



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

Año: XIII Número: 3 Artículo no.:80 Período: 1 de mayo del 2026 al 31 de agosto del 2026

TÍTULO: Estudio de las condiciones higrotérmicas en un invernadero del sistema acuapónico para mejorar su eficiencia en la producción de peces y hortalizas.

AUTOR:

1. Dra. Xochitl Morales Morales.

RESUMEN: El presente artículo tiene como objetivo evaluar las condiciones higrotérmicas de un invernadero con sistema acuapónico cerrado ubicado en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, con la finalidad de mejorar su eficiencia productiva. El estudio se centró en el monitoreo de variables ambientales como la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, tanto en el interior como en el exterior del invernadero, así como en la evaluación de la calidad del agua mediante el análisis de parámetros como temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez. Los resultados evidenciaron que el invernadero presenta acumulación de calor en la zona central y final, así como niveles elevados de humedad relativa, especialmente durante la temporada invernal.

PALABRAS CLAVES: invernadero, condiciones higrotérmicas, monitoreo ambiental, calidad del agua, microclima.

TITLE: Study of hygrothermal conditions in an aquaponic system greenhouse to improve its efficiency in fish and vegetable production.

AUTHOR:

1. PhD. Xochitl Morales Morales.

ABSTRACT: This article aims to evaluate the hygrothermal conditions of a closed aquaponic greenhouse located at the Tantoyuca Superior Technological Institute in Veracruz, Mexico, in order to improve its productive efficiency. The study focused on monitoring environmental variables such as air temperature, relative humidity, and wind speed, both inside and outside the greenhouse, as well as evaluating water quality through the analysis of parameters such as temperature, pH, dissolved oxygen, and turbidity. The results showed that the greenhouse experiences heat accumulation in the central and end sections, as well as high levels of relative humidity, especially during the winter season.

KEY WORDS: greenhouse, hygrothermal conditions, environmental monitoring, water quality, microclimate.

INTRODUCCIÓN.

Los sistemas acuapónicos integran la producción vegetal y piscícola (la crianza de peces) en un mismo entorno, donde los residuos generados por los peces son transformados en nutrientes aprovechables para el crecimiento de las plantas, permitiendo la reutilización del agua y reduce significativamente el uso de fertilizantes químicos, favoreciendo sistemas de producción más eficientes y sustentables (Lovatelli & Stankus, 2016). Estas características posicionan a la acuaponía como una alternativa estratégica para fortalecer la seguridad alimentaria alineado a los Objetivos del Desarrollo Sustentable 2 (ODS): Hambre cero, que promueve los sistemas de producción de alimento sostenibles y resilientes (United Nations, 2015).

La implementación de estos sistemas dentro de invernaderos proporciona un espacio de control climático, lo que permite regular las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo de los cultivos, y con ello, minimizar la incidencia de plagas y enfermedades (López & Benavides, 2014). Esta integración es relevante en regiones con condiciones climáticas extremas donde la producción agrícola convencional es limitada.

Las condiciones ambientales dentro de un invernadero son altamente variables y complejas, influyendo de manera directa en el crecimiento y rendimiento de las plantas. Entre los factores ambientales relevantes se encuentran la temperatura del aire y la humedad relativa, ya que su adecuado control permite alcanzar mayores niveles de productividad, mejorar la calidad de los cultivos, y reducir el impacto ambiental del sistema productivo (Yang & Simbeye, 2013); asimismo, las condiciones higrotérmicas (temperatura y humedad relativa del aire, temperatura del agua y ventilación) son determinantes para garantizar un crecimiento vegetal óptimo y la salud de los organismos acuáticos.

Un control deficiente de las condiciones higrotérmicas puede provocar estrés en las plantas, favorecer la proliferación de enfermedades, disminuir la solubilidad del oxígeno en el agua, y en consecuencia, pérdidas en la productividad; de igual forma, periodos críticos de sobrecalentamiento o exceso de humedad pueden comprometer la estabilidad del microclima del invernadero y afectar el equilibrio del sistema acuapónico.

En este contexto, el presente estudio se orienta al análisis y mejora de las condiciones higrotérmicas en un invernadero de sistema acuapónico cerrado, con el fin de diseñar estrategias de control que optimicen el rendimiento global del sistema, y con ello, fortalecer el cumplimiento de la ODS 2, mediante la promoción de sistemas alimentarios innovadores y resilientes.

