

# Fotogrametría, alternativa para la evaluación de biomasa en humedales construidos

**RESUMEN:** La creciente preocupación por el medio ambiente ha llevado al desarrollo de humedales construidos como una solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas imitan los procesos naturales mediante plantas y microorganismos, mejorando la calidad del agua. Monitorear la biomasa vegetal es crucial para optimizar su funcionamiento, ya que influye en la capacidad del humedal para eliminar contaminantes. La fotogrametría se presenta como una alternativa prometedora para la evaluación de la biomasa en humedales construidos, sistemas diseñados para tratar aguas residuales de manera natural. Este trabajo es una revisión bibliográfica cuyo objetivo es analizar el potencial de la fotogrametría en la estimación de biomasa, considerando su precisión, eficiencia y ventajas frente a otros métodos tradicionales. Para la realización de la investigación, se consultaron bases de datos como Scopus, Web of Science y Google Scholar, seleccionando estudios entre los años 2010 y 2024. Los criterios de inclusión se centraron en investigaciones que abordaron la estimación de biomasa mediante fotogrametría, y se utilizaron las palabras clave: "fotogrametría", "biomasa vegetal", "tratamiento de aguas residuales" y "humedales construidos".

Los resultados indican que la fotogrametría ofrece importantes ventajas en cuanto a costo, tiempo y accesibilidad, además de generar modelos 3D detallados que permiten una evaluación más precisa de la biomasa.

**PALABRAS CLAVE:** Fotogrametría, biomasa vegetal, tratamiento de agua residual, humedales construidos y evaluación de biomasa.



## Colaboración

Zayda Yamileth Ruiz Ramírez; Sandra Guadalupe García Aburto; Luis Carlos Sandoval Herazo, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 15 de septiembre de 2024

Fecha de aceptación: 13 de octubre de 2024

**ABSTRACT:** Growing environmental concerns have led to the development of constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment. These systems mimic natural processes through plants and microorganisms, improving water quality. Monitoring plant biomass is crucial for optimizing their performance, as it influences the wetland's capacity to remove contaminants. Photogrammetry emerges as a promising alternative for biomass assessment in constructed wetlands, systems designed to naturally treat wastewater. This work is a literature review aimed at analyzing the potential of photogrammetry in biomass estimation, considering its accuracy, efficiency, and advantages compared to other traditional methods. For the research, databases such as Scopus, Web of Science, and Google Scholar were consulted, selecting studies from 2010 to 2024. The inclusion criteria focused on research that addressed biomass estimation using photogrammetry, and the keywords used were: "photogrammetry," "plant biomass," "wastewater treatment," and "constructed wetlands."

The results indicate that photogrammetry offers significant advantages in terms of cost, time, and accessibility, while also generating detailed 3D models that allow for more precise biomass evaluation.

**KEYWORDS:** Photogrammetry, plant biomass, wastewater treatment, constructed wetlands, and biomass assessment.

## INTRODUCCIÓN

El creciente interés por soluciones sostenibles en la gestión del agua ha impulsado el desarrollo de humedales artificiales, sistemas que imitan los procesos naturales para depurar aguas residuales mediante plantas y microorganismos. Estos ecosistemas artificiales se han consolidado como una herramienta eficaz para mejorar la calidad del agua y mitigar la contaminación. Sin embargo, para maximizar su eficiencia, es fundamental monitorear el crecimiento de la biomasa vegetal, ya que esto influye directamente en la capacidad del humedal para eliminar contaminación.

La fotogrametría ha surgido como una técnica innovadora para realizar este monitoreo de manera precisa y no invasiva [1]. Mediante la captura de imágenes desde diferentes ángulos y el uso de software especializado, es posible generar modelos tridimensionales detallados que permitan medir la biomasa sin necesidad de alterar el entorno [2]. Esta tecnología ofrece varias ventajas frente a los métodos tradicionales, como una mayor precisión, rapidez en el análisis y la capacidad de cubrir grandes áreas en poco tiempo.

El objetivo de este estudio es explorar cómo la fotogrametría está revolucionando la medición de la biomasa en humedales construidos, destacando sus beneficios para el monitoreo eficiente de estos sistemas y su potencial para mejorar la gestión del agua y el tratamiento de residuos [3].

### MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación es de tipo cualitativa, basada en una revisión de artículos científicos que abordan la aplicación de la fotogrametría en la medición de biomasa vegetal en humedales construidos. Se ha utilizado una base de datos con publicaciones de la última década, complementada con investigaciones de décadas anteriores para proporcionar una visión más completa, especialmente en lo que respecta a los fundamentos teóricos de la fotogrametría. La revisión incluyó artículos, capítulos de libros, libros y tesis, tanto en inglés como en español.

Durante el proceso de revisión bibliográfica para la elaboración del estado del arte, se realizó una búsqueda exhaustiva de literatura científica sobre la aplicación de la fotogrametría en el monitoreo de humedales construidos. Esta búsqueda se llevó a cabo en bases de datos académicos y científicos de renombre, como Google Scholar y ScienceDirect, para asegurar la relevancia y exhaustividad de los resultados.

El criterio de búsqueda está basado en el uso de palabras clave que reflejen tanto el tema general como los aspectos específicos de la investigación, para esto se usó una combinación de palabras claves principales: Fotogrametría, biomasa, humedales construidos, evaluación de biomasa y monitoreo ambiental [3]. Así mismo el empleo de palabras clave secundarias: Modelo 3D de biomasa, sensores remotos, estimación de biomasa no destructiva, tecnología de drones en humedales e innovaciones en fotogrametría aplicada.

Con el fin de tener una combinación más extensa se emplearon los operadores booleanos AND, OR y NOT para refinar la búsqueda.

Para la selección de información se aplicó criterios de inclusión y exclusión los cuales fueron los siguientes: Inclusión: Publicaciones entre 2010 y 2024, para asegurar la relevancia tecnológica actual, artículos que describan la implementación de fotogrametría en la estimación de

biomasa, estudios en humedales construidos u otros ecosistemas acuáticos, aplicables al contexto de humedales artificiales, estudios que comparen la fotogrametría con otros métodos de estimación de biomasa (por ejemplo, métodos destructivos y no destructivos).

Se excluyen artículos que no presenten datos empíricos (por ejemplo, artículos de opinión o puramente teóricos), estudios en ecosistemas completamente distintos, como bosques o praderas, a menos que la metodología sea directamente transferible, publicaciones anteriores al año 2000 (salvo que se trate de revisiones históricas o fundamentales).

Finalmente, un resumen de la revisión bibliográfica discutiendo las principales ventajas de la fotogrametría como método de evaluación de biomasa en humedales construidos, sus limitaciones actuales y las posibles desventajas del método.

### RESULTADOS

La creciente inquietud por el medio ambiente y la búsqueda de alternativas sostenibles para la gestión del agua y el tratamiento de desechos han motivado el avance de los humedales construidos. Estos sistemas son diseñados para imitar los procesos naturales de depuración del agua, utilizando plantas y microorganismos para eliminar contaminantes [1]. Para optimizar su funcionamiento, es crucial realizar un monitoreo constante de la biomasa vegetal, ya que su crecimiento influye directamente en la capacidad del sistema para filtrar y procesar las aguas residuales.

Una de las herramientas más innovadoras para realizar estas mediciones de manera precisa y eficiente es la fotogrametría [1], una técnica que utiliza imágenes para crear modelos tridimensionales detallados. Este artículo explora cómo la fotogrametría está revolucionando la medición de biomasa en humedales construidos [4].



Figura 1 Humedal construido para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con BTEX y MTBE del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La fotogrametría es una técnica que permite la medición y análisis de objetos y espacios a través de fotografías. A partir de múltiples imágenes capturadas desde diferentes ángulos [3], un software especializado puede generar modelos tridimensionales precisos. Estas imágenes pueden ser tomadas desde drones, cámaras aéreas o incluso a nivel del suelo, dependiendo de la escala y los detalles requeridos [5].

En el contexto de la medición de biomasa, la fotogrametría permite cuantificar el volumen y la estructura de la vegetación en los humedales de manera no invasiva, sin necesidad de cortar plantas o alterar el entorno.

