

Humedal artificial: una alternativa sostenible para la gestión del agua

Artificial wetland: Sustainable alternative for water management

González Gutiérrez Oliver Davis, Zempoaltecatl Cruz Paola, Reyes-Pérez Eneida[†].

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología, Ingeniería Química, Apizaco Tlaxcala.

20230076@uatx.mx, eneida.reyes@uatx.mx[†]

Resumen

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de agua residual que tienen la capacidad de remoción de contaminantes y mejorar la calidad del agua, lo cual la hace una opción atractiva para el tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas o que no cuentan con la infraestructura necesaria para la construcción de una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales). Este proyecto presenta el diseño de una tecnología sostenible, de bajo costo para su implementación, que ayuda a la protección del medio ambiente y salud pública, reduciendo la contaminación en los cuerpos de agua. En este trabajo se propone el diseño para la construcción de un humedal artificial, a partir de la información reportada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua del 2022. Los parámetros para el diseño son la población, la temperatura más baja que se registra en el lugar de San Luis Apizaquito de Apizaco, Tlaxcala y el espacio disponible para la construcción dentro de la Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología. Los sustratos para este diseño son grava, arena, bambú, arcilla y una geomembrana para evitar las filtraciones de agua residual al suelo y la Typha latifolia (Tule) es una opción viable siendo nativa de la zona. Las medidas del diseño son largo por ancho igual a 96.90 cm por 32.30 cm y 1 metro de profundidad que corresponden a un humedal subsuperficial de tipo vertical.

Palabras clave: Diseño, humedal, artificial, sostenible

Introducción

La propuesta de diseño y construcción de un humedal artificial se orienta a implementar un sistema de tratamiento de aguas basado en un proceso físico controlado, que replican los mecanismos naturales de un humedal. Este sistema utilizará interacciones entre el agua, el sustrato y las plantas hidrofíticas para la remoción de contaminantes a través de procesos de sedimentación, filtración, absorción, adsorción y transformaciones biológicas, como la nitrificación-desnitrificación y la degradación de materia orgánica. El diseño contempla la selección de especies vegetales específicas con alta capacidad de asimilación de nutrientes, la disposición de capas de sustratos de distinta granulometría que favorezcan la filtración, la infiltración, y la creación de zonas de flujo subsuperficial para optimizar el tiempo de retención hidráulica. Esto permitirá un tratamiento eficiente de las aguas residuales, reduciendo contaminantes como nutrientes (nitrógeno y fósforo), materia orgánica, sólidos suspendidos y metales pesados. Se investiga a través de bibliografía confiable el diseño de un humedal artificial. Se diseña teóricamente un humedal artificial de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales como una tecnología amigable con el medio ambiente que permitan dar tratamiento a aguas residuales para que vuelvan a ser reutilizables. Este trabajo tiene como finalidad proponer el diseño de un humedal subsuperficial ya que es un sistema viable para el tratamiento de aguas residuales.

Antecedentes

El concepto de humedales artificiales se remonta a la década de 1950, cuando se realizaron las primeras investigaciones para mejorar la calidad del agua mediante procesos naturales. Desde entonces, su desarrollo ha evolucionado significativamente, permitiendo su aplicación en una amplia gama de proyectos, tanto en zonas urbanas como rurales. Estos sistemas se utilizan no solo para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, sino también para el manejo de escorrentías pluviales, la mejora de la calidad del agua en cuerpos hídricos y la restauración de ecosistemas degradados (Hernández, 2022).

En cuanto a su diseño y construcción, los humedales artificiales pueden ser de flujo superficial o subterráneo, y cada uno de estos tipos tiene características específicas que deben adaptarse a las condiciones locales y a las necesidades del proyecto (Amado, 2021). La selección de plantas, la configuración hidráulica y los materiales del sustrato son aspectos clave en el diseño, ya que determinan la eficiencia y durabilidad del sistema. Además, los humedales artificiales destacan por ser soluciones sostenibles, de bajo costo operativo y mantenimiento, promoviendo la biodiversidad y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

El creciente interés por la sostenibilidad y la gestión eficiente del agua ha impulsado la implementación de humedales artificiales como una alternativa ecológica y eficiente en proyectos de infraestructura verde y tratamiento de aguas.

