

## Sistemas Acuapónicos Urbanos: Una Alternativa Educativa para el Uso Sustentable del Agua y Producción de Alimentos

Aguilera Cedillo Brian Javier

Pérez Velásquez Marcos

Rodríguez Hernández Álvaro

Muñiz Hernández Oscar Javier

FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y DISEÑO

CARRETERA TRANSPENINSULAR ENSENADA-TIJUANA NÚMERO 3917, COLONIA  
PLAYITAS

Ensenada, B.C., C.P. 22860. Teléfono 646-1750744, Fax 646-1744333

E-mail: [arodriguez9@uabc.edu.mx](mailto:arodriguez9@uabc.edu.mx)

**Resumen.** El artículo que se presenta aborda el proceso de diseño y elaboración de un sistema acuapónico en pequeña escala, así como las pruebas posteriores a su elaboración. El punto central del diseño se centra en la aplicación de los microcontroladores para la automatización de sistemas acuapónicos, mientras que en el punto secundario (pero no menos importante) se encuentra la concientización sobre el uso eficiente del agua en la producción de alimentos. El diseño se realizó pensando en un sistema que sea práctico y manejable dentro de un ambiente doméstico urbano, por lo que se buscó que fuera de dimensiones pequeñas y fácil de manipular. El sistema finalmente cumplió con la mayoría de las expectativas previas de diseño al concluir las pruebas.

**Palabras claves:** Hidroponía, Acuicultura, Acuaponía, Arduino, NFT, Nitrificación, Almacigo.

### 1.- INTRODUCCIÓN

La escasez de agua es un problema que ya se considera a nivel mundial, muchas regiones en todo el mundo tienen un desabasto de agua por distintos motivos y en México no es la excepción, pues en muchas regiones este problema se presenta de manera que no puede pasar desapercibido.

En las grandes ciudades es cada vez más crítico el uso sustentable de uno de sus recursos más importantes: el agua. En lo particular, Tijuana, ciudad fronteriza en el norte de México, presenta una alta demanda de este recurso [1]. Esta ciudad presenta un alto dinamismo tanto social como económico, debido a su posición estratégica fronteriza con la zona urbana de San Diego, en el estado de California de los Estados Unidos; en consecuencia, la población en esta zona urbana ha crecido de manera importante [2], debido, sobre todo a la migración; en un periodo de 30 años, la población de Tijuana aumentó ocho veces, paso de 65,364 a 514,583 habitantes, lo que creó una gran presión en el uso del recurso hídrico [3].

El problema es importante dado que esta ciudad carece de recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos y depende

totalmente del abasto del río Colorado [4], sin embargo, manteniéndose el ritmo de expansión de la marcha urbana y del crecimiento poblacional, se llegará al límite de explotación de esta fuente de abasto. Una cuestión adicional es el tratamiento que se le da a las aguas residuales que potencialmente se podrían utilizar para otros aspectos, pues por su volumen y el alto costo de los procesos de saneamiento el problema se hace más complicado [5].

Al mismo tiempo que se agrava el problema del agua en las zonas urbanas, se ha incrementado la demanda global de alimentos, lo que resulta incongruente, pues la misma migración hacia las zonas urbanas está dejando sin fuerza de trabajo a las zonas rurales agrícolas para la producción de alimentos. Por lo tanto, se deben buscar alternativas de producción de agricultura urbana que representen una solución sustentable en el uso del agua y que coadyuve a la seguridad alimentaria en las grandes ciudades. Una de estas alternativas es el desarrollo de sistemas acuapónicos urbanos.

La acuaponía se ha propuesto como una alternativa que permite la producción de vegetales frescos y proteínas de peces en

regiones áridas y en zonas agrícolas con limitación de agua porque es un sistema que reutiliza el agua, pero, por las características de producción, se pueden desarrollar de manera idónea en zonas urbanas. Además de la aplicación comercial, los sistemas acuapónicos se han convertido en una herramienta de entrenamiento popular en sistemas bio integrados, en programas vocacionales de agricultura y en clases de biología superior [6].

La acuaponía puede ser fácilmente integrada en todas las áreas (ciencia, tecnología, ingeniería, y matemáticas). Una variedad de competencias y habilidades pueden generarse operando sistemas acuapónicos, tales como habilidades de laboratorio, trabajo en equipo, ética ambiental, por nombrar unos pocos [7].