DESARROLLO.

El presente estudio se llevó a cabo en un invernadero con un sistema acuapónico cerrado, ubicado en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca mediante las siguientes etapas.

Metodología.

Etapas de diagnóstico.

En esta etapa se llevó a cabo la instalación y monitoreo de sensores con el objetivo de registrar las condiciones higrotérmicas del invernadero acuapónico. Las variables analizadas fueron la temperatura

del aire ($^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa (%) y la velocidad del viento (m/s), tanto en el interior como en el exterior del invernadero.

Para el registro de la temperatura y la humedad relativa se emplearon cinco sensores de sonda modelo Taikula Termómetro-Higrómetro Digital (Fig. 1a), los cuales cuentan con un rango de medición de -50 a $+70$ $^{\circ}\text{C}$ para la temperatura y de 10% a 99% HR para la humedad relativa, con una precisión de ± 1 $^{\circ}\text{C}$.

Para el registro de la temperatura y la humedad relativa se emplearon cinco sensores de sonda modelo Taikula Termómetro-Higrómetro Digital (Fig. 1a), los cuales cuentan con un rango de medición de -50 a $+70$ $^{\circ}\text{C}$ para la temperatura y de 10% a 99% HR para la humedad relativa, con una precisión de ± 1 $^{\circ}\text{C}$.

Se utilizó un anemómetro digital portátil LCD modelo C-Digital para medir la velocidad del viento y la temperatura ambiente (Fig. 1b). Este equipo presenta un rango de medición de -10 a $+45$ $^{\circ}\text{C}$ para la temperatura, un rango de 0 a 30 m/s para la velocidad del viento, y una precisión de $\pm 5\%$.

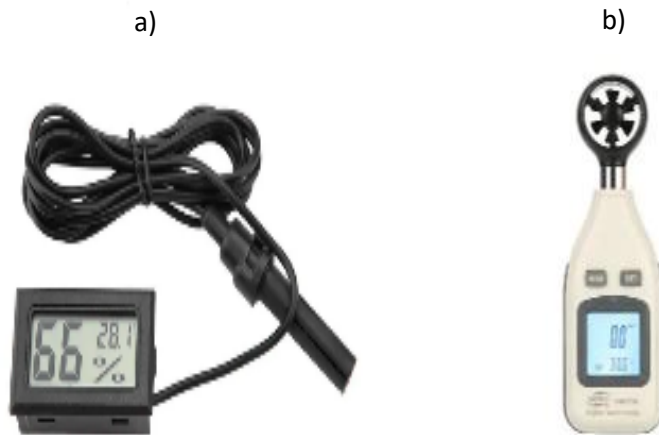


Figura 1. Equipo de monitoreo utilizados durante el estudio a) sensor de sonda, b) Anemómetro Digital.

Ubicación de los sensores.

Para realizar el estudio de las condiciones higrotérmicas del invernadero acuapónico, se colocaron cinco sensores distribuidos en diferentes puntos, con la finalidad de registrar los cambios de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, tanto en el interior como en el exterior del invernadero.

Resultados.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir del monitoreo y análisis de las condiciones higrotérmicas del invernadero del sistema acuapónico cerrado, así como de la evaluación de la calidad del agua durante el periodo de estudio.

Los resultados se organizan de manera descriptiva y analítica, permitiendo identificar el comportamiento térmico e higrométrico del invernadero, las variaciones espaciales y temporales de las condiciones ambientales, así como su influencia en el funcionamiento del sistema. Se presentan los valores registrados de parámetros de calidad de agua, con el fin de evaluar su estabilidad y su relación con las condiciones microclimáticas del invernadero.

El análisis de los resultados proporciona información relevante para identificar periodos críticos, zonas de acumulación de calor o humedad, y posibles deficiencias en la ventilación natural; elementos clave para la interpretación del desempeño del sistema. De esta manera, los resultados constituyen la base para formulación de propuestas de mejora orientadas a optimizar el control ambiental y la eficiencia productiva del invernadero acuapónico.

Las figuras 3 y 4 para el sensor 2 muestran que la temperatura en el interior se mantiene mayormente entre 22 y 32 °C con un descenso de 20-22 °C el 22 de noviembre, lo que coincide con el incremento de la humedad relativa, ya que son inversamente proporcionales. También se observa una acumulación de calor en la zona central, lo que indica una deficiente disipación térmica. La humedad que va desde los 60 y 80% con picos muy altos que llegan hasta los 95-100% generan estrés en los cultivos.