Metodología

El diseño del humedal artificial está inspirado en Hernández (2022) para el Laboratorio de Ciencias Ambientales en la Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología. En base a la información sobre cómo construir un humedal para el tratamiento de agua residual en mi escuela por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), se desarrolla en Excel el diseño para el cálculo y se visualizan las medida, así como de manera teórica la construcción de un humedal subsuperficial, por lo que se permite calcular el área superficial del humedal, tomando como parámetros de entrada la población, la temperatura promedio más baja que se registra en el lugar, de igual manera se utilizaron datos tabulados del IMTA, 2022 estos datos son valores teóricos que se utilizan en el diseño se obtuvieron de reporte por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en 2022, del anexo A, Tabla 1 que corresponde a las áreas con base en temperatura del agua de 5.0°C, área por persona 1.2026 m², tiempo de residencia del agua 8.62 días y el anexo B respecto a las temperaturas mínimas promedio por estado en México en 2019. En primera instancia se requieren los datos de la población y la temperatura promedio del mes más frío, al cual se le sumará 3 de acuerdo con Hernández, 2022. Con la Ecuación (1) se calcula la temperatura promedio del mes más frío de la región de San Luis Apizaquito en Apizaco del estado de Tlaxcala.

$$TDD=T+3 \quad (1)$$

Donde: T= Temperatura promedio del mes más frío de la región en °C, TDD= Temperatura de diseño en °C;

Con el valor que se obtiene de la Ecuación (1) respecto a la temperatura calculada de TDD se obtienen los valores índices para TS (Tanque séptico), HL (Humedal de lodos), HFV (Humedal de flujo vertical), HFH (Humedal de flujo horizontal) a partir de Hernández, 2022. Los valores índices se multiplican por el número de población para obtener los nuevos valores de índice. Para determinar el largo del humedal se debe obtener la raíz cuadrada de la multiplicación entre TS y 3 de acuerdo con la Ecuación (2). Para obtener el ancho se debe obtener el cociente entre TS y Largo de acuerdo con la Ecuación (3).

$$\text{Largo (L)}=\sqrt{3*TS} \quad (2)$$

$$\text{Ancho}=TS/L \quad (3)$$

De acuerdo con la información proporcionada por Hernández, 2022 del Anexo C se selecciona *Typha latifolia* (Tule) debido a que es una especie de planta de la región teniendo una adaptación al clima, favoreciendo su tiempo de vida, resistente durante el proceso de extracción, traslado y siembra, que tolera la concentración



de contaminantes, con una característica que se busca en el buen desarrollo en raíz con una longitud de 50 centímetros y que, además no sean una especie invasora en lugar.

Resultados y discusión

En las Figuras 1 y 2 se observa el diseño del humedal, una profundidad de 1 m, el área 0.313 m, con una relación largo/ancho de 3:1. Los materiales son arena, arcilla y granulometría de 4 a 6 cm, 4 a 2 cm y 2 a 1 cm del fondo a la superficie. La planta que se eligió para este proyecto fue "Typha latifolia" mejor conocida como Tule, ya que cumple con las características respecto a la ubicación y tipo de humedal a construir.

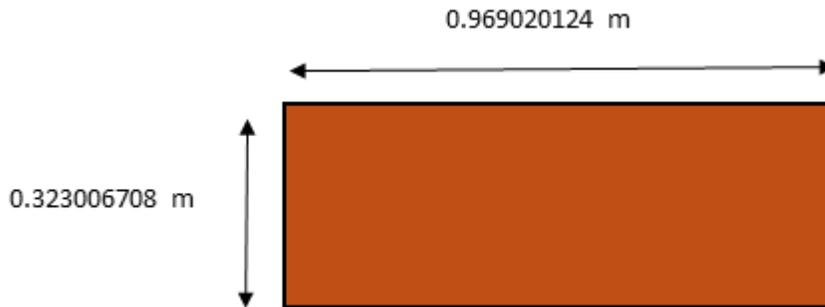


Figura 1. Representación de medidas del área superficial del humedal (elaboración propia).

