

# Análisis costo-beneficio de humedal de tratamiento ornamental a gran escala



## Colaboración

Saúl Antonio Rivera González; Luis Carlos Sandoval-Herazo; Mayerlin Sandoval-Herazo; Joaquín Sangabriel Lomelí, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

**RESUMEN:** En el municipio de Nautla, Veracruz se llevó a cabo la construcción de un Humedal de Tratamiento a Gran Escala construido con financiamiento del gobierno del estado por medio de la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente.

A poco más de un año de su inauguración, en 2022, se evaluó por medio de indicadores financieros la rentabilidad económica por medio de un Costo-Beneficio. Obteniendo un Valor Presente Neto de \$1,008,094.59, una Tasa Interna de Retorno de 16.72% y un Costo/Beneficio de 1.18; por lo que se concluye que es económicamente viable.

Sin embargo, a pesar de que, en la primera proyección de rentabilidad del Humedal de Tratamiento a Gran Escala en el estado de Veracruz se obtuvieron valores positivos, se debe seguir documentando para que se divulgue que estas tecnologías alternativas son viables para resolver problemáticas reales y que pueden ser llevados de un laboratorio a reemplazar tecnologías convencionales como lo son las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

**PALABRAS CLAVE:** Costo-beneficio, escala real, humedal de tratamiento, indicador financiero, TIR, VPN.

**ABSTRACT:** In the municipality of Nautla, Veracruz, a Full-Scale treatment wetland was built with funding from the state government through the State Environmental Protection Agency.

A little more than a year after its inauguration, in 2022, the economic profitability was evaluated by means of financial indicators through a Cost-Benefit analysis. Obtaining a Net Present Value of \$1,008,094.59, an Internal Rate of Return of 16.72% and a Cost/Benefit of 1.18; therefore it is concluded that it is economically viable.

However, in spite of the fact that, in the first projection of profitability of the Full-Scale Treatment Wetland in the state of Veracruz, positive values were obtained, it is necessary to continue documenting in order to make it known that these alternative technologies are viable to solve real problems and that they can be taken from a laboratory to replace conventional technologies such as the Wastewater Treatment Plants.

**KEYWORDS:** Cost-Benefit, Full-Scale, Treatment Wetland, Financial Indicator, Irr, Npv.

## INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de recursos hídricos vinculada al desarrollo urbano en todo el mundo se ha triplicado desde 1970 hasta la actualidad. Y el sector agrícola consume del 80 al 90% de agua dulce disponible [1]. En 2022 América del Norte (11%) y Asia Central (23%) han registrado los niveles de mayor extracción de agua per cápita [2] a nivel mundial. La disponibilidad del recurso hídrico varía según la región, actualmente alrededor del 25% tiene escasez económica de agua debido principalmente a la incapacidad gubernamental

y de liquidez, y no por razones de índole hidrológico [3]. Por esta razón, es necesario validar ecotecnologías que nos permitan prácticas de gestión sostenible y la reutilización de las aguas residuales formando un nuevo eslabón en la economía circular [4]. En la literatura existen muy pocos Humedales de Tratamiento (HT) a escala real[5]-[7] documentados y no han sido evaluados para su viabilidad económica, esto nos conlleva a preguntar: ¿Los HT son económicamente viables y sostenibles a lo largo de su vida útil? El objetivo de esta investigación es documentar el primer año de costos de operación del HT a escala real “La Tortuga” construido en el año 2022 y con un análisis Costo-Beneficio demostrar su rentabilidad con índices financieros.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del sitio de estudio

El municipio de Nautla se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 20° 00' y 20° 15'N, 96° 41' y 96° 55'W; a una altitud entre 10 y 600 m sobre el nivel del mar [8]. El sitio donde se construyó el Humedal de Tratamiento “La Tortuga” con financiamiento del gobierno del estado por la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente se encuentra en las coordenadas 20°12'35.8"N 96°46'15.7"W, a una distancia de 1.35 km de la playa de Maracaibo.

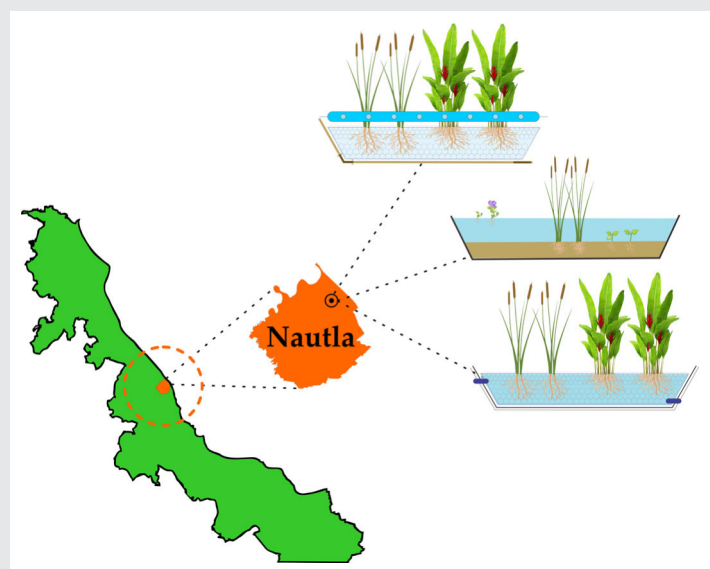


Figura 1. Micro localización del Humedal de Tratamiento en el municipio de Nautla.  
Fuente: Elaboración propia.