Para el sensor 3 (Fig. 3 y 4) se presentan zonas más críticas, con mayor acumulación de calor y humedad en la zona central, y con respecto a la temperatura se observan valores similares en el centro, pero con menor variabilidad, lo que indica zonas de aire estacando; por otro lado, la humedad relativa es alta (alrededor de 95%), a consecuencia de la baja ventilación natural, y por consiguiente, una ineficiente renovación de aire en el extremo del invernadero.

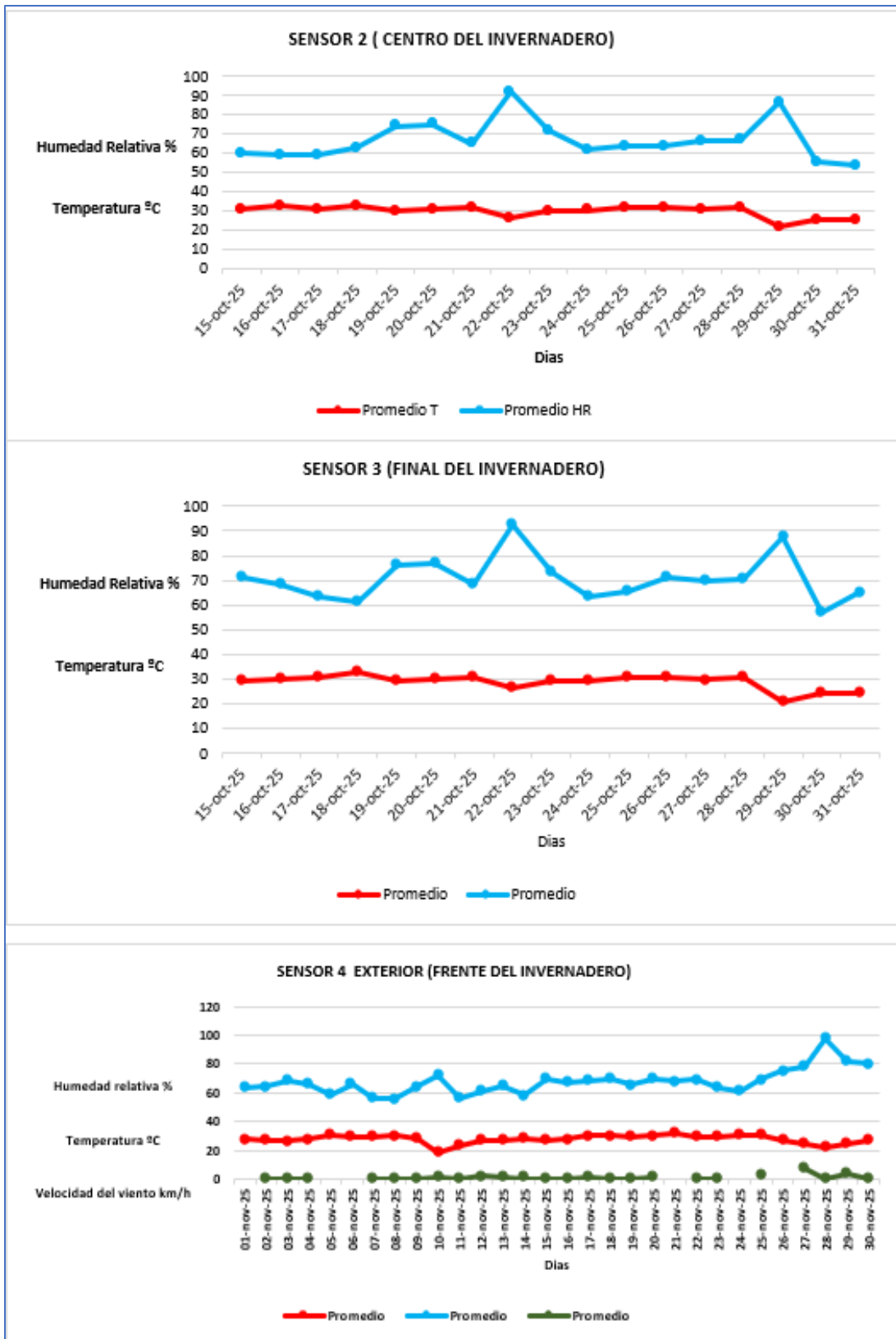


Figura 3. Variación diaria promedio de la temperatura del aire y la humedad relativa en el interior entrada del invernadero para el mes de octubre.

