

## SISTEMA DE MONITOREO DE pH CON TECNOLOGÍA ZIGBEE EN LA BIOFLOCULACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SOROKINIANA

### pH MONITORING SYSTEM WITH ZIGBEE TECHNOLOGY IN THE BIOFLOCULATION OF THE MICROALGA CHLORELLA SOROKINIANA MICROALGA CHLORELLA SOROKINIANA

Rodríguez Avila German<sup>1</sup>, Castro Contreras Rubén<sup>2</sup>, Amado Moreno María Guadalupe<sup>3</sup>,  
Sarabia Aparicio Juan Luis<sup>4</sup>, Toscano Palomar Lydia<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Ingeniería, Tecnológico Nacional de México campus Mexicali, Departamento de Ciencias Básicas, yerman@itmexicali.edu.mx, Tel. (686)-580-4980, Av. Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, C. P. 21376, Mexicali, B.C, México.

<sup>2</sup> Doctorado en ingeniería, Tecnológico Nacional de México campus Mexicali, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, castro.ruben@itmexicali.edu.mx, Tel. (686)-580-4980, Av. Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, C. P. 21376, Mexicali, B.C, México.

<sup>3</sup> Doctorado en Ciencias, Tecnológico Nacional de México campus Mexicali, Departamento de Ciencias Básicas, lupitaamado@itmexicali.edu.mx, Tel. (686)-580-4980, Av. Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, C. P. 21376, Mexicali, B.C, México.

<sup>4</sup> Maestría en Ciencias, Tecnológico Nacional de México campus Mexicali, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, jsarabia@itmexicali.edu.mx, Tel. (686)-580-4980, Av. Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, C. P. 21376, Mexicali, B.C, México.

<sup>5</sup> Doctorado en Ciencias, Tecnológico Nacional de México campus Mexicali, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, toscano.lydia@itmexicali.edu.mx, Tel. (686)-580-4980, Av. Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, C. P. 21376, Mexicali, B.C, México.

**Resumen** – Se desarrolló en el Tecnológico Nacional de México campus Mexicali un sistema de monitoreo de pH como herramienta esencial para la realización del Proyecto “Optimización del proceso de cosecha de la microalga *Chlorella sorokiniana* por co-pelletización con cepa atoxigénica *Aspergillus flavus* y mejoramiento del contenido de lípidos”. La tecnología utilizada consistió en una red de sensores inalámbricos con implementación del algoritmo de tiempo real PREEMPT-RM y un microcontrolador PIC16F886 de bajo consumo de energía para los procesos de control. El sistema fue capaz de recopilar y presentar datos en una interfaz gráfica de usuario a través de una conectividad a internet. Proporcionó una solución efectiva para el monitoreo continuo y el control preciso de pH, permitiendo ajustes oportunos para optimizar la cosecha de la microalga. Se validó el sistema por calibración del electrodo de pH con soluciones amortiguadoras para evaluar su eficacia y rendimiento garantizando un monitoreo con tiempo de respuesta efectivo. Posteriormente se utilizó para la detección y control preciso de pH en el medio de cultivo y en la biofloculación, encontrándose que un buen sistema de monitoreo permite tomar acciones inmediatas para optimizar el proceso de cosecha de la microalga.

**Palabras Clave:** *Chlorella sorokiniana*, pH, PREEMPT-RM, ZigBee.

**Summary** – A pH monitoring system was developed at the “Tecnológico Nacional de México campus Mexicali” as an essential tool for carrying out the Project “Optimization of the harvesting process of the *Chlorella*

*sorokiniana* microalgae by co-pelletizing with the atoxygen strain *Aspergillus flavus* and improvement of the lipid content”. The technology used consisted of a wireless sensor network with implementation of the PREEMPT-RM real-time algorithm and a low energy consumption PIC16F886 microcontroller for control processes. The system was able to collect and present data in a graphical user interface through internet connectivity. It provided an effective solution for continuous monitoring and precise pH control, allowing timely adjustments to optimize microalgae harvesting. The pH electrode calibration system was validated with buffer solutions to evaluate its effectiveness and performance, guaranteeing effective response time monitoring. Later it was used for the detection and precise control of the pH in the culture medium and in the biofloculation, finding that a good monitoring system allows immediate actions to be taken to optimize the microalgae harvesting process.

**Key Words:** *Chlorella sorokiniana*, pH, PREEMPT-RM, ZigBee.

#### INTRODUCCIÓN

El cultivo de microalgas, como la *Chlorella sorokiniana*, ha emergido como una solución prometedora en la búsqueda de alternativas sostenibles para la seguridad alimentaria, la producción de biocombustibles y la mitigación del cambio climático. Estas microalgas tienen la capacidad única de convertir la luz solar y el dióxido de carbono en biomasa, ofreciendo un recurso valioso para la producción de nutrientes y compuestos bioactivos [1].

El control preciso de pH en el medio de cultivo es esencial para garantizar un crecimiento sano y una alta productividad de *Chlorella sorokiniana*. Mantener un pH adecuado asegura una disponibilidad óptima de nutrientes y proporciona un entorno favorable para el mejor desarrollo del cultivo microalgal. Sin embargo, lograr y mantener concentraciones estables de pH en los sistemas de cultivo a gran escala presenta desafíos significativos [2].