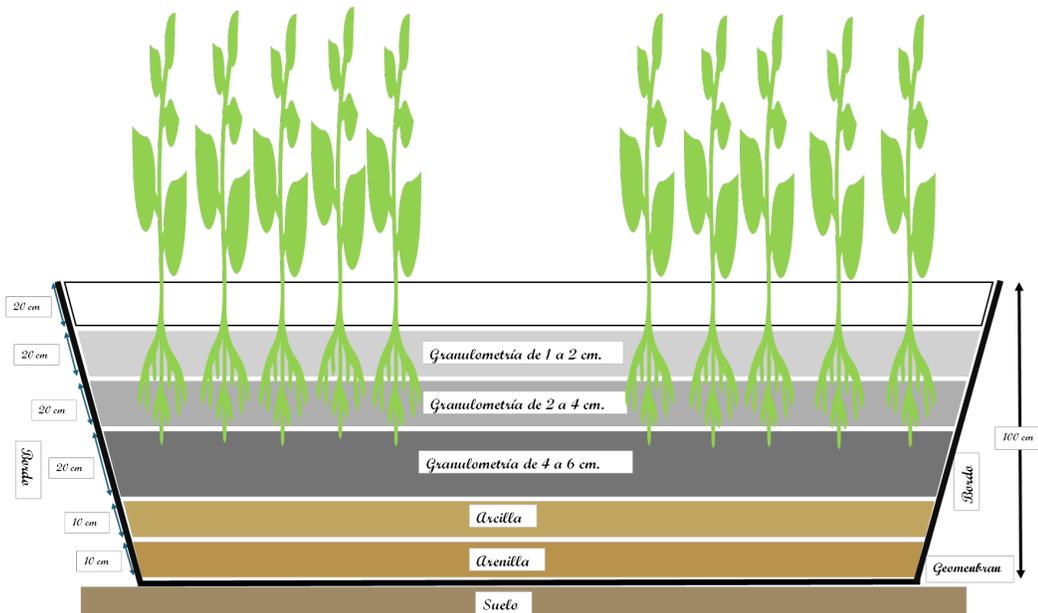


Figura 2. Representación del esquema de las diferentes capas con las plantas del humedal. (Hernández, 2022).

Los Beneficios son mejora la calidad del agua, reduce la carga de contaminantes en los cuerpos receptores, proporciona hábitat para la biodiversidad, es una tecnología de bajo costo y mantenimiento. Respecto a las limitaciones se requiere espacio disponible, la eficiencia puede variar según condiciones climáticas y de carga. Los resultados son teóricos replicados de un ejemplo en Hernández (2022) y podrían variar según condiciones específicas del proyecto. Es importante considerar factores como clima, geología y carga de contaminantes para optimizar el diseño y funcionamiento del humedal. Cabe señalar que, no se obtuvieron datos cuantitativos sobre la mejora de la calidad del agua, ni de otro parámetro medido.

Conclusiones

El diseño de un humedal subsuperficial vertical constituye una solución ecológica eficiente para el tratamiento de aguas residuales. A partir de la metodología presentada, se establecieron las dimensiones óptimas, así como la selección adecuada de sustratos y vegetación, logrando un sistema de depuración efectivo. Este enfoque resulta especialmente viable para comunidades rurales y proyectos sostenibles de pequeña y mediana escala. Además, su capacidad para conservar recursos naturales y promover la biodiversidad refuerza su relevancia en la gestión ambiental responsable. Las dimensiones definidas para la construcción en el laboratorio de ambiental de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología son: 96.90 cm de largo, 32.30 cm de ancho y 100 cm de profundidad. Estos sistemas ofrecen un bajo requerimiento de mantenimiento y alta resiliencia, posicionándolos como una alternativa valiosa en iniciativas de sostenibilidad ambiental, especialmente en contextos con recursos limitados que buscan métodos más ecológicos en comparación con los tratamientos convencionales de aguas.

Agradecimientos

Se expresa el más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo sobre el diseño y construcción teórica de un humedal subsuperficial vertical.

En primer lugar, se agradece a la Dra. Eneida Reyes Pérez por su invaluable orientación, comentarios constructivos y apoyo continuo durante todo el desarrollo del proyecto. Su experiencia y dedicación han sido fundamentales para la adecuada ejecución de esta investigación.

Asimismo, se agradece a las fuentes bibliográficas y estudios previos, los cuales han sido una guía esencial en la construcción teórica de este proyecto, contribuyendo al avance en el entendimiento y desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

Bibliografía

- Hernández, A. R. (2022). ¿CÓMO CONSTRUIR UN HUMEDAL PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN MI ESCUELA? Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/ecoagua/ecoagua-humedal-tratamiento-del-agua-residual.pdf>
- Amado Enrique Navarro Frómeta, R. J. D. M. (2021). *Tecnologías para la gestión sostenible del agua*. Aguanet.com.Mx. http://chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.aguanet.com.mx/archivos/Tecnologias_para_la_gestion_sostenible_del_agua.pdf
- EPA. (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial*. http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf