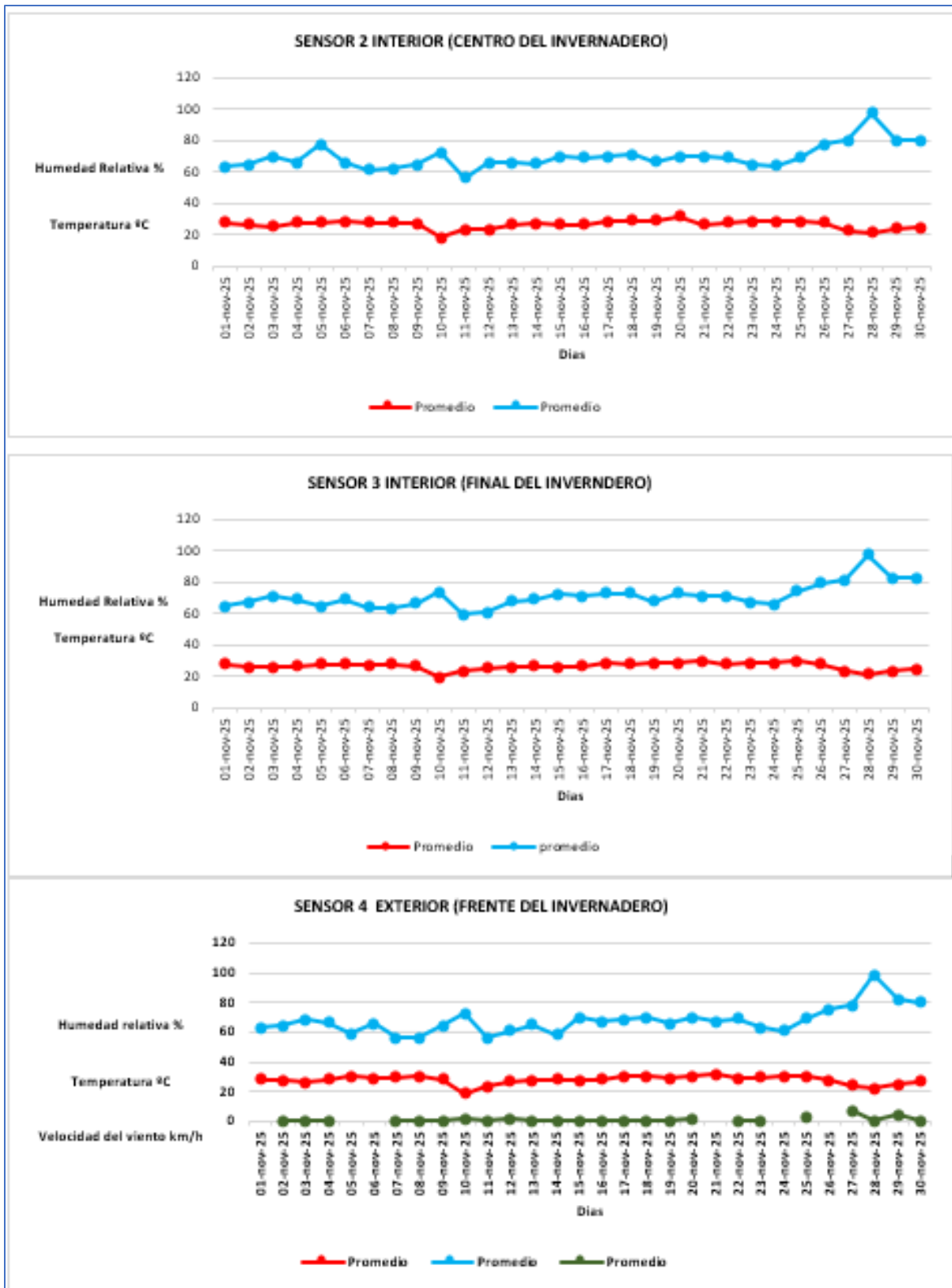


Figura 4. Variación diaria promedio de la temperatura del aire y la humedad relativa en el interior entrada del invernadero para el mes de octubre.