## 2.- MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema microacuapónico se construyó con una pecera que está conectada a la parte hidropónica mediante un filtro cuyo propósito es disminuir el amoníaco y los nitritos que son tóxicos para las plantas. La pecera tiene una salida para eliminar las heces fecales de los peces periódicamente. El agua que sale del filtro pasa entonces al sistema NFT que está formado por tubos de PVC con perforaciones donde se colocaron las plantas para su desarrollo. Las raíces de las plantas llegan al fondo de los tubos donde pasa una solución nutritiva para alimentar a las plantas. Una vez que la solución nutritiva pasa a través de todos los tubos, regresa a la pecera. Con este reciclaje del agua se evita el gasto excesivo de este recurso, teniendo que añadir agua por la evaporación del sistema y la evapotranspiración de las plantas.

## 3.- PARTE EXPERIMENTAL

El sistema se construyó con una pecera con paredes de vidrio de 50 cm x 30 x 28 cm, 3 tubos de PVC de 35 pulgadas de largo por 3 pulgadas de diámetro, y a cada tubo se le hicieron 4 perforaciones de 1 ½ pulgadas de diámetro donde se colocaron las plantas. Los tubos se unieron con 3 codos de PVC blancos de 2 ½ pulgadas de diámetro y dos tapas de

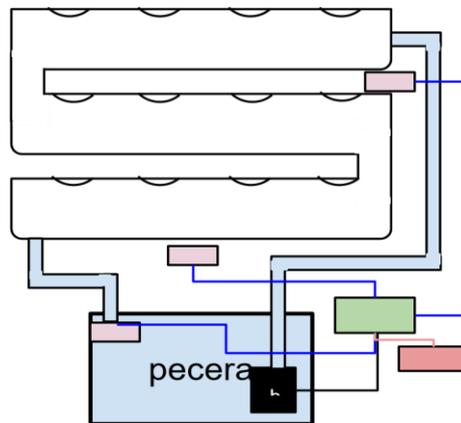
PVC negro de 2 ½ pulgadas de diámetro. Los tubos se colocaron a tres diferentes alturas con una separación de 10 cm entre estos, pero en repisa, es decir, no se encuentran uno arriba del otro. Se colocaron de esta manera para que las plantas de arriba no hicieran sombra a las de abajo. Al tener diferente altura los tubos, el agua circula desde el tubo superior hasta los inferiores en cascada. Se conectó con tubería de PVC de media pulgada una bomba para bombear el agua de la pecera al filtro y del filtro al sistema. Los tubos, la bomba y la pecera se montaron en una estructura de madera de 2 ½ pies de altura, por 2 ½ pies de ancho y 2 pies de fondo.

Ahora bien, los componentes electrónicos se fijaron haciendo uso de cinta doble cara en los sitios que le corresponden.

El sensor de humedad se colocó a la altura de los tubos, pues este se encargará de medir la humedad en el sistema. El sensor de temperatura se colocó en la parte media del sistema entre la sección hidropónica y la de los peces, este se encargará de leer la temperatura en el ambiente.

El sensor de nivel de agua se colocó en la pecera de tal modo que monitorea de manera directa el nivel de agua.

El módulo de control(placa arduino y LCD 16x2) se colocará en la parte media del sistema cuidando que no esté propenso a derrames de agua lo que provocaría su fallo.



**Figura 1.** Diagrama (esqueleto) del sistema, se muestra la distribución de los componentes, así como su comunicación.

Artículos de Divulgación Científica

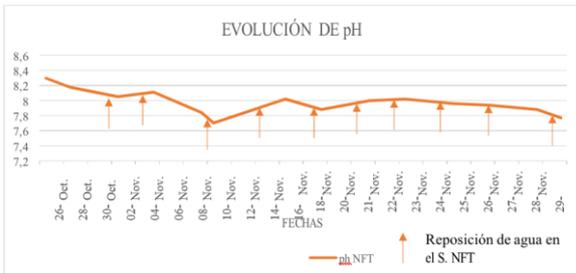
**4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Considerando que este proyecto y prototipo está pensado para que en el futuro los estudiantes donde se construya este sistema puedan poner en práctica sus conocimientos de manera práctica, la importancia de este proyecto es evidente. Además, se hace hincapié sobre todo en la responsabilidad que los estudiantes deben tener pues tendrán a su cargo organismos vivos y tienen que vigilar y cuidar el desarrollo adecuado de estos peces y plantas. Para una mejor expresión y entendimiento se revela una serie de valores y lecturas sobre los resultados previos obtenidos luego de la experimentación con el producto del proyecto, tales como pH,