Actualmente, el cultivo de células de hongos y microalgas (biofloculación) se considera una tecnología potencial para minimizar los costos de recolección y los insumos de energía en los sistemas de cosecha o recolección de microalgas en la producción de biocombustibles [3].

La tecnología ZigBee consiste en una red de sensores inalámbricos con implementación del algoritmo de tiempo real PREEMPT-RM, que con la ayuda de un microcontrolador PIC16F886 de bajo consumo de energía se encarga de todos los procesos de control. El sistema de monitoreo es capaz de recopilar y presentar datos en una interfaz gráfica de usuario a través de una conectividad a internet en cualquier momento que el usuario lo requiera [4]. La red se compone de nodo sensor, nodo coordinador y el nodo de publicación, estos nodos trabajan en conjunto para proporcionar una solución integral que permite a los cultivadores mantener concentraciones favorables de pH y optimizar el proceso de cultivo de la cosecha de la microalga *Chlorella sorokiniana*.

El algoritmo PREEMPT-RM es una herramienta fundamental en el ámbito de la planificación en tiempo real [5]. Diseñado para sistemas en los que las tareas deben ser ejecutadas de manera precisa y oportuna. PREEMPT-RM asigna prioridades a las tareas basándose en su importancia relativa, permitiendo que las tareas críticas se ejecuten de manera predecible y sin interrupciones, garantizando así, que se cumplan los plazos y requisitos de tiempo en aplicaciones sensibles a las limitaciones temporales [6].

La planificación en tiempo real es esencial en sistemas de monitoreo, donde las tareas deben ejecutarse dentro de los plazos específicos para garantizar la precisión y actualización de los datos recopilados. En el contexto de este sistema sobre el monitoreo en tiempo real de pH basado en tecnología ZigBee para la cosecha de la microalga *Chlorella sorokiniana*, el algoritmo PREEMPT-RM desempeña un papel crítico.

La implementación de PREEMPT-RM asegura que las tareas relacionadas con la adquisición, procesamiento y presentación de datos de pH se realicen de manera oportuna. El algoritmo PREEMPT-RM es una

herramienta crucial para lograr el monitoreo en tiempo real eficiente y confiable [7].

El objetivo fue desarrollar un sistema de monitoreo de pH en tiempo real con tecnología ZigBee en la biofloculación de la microalga *Chlorella sorokiniana*. Requisito para garantizar el desarrollo del cultivo microalgal necesario para la realización del proyecto financiado por el Tecnológico Nacional de México “Optimización del proceso de cosecha de la microalga *Chlorella sorokiniana* por Co-peletización con cepa atoxigénica *Aspergillus flavus*” (Clave: 7857.20-P).

## DESARROLLO

El sistema de monitoreo desarrollado utiliza una tecnología que se basa en la red inalámbrica ZigBee y la implementación del algoritmo en tiempo real PREEMPT-RM y se muestra en la figura 1.

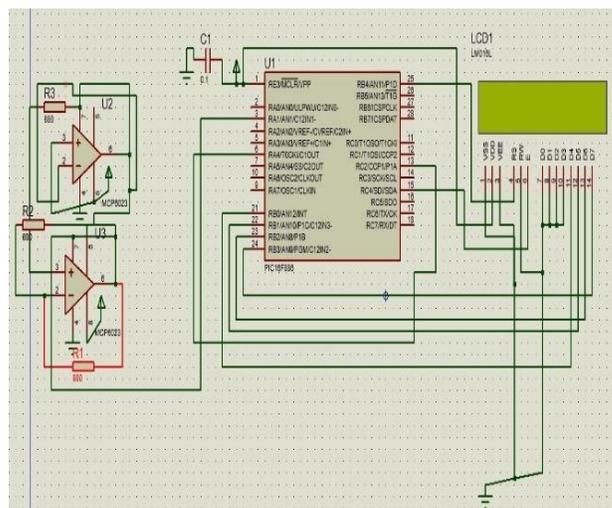


Figura 1. Diagrama general del sistema de monitoreo de pH.  
Fuente: elaboración propia.

El sistema de monitoreo se compone de tres nodos principales:

- Nodo sensor.
- Nodo coordinador.
- Nodo publicación.

El sistema se inicia con el nodo sensor, el cual se encuentra equipado con un sensor analógico de pH, este sensor mide los niveles de pH en un rango de 0-14, la precisión de este sensor es de +/- 0.0002 con una tasa de una lectura por segundo, el sensor puede ser calibrado en tres puntos y opera con un voltaje de 3.3 a 5V. El sensor consta de una sonda que contiene un alambre de plata con un coplee sumergido en cloruro de plata y un alambre de referencia sumergido en cloruro de potasio [8]. En el medio de cultivo de *Chlorella sorokiniana*, el sensor de pH se conecta al circuito que está montado en una placa

de base oro mediante un conector Bayonet Neill Concelman (BNC) el cual sirve para conectar el sensor de pH con el circuito y se observa en la figura 2.