El sensor 4 nos permitió la caracterización de las condiciones ambientales exteriores que tienen mucha influencia en el funcionamiento higrotérmico del invernadero y su eficiencia. En este se observa (Fig. 3 y 4), que la temperatura se mantuvo constante entre 24 y 32 °C con algunos descensos (20-22 °C) en algunos días, lo que nos indica la presencia de un clima cálido durante el periodo de estudio.

Cabe mencionar, que la similitud entre las temperaturas externa e interna limita el potencial de disipación de calor por ventilación y favorece la acumulación de este. También se observa una humedad relativamente alta cercana al 95-100%, lo que dificulta la evaporación del vapor de agua generado por la evotranspiración de los cultivos y evaporación del sistema acuapónico.

Con respecto a la velocidad del viento fue relativamente baja o a veces nula. Esta condición es uno de los factores más críticos que se identificaron, quizá por la ubicación del sistema, ya que la ventilación cruzada depende de la ventilación del aire exterior. La baja velocidad del viento limita el movimiento del aire que ingresa a través de las aberturas del sistema acuapónico y que se renueve.

Para el exterior frontal del invernadero, en la Figura 4, se presentan los promedios diarios de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento para los meses de octubre y noviembre. La temperatura osciló entre 29 y 33 °C (Fig. 4), alcanzando un máximo cercano a 33.13 °C el 21 de octubre; posteriormente, el 29 de octubre se registró un descenso marcado, con un valor aproximado de 20.75 °C.

De igual manera, la humedad relativa mostró una alta variabilidad durante el periodo analizado, con valores entre 50.67% y 92%, alcanzando su máximo el 22 de octubre, lo cual coincidió con una disminución de la temperatura. En relación con la velocidad del viento, esta se mantuvo baja o nula durante la mayor parte del periodo, registrándose únicamente valores aislados inferiores a 1.2 m/s.

En la figura 5 se observa el comportamiento diario de los promedios de la temperatura del aire y la humedad relativa, durante el mes de noviembre del 2025.

En general, la temperatura mantuvo valores mayormente estables, con un rango aproximado entre 25 y 30 °C, lo cual indica condiciones térmicas relativamente uniformes en esta zona del invernadero; no obstante, se observa una disminución marcada el 11 de noviembre, alcanzando un valor cercano a 19 °C. Posteriormente, la temperatura se recupera y presenta ligeros incrementos a mediados de mes, con máximos cercanos a 30 °C, para después mostrar una tendencia descendente hacia finales del periodo, donde se registran valores mínimos alrededor de 21–23 °C.

Respecto a la humedad relativa, los valores oscilaron principalmente entre 60 y 75% durante la mayor parte del mes. A partir de la segunda quincena, se aprecia un incremento progresivo de la humedad, alcanzando valores máximos cercanos al 98% alrededor del 28 de noviembre, seguido de una ligera disminución al final del mes.