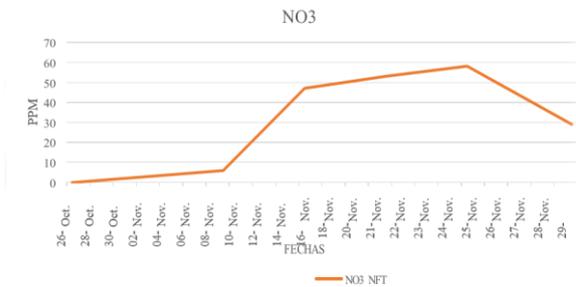
**EXPO CIENCIA Y TECNOLOGÍA VIRTUAL 2021**

en el sistema durante el transcurso del proyecto. Como se observa, hay varios picos de subida y bajada en el cual los picos de subida coinciden con la reposición del agua en los circuitos, esta reposición fue debida a la reducción de los niveles de agua en los circuitos acuapónicos por la evaporación producida por las altas temperaturas. Al mezclar el agua de la instalación acuapónica con el agua de reposición que tenía altos niveles en carbonatos-bicarbonatos, esto conlleva a una subida del pH. Los picos de bajada se producen por el agotamiento de la capacidad tampón de carbonatos-bicarbonatos por la continua acidificación bacteriana y absorción de carbonatos por parte de las plantas. Otro factor a medir durante el trabajo fue los niveles de nitratos, la gráfica 2, que muestra la evolución de los niveles de nitratos del circuito durante todo proyecto, muestra la situación, con picos de nitratos correspondientes a aumentos de la ración y/o menor consumo de alimento por parte de los peces; y las disminuciones pueden ser debidas a la mayor absorción por parte de las plantas, o por una mayor frecuencia de renovación de agua por culpa de la evapotranspiración y/o evaporación.

**RESULTADOS:**



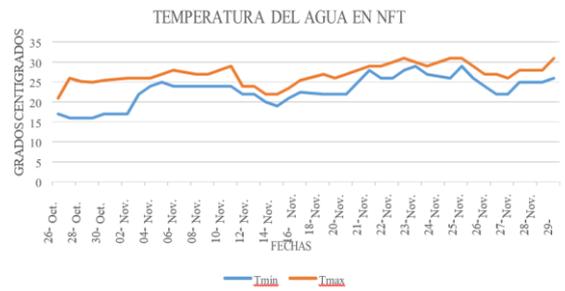
**Gráfica 1.** Evolución del pH en el agua del circuito.



**Gráfica 2.** Evolución del NO3 en el agua del circuito.

**DISCUSIÓN:**

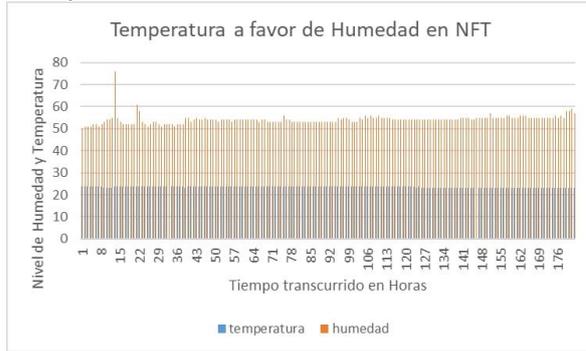
Como se muestra la gráfica 1, muestra la evolución del pH durante todo el proyecto. Como dato complementario a esta gráfica, indica que previo al trasplante de las plantas y a la introducción de los peces, la instalación ya estaba cíclica durante 36 días. Durante estos días el agua descendió de un 8,7 hasta un 8,3, que fueron los valores de los que partimos para este proyecto (que se querían obtener para un balance correcto). Este descenso se consiguió de manera natural, por la nitrificación. La gráfica anterior nos muestra el resultado de las mediciones del pH



**Gráfica 3.** Cambios de Temperatura del 1er mes.

Por lo expuesto anteriormente, durante todo el proyecto se buscó obtener una temperatura entre los 20 y 25°C. Como se aprecia en la gráfica, durante el primer mes se consiguió que no pasarán de 25 °C, se consiguió gracias a la retirada del plástico del techo del proyecto y colocando una malla de sombreado en el techo del mismo. Pero durante el mes siguiente fue imposible conseguir que no pasarán de 25 °C, llegando incluso en los últimos días a pasar de los 28 °C. No necesariamente fue por el clima, algunos

otros parámetros como los mismos peces influyeron en ello.



**Gráfica 4.** Respuesta Humedad y Temperatura durante 176 horas seguidas activas del sistema para su determinación.

## 5.- CONCLUSIONES

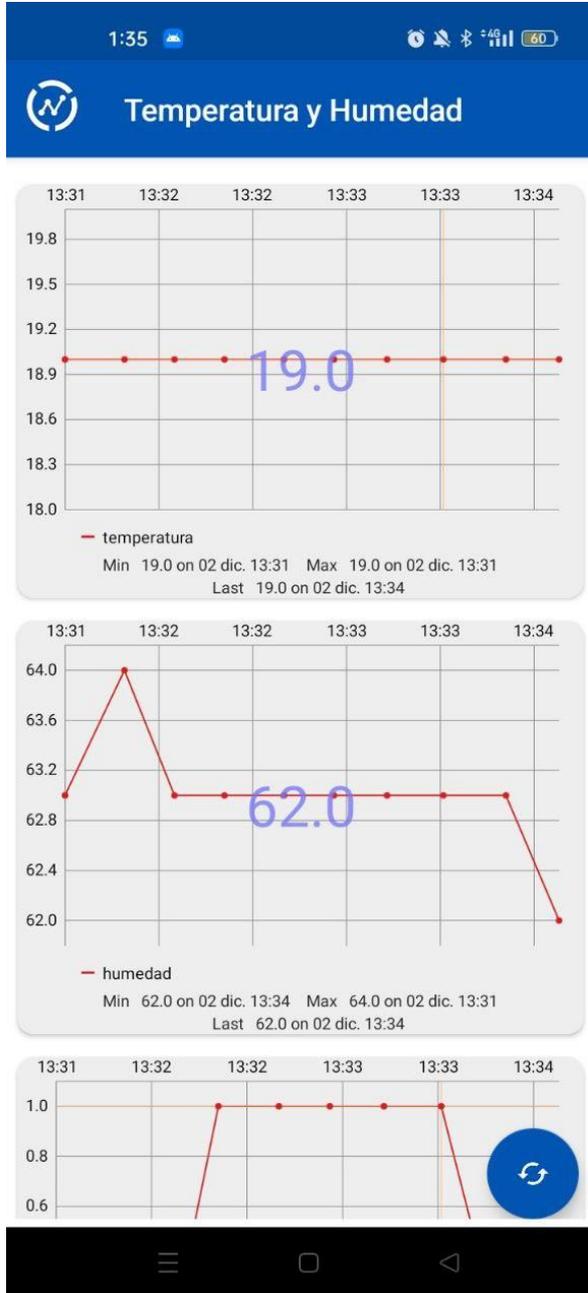
En general, el proceso de montaje de las instalaciones resultó sencillo para operarios no especializados, siendo fácil localizar y adquirir los materiales necesarios para ello, los resultados muestran una elevada supervivencia de pez dorado y plantas de lechugas con densidades de cultivo de peces cercanas a 1,4 Kg/m<sup>3</sup> para el NFT. La producción de lechugas en el sistema NFT ha alcanzado valores próximos al sistema hidropónico convencional, por lo tanto, podemos decir que más del 85% de las plantas recolectadas serían consideradas comercializables. La baja tasa diaria de recambio de agua obtenida en sistema NFT es de 1,66% frente al 5-10% de la acuicultura convencional, supone una gran ventaja económica y medioambiental. Los sistemas propuestos en este proyecto, con baja densidad de peces, han resultado más interesante para la producción de vegetales principalmente, debido a la baja tasa de crecimiento de una especie como el pez dorado. Los resultados positivos obtenidos para la producción de peces y plantas, así como la fácil regulación de los parámetros fisicoquímicos del agua, apoyarían la idea de que es posible poner en funcionamiento un prototipo acuapónico como el descrito, de fácil manejo, controlando tan sólo varios parámetros físico-químicos y sin grandes inversiones, capaz de cumplir el objetivo final de producción de biomasa vegetal y animal.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] INEGI, «Sistema para la consulta del cuaderno estadístico municipal de Tijuana. Baja California, México» 18 diciembre 2005. [En línea]. Available: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/esp/anol/sistemas/cem05/estata/bc/m004/index.htm..> [Último acceso: 2 noviembre 2021].
- [2] C. N. d. Población, «Perfil socio demográfico de Tijuana. Apuntes de población de Baja California, Mexicali. Gobierno del estado» 2009. [En línea]. Available: [http://www.bajacalifornia.gob.mx/conapo/seis/publicaciones/2009/PSTijuana 2009.pdf..](http://www.bajacalifornia.gob.mx/conapo/seis/publicaciones/2009/PSTijuana%202009.pdf..) [Último acceso: 02 noviembre 2021].
- [3] K. Navarro-Chaparro, P. Rivera y R. Sanchez, «Análisis del manejo de agua en la ciudad de Tijuana Baja California: factores críticos y retos,» Estudios Fronterizos, vol. 17, n° 33, pp. 53-80, 2016.
- [4] F. MARcus, «El medio ambiente y la economía en la frontera entre México y Estados Unidos: llamamiento a la acción para convertir la región de la frontera entre México y Estados Unidos en un modelo de cooperación binacional para la sustentabilidad.,» de Agua en la frontera. Situación y tendencias, Estados Unidos, Aspen Institute, 2000, pp. 49-66.
- [5] K. Navarro, La problemática del agua urbana en la ciudad de Tijuana, Baja California y algunas alternativas para una gestión sustentable., Tijuana: Colegio de la frontera norte., 2010.
- [6] S. Diver y R. L., «Aquaponics – integration of hydroponics with aquaculture,» ATTRA– National Sustainable Agriculture Information Service., 2010.
- [7] R. Junge, B. König, M. Villarroel, T. Komives y M. H. Jijakli, «Strategic,» Water, vol. 9, n° 182, pp. 1-9, 2017.
- [8] A. ., «Aquaponics curriculum,» 02 febrero 2000. [En línea]. Available: [http://northhuronag.weebly.com/uploads/1/1/2/8/11286496/aquaponics\\_curriculum\\_student\\_manual\\_unlocked.pdf.](http://northhuronag.weebly.com/uploads/1/1/2/8/11286496/aquaponics_curriculum_student_manual_unlocked.pdf.) [Último acceso: 03 Noviembre 2021].