### Importancia de la medición de biomasa en humedales construidos

La biomasa vegetal en los humedales construidos juega un papel clave en el funcionamiento de estos ecosistemas. Las plantas actúan como filtros naturales, ayudando a eliminar contaminantes y a mantener la calidad del agua. Un crecimiento excesivo de biomasa puede generar problemas, como la obstrucción del flujo de agua o la disminución del oxígeno disponible, mientras que una biomasa insuficiente puede reducir la eficacia del sistema [6].

Por esta razón, es fundamental monitorear la biomasa regularmente para mantener un equilibrio óptimo. Métodos tradicionales, como la recolección y pesaje de plantas, pueden ser invasivos y consumir mucho tiempo [3]. Aquí es donde la fotogrametría ofrece una solución más eficiente.

### Ventajas de la fotogrametría en la medición de biomasa

El uso de fotogrametría para evaluar la biomasa en humedales construidos presenta varias ventajas en comparación con los métodos convencionales:

1. No invasiva: No es necesario alterar el ecosistema o cortar plantas para obtener datos precisos.
2. Alta precisión: Los modelos tridimensionales generados a partir de imágenes pueden ofrecer una representación detallada de la vegetación, permitiendo estimaciones precisas del volumen de biomasa [7].
3. Rapidez en el análisis: En lugar de realizar mediciones manuales, las imágenes pueden ser capturadas en poco tiempo y procesadas automáticamente por software, lo que acelera el monitoreo.
4. Cobertura de grandes áreas: Con el uso de drones, es posible cubrir extensas superficies de humedales en poco tiempo, obteniendo una visión completa y detallada del estado de la vegetación.
5. Historial temporal: Al capturar imágenes en diferentes momentos, se puede generar un historial del creci-

miento de la biomasa, permitiendo identificar patrones estacionales o detectar problemas a largo plazo [8].

### Proceso de medición de biomasa mediante fotogrametría

El proceso de medición de biomasa en humedales construidos a través de fotogrametría puede resumirse en los siguientes pasos [9]:

1. Captura de imágenes: Se toman imágenes de la vegetación desde diferentes ángulos, ya sea mediante drones o cámaras situadas en puntos estratégicos del humedal.
2. Generación del modelo 3D: Un software especializado combina las imágenes para crear un modelo tridimensional de la vegetación. Este modelo representa el volumen de la biomasa de manera precisa.
3. Cálculo del volumen: A partir del modelo 3D, se calculan parámetros como la altura, densidad y volumen de la vegetación. Estos datos se correlacionan con la cantidad de biomasa presente.
4. Análisis y monitoreo: Los datos obtenidos se utilizan para analizar el estado del humedal, hacer ajustes en la gestión de este y planificar futuras intervenciones.

### Aplicaciones en otros campos

La fotogrametría es una técnica que permite la medición y análisis de objetos y espacios a través de fotografías. A partir de múltiples imágenes capturadas desde diferentes ángulos [3], un software especializado puede generar modelos tridimensionales precisos como lo es. Estas imágenes pueden ser tomadas desde drones, cámaras aéreas o incluso a nivel del suelo, dependiendo de la escala y los detalles requeridos [5]. Las Figuras 1 y 2 fueron tomadas con una cámara Mapiir Survey 3W°, Cámara Multiespectral de Lente Ancho y posteriormente fueron procesadas en Pix4D para su respectivo análisis.

Algunas de sus principales aplicaciones son: topografía y cartografía: para la creación de mapas, generación de modelos de terreno y medición de áreas y superficies; Arquitectura y conservación del patrimonio: Documentación y recreación de edificios históricos o estructuras y creación de modelos 3D para la restauración de monumentos o sitios arqueológicos; Agricultura: mapeo de campos para el monitoreo de cultivos, evaluación de la salud de las plantas y planificación de riego; Control y monitoreo ambiental: Análisis de cambios en la cobertura terrestre y estudio de áreas afectadas por desastres naturales.

### Retos y limitaciones de la fotogrametría

Aunque la fotogrametría es una herramienta poderosa, no está exenta de desafíos. Algunos factores que pueden influir en la precisión de los resultados incluyen las condiciones climáticas, la calidad de las cámaras utilizadas y la complejidad del entorno vegetal [9].