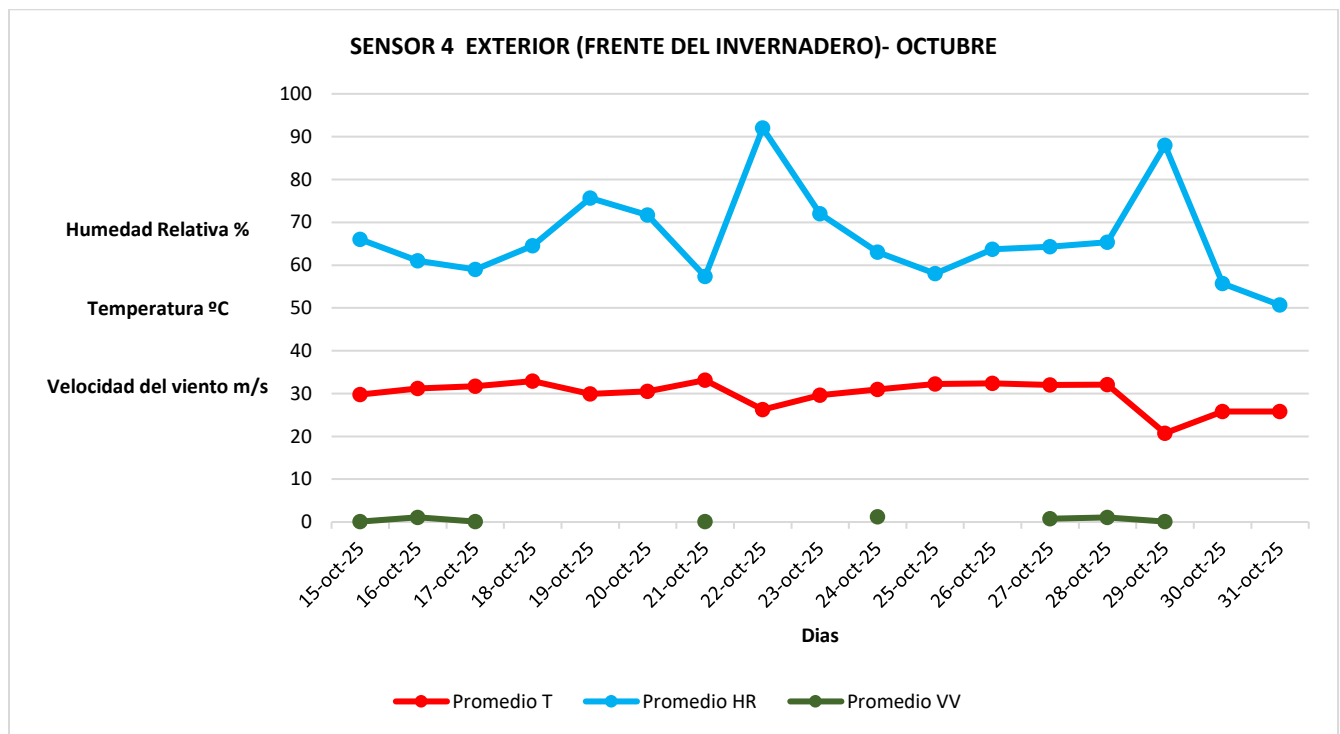


Figura 5. Variación diaria promedio de la temperatura del aire y la humedad relativa en el interior entrada del invernadero.