## 7.- ANEXOS

Para esta nueva actualización se requirieron algunos mayores elementos como la ayuda de una app para poder leer datos por segundo, es decir, poder leer en tiempo real para verificar su interfaz.



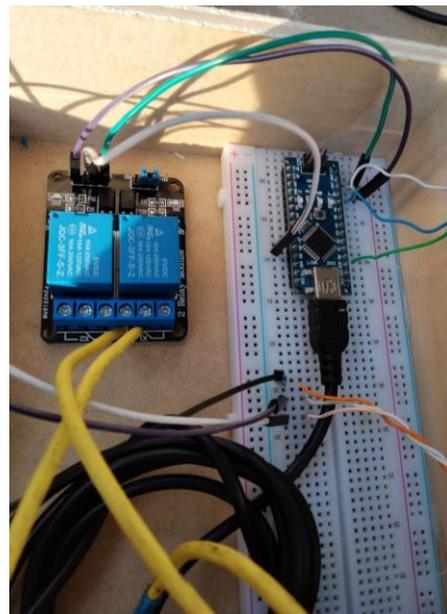
**Figura 2.** Graficas en tiempo Real durante la experimentación del sistema vistas en segundos.

A continuación, se muestran resultados del producto final sistema acuaponico implementado en físico una vez que estaba en funcionamiento.



**Figura 3.** Producto final del ensamblaje del sistema.

Y un poco más de cerca su circuitería principal para la implementación del mismo, a través del cual se llevó a cabo su proceso.



**Figura 4.** Circuitería del Sistema vista de cerca.