistemática de información con respecto a los parámetros de diseño en	Variable Independiente: Parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal. Variable dependiente: modelos matemáticos	Parámetros de diseño Componentes Modelo RED, 1995 Modelo de Crites y Tchobanoglous (CT), 1998 Modelo de Kadlec y Knight (2K), 1996	Tipo: el tipo de investigación cuantitativa no experimental Métodos: Descriptivo-comparativo Diseño: Cuantitativo transversal. Población y muestra: Población: está conformada por 80 investigaciones Muestra: está conformada por 18 investigaciones Técnica e instrumentos de recolección de datos: revisión bibliográfica en la base de datos

calculen los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas?	H1: No existen diferencias significativas entre los valores de las variables de diseño (área superficial, tiempo de retención, largo y ancho del humedal) obtenidas a partir de la aplicación de los tres modelos matemáticos.	b) Seleccionar tres modelos matemáticos que calculen los parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas.	Scopus, SciELO y Springer, donde se identificarán tres modelos matemáticos (Modelo Reed 1995, Modelo de Kadlec and Knight 1998, Modelo de Crites y Tchobanoglous CT) 1996 para el diseño de un humedal artificial de flujo horizontal. Métodos de análisis de investigación: Análisis documental y aplicación de estadística inferencial (ANOVA y prueba de Tukey).
---	--	---	---

Anexo 2: cuadro de operacionalización/categorización de variables

Variable	Variable	Dimensión	Indicador	Fórmula
Variable Independiente: Parámetros de diseño de un humedal artificial horizontal	Según (Armengol, 2016) los humedales artificiales son estructuras con la finalidad de optimizar los procesos de depuración y sus principales componentes o parámetros como caudal, DBO5, sustrato y vegetación.	Parámetros de diseño	Caudal m ³ /día	$Q = \frac{V(m^3)}{t(dia)}$
			Tiempo de retención	$TRH = \frac{n \cdot h \cdot AS}{Q}$
			Área superficial	$AS = \frac{Q \cdot \ln(DBO) - \ln(DBO)}{KT \cdot h \cdot n}$
Variable dependiente: modelos matemáticos	Son modelos matemáticos que se basan en datos de ingreso y salida de contaminantes en humedales artificiales (Rabat y Trapote, 2016)	Componentes	Material granular	$Porosidad = n\%$
			Constante de temperatura	$KT = K20(1.06)^{(t2 - 20)}$
			Área superficial	$AS = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt \cdot n \cdot h}$
			Tiempo de retención	$TRH = \frac{(As)(h)(n)}{Q}$
			Dimensiones	
			Número de plantas requeridas	$Np \left(\frac{L}{dm - m} - 1 \right) \left(\frac{W}{dm - m} - 1 \right)$

	constante de velocidad	$KT = K20(1.06) \exp(t - 20)$
Modelo de Crites, 1998 y Tchobanoglous (CT)	Tiempo de retención hidráulica Área superficial $AS = \frac{(Q)(TRH)}{(h)(n)}$	
	Constante de velocidad Área superficial	$KA = K20 \theta T \exp(T - 20)$ $AS = \frac{Q}{KA} \ln\left(\frac{Co}{Ce}\right)$
Modelo de Kadlec y Knight (2K), 1996	Tiempo de retención hidráulica Área de sección transversal	$TRH = \frac{nAsh}{Q}$ $At = \frac{Q}{\left(\frac{Ks}{Q}\right)(m)}$
	Ancho	$W = \frac{At}{h}$
	Largo	$L = \frac{As}{W}$
	Número de plantas	$Np\left(\frac{L}{0.5} - 1\right)\left(\frac{W}{0.5} - 1\right)$

Anexo 3 : Reporte de Turnitin

Nancy Vannesa Rodriguez Rodriguez

TESIS-NANCY VANNESA RODRIGUEZ RODRIGUEZ

 INFORMES DE TESIS

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:539623462

Fecha de entrega

11 dic 2025, 16:35 GMT-5

Fecha de descarga

12 dic 2025, 12:24 GMT-5

Nombre del archivo

TESIS-NANCY VANNESA RODRIGUEZ RODRIGUEZ.docx

Tamaño del archivo

1.6 MB

124 páginas

16.737 palabras

92.172 caracteres



Página 2 de 132 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:539623462

19% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

17%  Fuentes de Internet

3%  Publicaciones

9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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