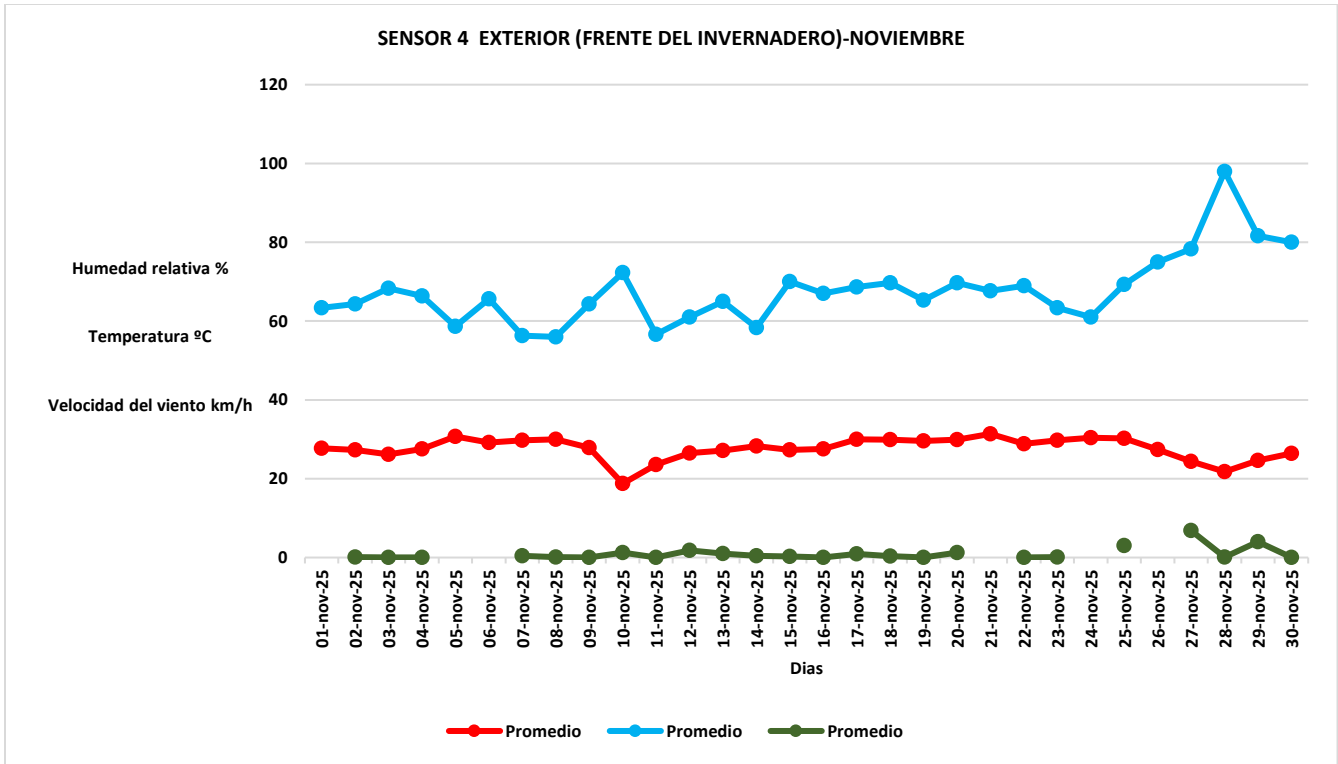


Figura 6. Variación diaria promedio de la temperatura del aire y la humedad relativa en el interior entrada del invernadero.

Discusión.

Los resultados obtenidos en el presente estudio adquieren una mayor relevancia si los analizamos desde la perspectiva de los objetivos de Desarrollo sostenible (ODS): Hambre cero. El objetivo busca garantizar la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover sistemas de producción de alimentos sostenibles. Por lo que los invernaderos son acuapónicos, que representan una alternativa para las regiones con condiciones climáticas adversas y ocasione que la producción de los invernaderos sea limitada a consecuencias de dichas condiciones; por eso, es importante analizar los condones climáticos y la ubicación estratégica de los invernaderos para obtener mayor productividad.

Ahora bien, con base al monitoreo del invernadero muestra la presencia de condiciones heterogéneas, que se encuentran asociadas a las deficiencias de la ventilación natural y la influencia de las condiciones ambientales externas, así como la ubicación del invernadero dentro de la institución.

La acumulación de calor y humedad relativa que se observa en las mediciones realizadas en el interior del invernadero (Zona central y final) coincide con lo reportado en la literatura para estructuras cerradas que se encuentran ubicados en climas cálidos y humedad, donde la ventilación es escasa.

La temperatura medida se mantuvo por arriba de los rangos óptimos recomendables para el desarrollo de hortalizas y para el sistema acuapónico. Lo anterior puede provocar estrés térmico en las plantas, lo que provoca alteraciones en los procesos de evotranspiración y una mayor demanda de oxígeno disuelto, lo que repercute en los organismos acuáticos.

Ahora bien, se observaron humedades relativas altas y en algún caso supera el 80%, lo que hace que proliferen las enfermedades fúngicas y bacterianas, lo que presenta un riesgo para el sistema; por otro lado, las mediciones externas mostraron bajas velocidades del aire, lo que reduce el potencial de ventilación cruzada y explica la escasa diferencia de temperatura entre el interior y exterior. Esta condición limita al sistema a expulsar el aire caliente y húmedo, especialmente en periodos diurnos de radiación solar.

Con lo anterior, el sistema se ve forzado a buscar estrategias de ventilación pasiva, sombreado, para mejorar las condiciones higrotérmicas en el interior del invernadero, lo que nos llevaría también a reducir costos operativos, energéticos y mejorará su eficiencia.

CONCLUSIONES.

El análisis de las condiciones higrotérmicas permitió identificar que el invernadero acuapónico presenta variaciones significativas de temperatura y humedad relativa a lo largo del día y entre las diferentes zonas evaluadas. La zona central del invernadero registró las temperaturas más elevadas, lo que evidencia una acumulación térmica derivada de una ventilación natural limitada.

Se observó una relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa, donde los descensos térmicos coincidieron con incrementos significativos de humedad, alcanzando valores cercanos a la saturación en

varios periodos, especialmente durante noviembre y diciembre. Estas condiciones representan un riesgo potencial para el desarrollo de enfermedades en los cultivos y para la estabilidad del sistema acuapónico. En cuanto a la calidad del agua, los parámetros analizados se mantuvieron mayormente dentro de rangos aceptables para el cultivo de tilapia; sin embargo, se detectaron episodios de pH ácido-asociados a la acumulación de materia orgánica, lo que resalta la importancia de un manejo adecuado del sistema y del monitoreo continuo.

Los resultados confirman que el invernadero acuapónico presenta problemas de acumulación de calor y humedad, principalmente en el centro y final de la estructura, asociados a deficiencias en la ventilación natural y bajas velocidades de viento exterior. La implementación de estrategias pasivas de control microclimático es clave para mejorar la eficiencia productiva y la estabilidad del sistema acuapónico. Con lo anterior se recomienda realizar análisis numéricos con la dinámica de fluidos computacional para predecir la mejora en el invernadero del sistema analizado.