### Indicadores financieros

Los indicadores financieros son parámetros que permiten analizar el desempeño de un proyecto como modelo financiero para evaluar la rentabilidad económica a corto, mediano y largo plazo.

#### VPN

El Valor Actual Neto, también conocido como Valor Presente Neto (VPN), determina mediante la actuali-

zación de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial [9], [10] (Ver Ec. (1)).

$$VPN = Flujo\ de\ caja - Inversión\ Inicial \quad Ec.(1)$$

$VPN = 0$ . El proyecto no genera pérdidas, pero tampoco ganancias

$VPN > 0$ . Se considera que el proyecto será viable.

$VPN < 0$ . Se considera el proyecto inviable.

#### TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es el interés mínimo para que el VPN sea igual a 0. Por lo tanto, el TIR es la tasa de retorno de la inversión realizada, indicando el porcentaje de beneficio o pérdida que se obtiene en una inversión [9], [10] (Ver Ec. (2)).

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad Ec.(2)$$

En donde:

$Fn$  es el flujo de caja en el periodo  $n$ .

$n$  es el número de periodos (años).

$i$  es la inversión inicial.

#### B/C

El Costo-Beneficio (B/C) o Índice Neto de Rentabilidad muestra la relación que existe entre los costos y los ingresos del proyecto a corto, mediano y largo plazo [9]-[11] (Ver Ec. (3)).

$$B/C = \frac{Beneficios\ Totales\ Netos}{Costos\ Totales\ Netos} \quad Ec.(3)$$

$B/C=1$ : No existen ni pérdidas ni ganancias. No hay viabilidad del proyecto.

$B/C<1$ : Los beneficios por realizar el proyecto son inferiores a los costos del proyecto. Inviabile el proyecto.

$B/C>1$ : Los beneficios por realizar el proyecto son superiores a los costos del proyecto por lo que se considera viable.



Figura 2. Indicadores de rentabilidad financiera  
Fuente: Elaboración propia basado en [9]-[11]

## RESULTADOS

La estructura de costos ver Tabla 1 está conformada por el presupuesto asignado más el costo histórico

de operación del Humedal de Tratamiento (HT) “La Tortuga” después de realizar su inauguración en el año 2022.

Tabla 1. Estructura de costos de “La Tortuga”.

Humedal de Tratamiento	
Construcción	
Cárcamo de bombeo	
Sedimentador	
Humedales Verticales	
Humedales Horizontales	\$6,198,918.83
humedal flujo libre	
Humedales Horizontales	
Andador de mantenimiento	
<b>Mantenimiento anual</b>	\$2,435.00
<b>Costo de personal y cuidados</b>	\$60,000.00
<b>Luz eléctrica</b>	\$1,401.88

Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento de aguas residuales, es un modelo de economía circular el cual esta cuantificado en un costo por metro cúbico de \$5.23 y un precio de venta de \$ 10.00 [12]. Este servicio consiste en la separación de la carga orgánica que contienen las aguas residuales, eliminando al máximo la cantidad de residuos y contaminantes con la regularización de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Tabla 2. Unidades generadas para ingreso.

CONCEPTO (MERCANCIAS)	PRESENTACION	COSTO	VENTAS SEMANALES
SANSEVIERIA TRIFASCIATA	UNIDAD	\$107.00	
CANNA INDICA	UNIDAD	\$93.45	
CANNA HYBRIDS	UNIDAD	\$94.43	
COLOCASIA ESCULENTA	UNIDAD	\$202.00	
RUPELLIA	UNIDAD	\$121.50	
SAGITTARIA GRAMINEA	UNIDAD	\$121.50	
PONTEDERIA CORDATA	UNIDAD	\$222.00	
HELICONIA PSITTACORUM	UNIDAD	\$142.00	
CROPOSMA	UNIDAD	\$57.00	
BERBERIS	UNIDAD	\$57.00	
BERBERIS THUNBERGII	UNIDAD	\$57.00	
CYPERUS PAPHYRUS	UNIDAD	\$222.00	
EICHHORNIA CRASSIPES	UNIDAD	\$122.00	
AGUA TRATADA	M3	\$5.23	3240.00

Fuente: Elaboración propia.

El Humedal de Tratamiento tiene un sembrado de diferentes plantas ornamentales, sin embargo, en este primer año de operación no se han comercializado ver Tabla 2.

Teniendo en cuenta el valor generado por el tratamiento de aguas residuales se calcula el flujo de efectivo en el primer año de operación del humedal “La Tortuga” ver Tabla 3.

Tabla 3. Flujo de efectivo.