Figura 2 Densidad vegetativa de los humedales construidos es un factor en la precisión de la fotogrametría.

La presencia de agua y la reflectancia de la luz en los humedales también puede complicar la captura de imágenes nítidas.

A pesar de estas limitaciones, la fotogrametría sigue siendo una de las mejores opciones para el monitoreo de biomasa en humedales construidos, gracias a su capacidad para ofrecer resultados precisos y su adaptabilidad a diferentes escalas.

## CONCLUSIONES

El uso de la fotogrametría para la medición de biomasa en humedales construidos representa un avance significativo en el campo del monitoreo ambiental. Esta técnica no solo permite obtener datos precisos de manera rápida y eficiente, sino que también ayuda a garantizar el equilibrio ecológico y la sostenibilidad de estos sistemas [5]. A medida que la tecnología continúa avanzando, es probable que veamos una mayor integración de la fotogrametría y otras herramientas digitales en la gestión de ecosistemas construidos y naturales.

Este enfoque, no invasivo y altamente preciso, tiene el potencial de transformar la forma en que gestionamos y optimizamos los humedales construidos, contribuyendo a un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

## DISCUSIÓN

A pesar de estos esfuerzos, esta revisión encontró una disponibilidad limitada de estudios centrados específicamente en la fotogrametría aplicada a la medición de biomasa en humedales en los últimos seis años. Esto podría deberse a varias razones. En primer lugar, la investigación en humedales construidos ha experimentado una diversificación temática significativa, lo que puede haber desplazado el enfoque hacia otras áreas más emergentes. En segundo lugar, la rápida evolución de las tecnologías de monitoreo podría haber generado un interés creciente en técnicas alternati-

vas. Sin embargo, la fotogrametría sigue siendo una herramienta poderosa y eficiente para la medición no invasiva de biomasa [3], lo que la convierte en una opción prometedora para la gestión sostenible de humedales construidos.

## AGRADECIMIENTOS

Los dos primeros autores agradecen al CONAHCyT por las becas de estudios #918005 y #341486 otorgadas respectivamente en los periodos agosto 2023 a octubre 25 y de agosto 2023 a octubre 2027, para realizar los estudios de Maestría en Ingeniería Industrial y Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el ITS de Misantla.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Maltese, A., De Luca, L. (2016) *Photogrammetry for environmental monitoring and vegetation analysis.* *Journal of Environmental Science and Engineering.*

[2] Verhoeven, G. (2011). "Taking computer vision aloft - archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan." *Computers and Geosciences*, 37(12), 1281-1292.

[3] Xu, X., Tian, G., & Li, Y. (2020). "Application of photogrammetry and UAV-based technology in wetland monitoring." *Remote Sensing*, 12(5), 778.

[4] Bastviken, D., et al. (2021). "Biomass estimation using photogrammetry in constructed wetlands: a non-invasive approach." *Wetlands Ecology and Management*, 29(2), 193-205.

[5] Borges, M. A., Costa, P. M., & Novack, T. (2024). "Monitoring artificial wetlands using UAV-based multispectral photogrammetry: Insights for biomass estimation." *Ecological Indicators*, 140, 110091.

[6] Kim, Y., Lee, S. H., & Koo, H. Y. (2022). "Advances in UAV-based photogrammetry for environmental monitoring: Biomass estimation in coastal wetlands." *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100642.

[7] Nevalainen, O., Honkavaara, E., Tuominen, S., Viljanen, N., Hakala, T., & Näsi, R. (2021). "UAV-based photogrammetric point clouds in the estimation of biomass in wetlands." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 171, 83-99.

[8] Stratoulis, D., & Nascetti, A. (2020). "A review of remote sensing for wetland monitoring: Recent trends and future directions." *Remote Sensing*, 12(8), 1250.

[9] Steele, B. L., & Finlayson, C. M. (2023). "Quantifying aboveground biomass in wetland systems using drone photogrammetry and spectral data." *Wetlands Ecology and Management*, 31(2), 221-235.