Agradecimientos.

La autora agradece el apoyo del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, para la elaboración de este proyecto. También se agradece a los alumnos que participaron en la medición de las propiedades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Chan. (2013). Estrategias climáticas para optimizar las condiciones de microclima para cultivos bajo un invernadero. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/xmlui/handle/123456789/7379>
2. Gualdrón, A. R., Fernández, D. C., & Hernández, R. O. (2022). Simulación climática de un invernadero para rosas. Revista Politécnica. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6078/607872732008/607872732008.pdf>

3. Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Hortícola*. Obtenido de http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh205/52_55.pdf
4. Iberto José López-López, C. B.-L. (junio de 2014). Respuesta térmica del invernadero de la estación experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica Comportamiento térmico de un invernadero ubicado en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Obtenido de SCIELO: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212014000100012&script=sci_arttext
5. López, A. J., & Benavides, L. C. (2014). Respuesta térmica del invernadero de la estación experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212014000100012&script=sci_arttext
6. Lovatelli, A., & Stankus, A. (2016). Implementación de acuaponía en la Franja de Gaza. Rome, Italy: FAO. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/items/685c79e8-e663-42b7-954d-ee5015d8ecfc>
7. Martínez, M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Nicaragua: BIDEAUSAID, 2006. Obtenido de <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
8. Miranda, M., & Coillar, G. (2015). Sistema remoto de monitoreo eficaz de la temperatura, humedad y velocidad del viento de una estación agrometeorológica automática en el valle de Pampas. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/items/c4aec42f-b58d-4726-b8f9-48854f7e8f09>
9. Noreña, J. E., Rodríguez, V. P., Aguilar, P. A., Restrepo, J. F., & Felipe, J. (2013). Control climático bajo condiciones protegidas. Tecnología para el cultivo del tomate bajo condiciones protegidas. Obtenido de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1746/Ver_documento_1746.pdf?sequence=1
10. Perdígones, A., Peralta, I., Nolasco, J., Muñoz, M., & Pascual, V. (2004). sensores para el control climático en invernadero. Tecnología de Producción. Obtenido de

<https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Munoz->

[Garcia/publication/28279764_Sensores_para_el_control_climatico_en_invernadero/links/5694d92d08ae425c68977e46/Sensores-para-el-control-climatico-en-invernadero.pdf](https://www.researchgate.net/publication/28279764_Sensores_para_el_control_climatico_en_invernadero/links/5694d92d08ae425c68977e46/Sensores-para-el-control-climatico-en-invernadero.pdf)

11. Pérez, V., & Cuauhtémoc. (2015). Modelación mediante dinámica de fluidos computacional 3D de la temperatura y humedad en un invernadero con humidificación. Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo. Obtenido de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/55aa4715-d132-4c76-b966-6d3ed36e7c21>
12. Romero, G. P., Lopez, C. I., & Choi, C. Y. (2008). Analysis of greenhouse natural ventilation under the environmental conditions of central Mexico. Transactions of the ASABE. Obtenido de <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=25309>
13. Tecle, A. B., & Jiru, T. (2013). entilación natural impulsada por el viento en un edificio de baja altura: Un estudio de túnel de viento de capa límite. Edificación y Medio Ambiente. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312002284>
14. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
15. Villagran, M., & Edwin, A. (2016). Diseño y evaluación climática de un invernadero para condiciones de clima intertropical de montaña. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/items/aede181b-2727-4581-84a8-e453bf9d14eb>
16. Yang, S., & Simbeye, D. (2013). Sistema computarizado de monitoreo y control ambiental de invernaderos basado en LabWindows/CVI. J. Comput. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Daudi-Simbeye/publication/262380106_Computerized_Greenhouse_Environmental_Monitoring_and_Control_System_Based_on_LabWindowsCVI/links/0c96053798b022a0a4000000/Computerized-Greenhouse-Environmental-Monitoring-and-Control

DATOS DEL AUTOR.

- 1. Xochitl Morales Morales** Doctora en Ciencias en Ingeniería Mecánica. Profesor del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Correo electrónico: xochitl.morales@itsta.edu.mx Autor de correspondencia.

RECIBIDO: 26 de enero del 2026.

APROBADO: 19 de febrero del 2026.