CONCEPTOS / AÑO	AÑO 0	AÑO 1
(+) VENTAS	\$ -	\$ 1,627,236.86
(+) VALOR DE RESCATE	\$ -	\$ 1,992,183.09
(=) INGRESOS TOTALES	\$ -	\$ 3,619,419.96
COSTOS FIJOS	\$ -	\$ 62,435.00
COSTOS VARIABLES	\$ -	\$ 1,401.84
(=) COSTOS TOTALES	\$ -	\$ 63,836.84
COMPRA ACTIVO FIJO	\$ 5,294,556.18	\$ -
COMPRA ACTIVO DIFERIDO	\$ 35,058.41	\$ -
COMPRA CAPITAL DE TRABAJO	\$ 151,325.31	\$ -
(=) SALDO FINAL	\$ -5,480,939.90	\$ 3,555,583.12

Fuente: Elaboración propia..

Finalmente, utilizando los valores generados en el flujo de efectivo se realizó una proyección a 5 años para generar los ingresos y egresos netos al finalizar los periodos de evaluación ver Tabla 4.

Tabla 4. Indicadores financieros.

VAN	TIR	B/C
\$1,008,094.59	16.72 %	1.18

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se encontró que los indicadores VPN, TIR, Y B/C permitieron evaluar la viabilidad económica operativa del HT “La Tortuga” ubicado en Nautla, Veracruz. El valor actual neto de la eficiencia del proyecto es de \$1,008,094.59 > 0, un TIR del 16.72% > 10% tasa de actualización y un B/C de 1.18 lo cual nos indica que por cada peso invertido se tendrá un benéfico de 0.18 pesos, por lo que se concluye que es operativamente viable. Sin embargo, a pesar de que en la primera proyección se encontraron indicadores financieros positivos, no se descarta seguir monitoreando los costos de operación y mantenimiento para tener antecedentes reales y bien documentados de la rentabilidad y sustentabilidad de los Humedales de Tratamiento a Gran Escala y se adopten estas tecnologías alternativas para resolver problemáticas reales y no solo se queden en experimentos controlados.

## AGRADECIMIENTOS

Se da un extenso agradecimiento al gobierno del estado de Veracruz encabezado por el Ing. Cuicláhuac García Jiménez y al Procurador del Medio Ambiente el Mtro. Sergio Rodríguez Cortés por la realización de este proyecto financiado con recursos públicos.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] UN-WATER. (2023). *Alianzas y cooperación por el agua Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023 Datos, cifras y ejemplos de acción.*

[2] FAO. (2022). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021 - Systems at breaking point.*

[3] L. Rosa, D. D. Chiarelli, M. C. Rulli, J. Dell'angelo, and P. D. Odorico. (2020) *Global agricultural economic water scarcity.*

[4] Zitácuaro-Contreras, I., Vidal-Álvarez, M., Hernández y Orduña, M. G., Zamora-Castro, S. A., Betanzo-Torres, E. A., Marín-Muñiz, J. L., & Sandoval-Herazo, L. C. (2021). *Environmental, economic, and social potentialities of ornamental vegetation cultivated in constructed wetlands of Mexico. Sustainability, 13(11), 6267.*

[5] Perdana, M. C., Hadisusanto, S., & Purnama, I. L. S. (2020). Implementation of a full-scale constructed wetland to treat greywater from tourism in Suluban Uluwatu Beach, Bali, Indonesia. *Heliyon*, 6(10).

[6] Wu, Y., He, T., Chen, C., Fang, X., Wei, D., Yang, J., ... & Han, R. (2019). Impacting microbial communities and absorbing pollutants by *canna indica* and *cyperus alternifolius* in a full-scale constructed wetland system. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 802.

[7] Wu, Y., He, T., Chen, C., Fang, X., Wei, D., Yang, J., ... & Han, R. (2019). Impacting microbial communities and absorbing pollutants by *canna indica* and *cyperus alternifolius* in a full-scale constructed wetland system. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 802.

[8] IEGVER. (2022). Nautla Cuadernillos Municipales. Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Obtenida el 25 de agosto de 2023 de la página electrónica: <http://ceieg.veracruz.gob.mx/>.

[9] | Kasprowicz, T., Starczyk-Kołbyk, A., & Wójcik, R. R. (2023). The randomized method of estimating the net present value of construction projects efficiency. *International journal of construction management*, 23(12), 2126-2133.

[10] Agung, T. S., & Zuhri, B. S. S. (2023). Analysis of the Financial Feasibility of Potential Post-Pandemic Businesses Using the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period (PP) Methods (Case Study: MSME Environmentally Friendly Bioplastic Products). *Jurnal Multidisiplin Madani*, 3(7), 1432-1441.

[11] Rebollar, S., Posadas, R. R., Rebollar, E., Hernández, J., & González, F. D. J. (2020). Aportes a indicadores de evaluación privada de proyectos de inversión. *Revista Mexicana de agronegocios*, 46(1345-2020-1180), 444-461.

[12] CMAS. (2023). Costo de contratación por derechos de toma de agua. Obtenida el 25 de agosto de 2023 de la página electrónica: [Whhttps://cmasxalapa.gob.mx/pdf/tarifas/tarifas\\_02\\_2023.pdf](https://cmasxalapa.gob.mx/pdf/tarifas/tarifas_02_2023.pdf).