Figura 2. Sensor analógico de pH.

El sensor analógico de pH tiene como principio de operación medir la actividad de iones de hidrógeno en un líquido. En la punta de la sonda del sensor de pH hay una membrana de vidrio, esta membrana permite que iones del líquido medido se difuminen en la capa exterior del vidrio, mientras los iones más grandes permanecerán en la solución.

La comunicación inalámbrica ZigBee, conocida por su eficacia energética y alcance, permite la transmisión de datos desde el nodo sensor al nodo coordinador, esta comunicación inalámbrica es fundamental, ya que evita la necesidad de cables y proporciona flexibilidad en la ubicación de los nodos en el entorno de cultivo [9].

En figura 3 se muestra el microcontrolador modelo PIC16F886 de alta precisión para adquirir y transmitir los datos de pH obtenidos en tiempo real al nodo coordinador a través de la red ZigBee [10].



Figura 3. Microcontrolador PIC16F886. Fuente: [11].

En el nodo coordinador se reciben los datos de pH capturados por el nodo sensor de manera inalámbrica por medio del radio ZigBee utilizando el estándar 802.15.4, el radio ZigBee se conecta a un dispositivo host (ZigBee y microcontrolador) a través de una lógica de nivel asíncrono de un puerto serial. La comunicación serial depende de que se configuren los siguientes aspectos: velocidad de baudios, bits de inicio, bits de parada, bits de datos. El radio ZigBee se configura y programa utilizando el software XCTU del desarrollador Digi International. Utilizando la implementación del algoritmo en tiempo real PREEMPT-RM, se asignan prioridades a las tareas en función de sus plazos de ejecución y frecuencias [12], el algoritmo procesa los datos y los almacena en una base de datos SQL.

La implementación de tiempo real con PREEMPT-RM, esta segmentada en hilos de programación, el primer hilo es el más prioritario, lee periódicamente de un puerto las mediciones del sensor de pH y guarda el valor más reciente en una variable, cuando el valor registrado por el sensor sobrepase un umbral definido anteriormente enviará un mensaje de correo electrónico indicando la alerta. El segundo hilo, de prioridad intermedia, se encarga de hacer los cálculos matemáticos con tres ciclos anidados. El tercer hilo, el de menor prioridad lee el valor de la medición de la variable y lo almacena en un arreglo, para esto se utilizó el protocolo RATE MONOTOIC y el protocolo PIP para administrar el acceso a la variable compartida.

La implementación de tiempo real PREEMPT-RM [13] garantiza una ejecución oportuna de las tareas críticas del sistema. Este enfoque de tiempo real permite una planificación precisa de las tareas y una respuesta rápida ante cualquier cambio de pH del medio en el cultivo. La combinación de la tecnología ZigBee y la implementación de tiempo real asegura un control preciso y en tiempo real de pH lo que maximiza la biofloculación de las microalgas.

El código necesario para la petición, adquisición, procesamiento y transmisión inalámbrica se encuentra almacenado en la memoria de código del PIC16F886, en la primera parte del código se habilita la comunicación en modo I2C y se declaran todas las variables necesarias, en seguida, se desarrolla la función leer y procesar los datos del sensor de pH vía I2C. Esta función a su vez se divide en dos funciones una para realizar la comunicación UART entre el microcontrolador y el radio ZigBee y la segunda para la transmisión inalámbrica de los datos. En el código se programa el intervalo de tiempo en el cual los componentes se activarán y realizarán el monitoreo de los parámetros de acuerdo con las necesidades requeridas,

en este caso para la microalga *Chorella sorokiniana* se estableció en intervalos de 10 minutos.

El sistema incluye un nodo de publicación que es el encargado de la comunicación con la base de datos y de mostrarlos en una interfaz gráfica, la interfaz gráfica (GUI) desarrollada en código para diseño web HTML5 y en el lenguaje de programación llamado Hypertext Preprocessor (PHP), se convierte en el punto de interacción entre los usuarios y el sistema [14]. A través de la GUI, los cultivadores pueden visualizar los datos de pH en tiempo real de manera clara y comprensible [15]. La GUI se conecta directamente con la base de datos que registra el pH obtenido por el nodo coordinador y muestra los datos obtenidos de manera gráfica, facilitando la interpretación y la toma de decisiones.

### DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el desarrollo y la implementación del sistema de monitoreo en tiempo real de pH basado en tecnología inalámbrica ZigBee con implementación en el algoritmo de tiempo real PREEMPT-RM para la cosecha de la microalga *Chorella sorokiniana*, se realizaron diversas pruebas y experimentos para evaluar su rendimiento y eficacia.

En primer lugar, se llevaron a cabo pruebas de transmisión inalámbrica utilizando la red local ZigBee para verificar la comunicación confiable y eficiente entre los nodos del sistema. Los resultados demostraron una transmisión exitosa de los datos de pH con una baja tasa de error en el electrodo de pH de acuerdo a especificaciones de fabricante, lo que garantiza la calidad y precisión de la información recopilada.

Adicionalmente, se realizaron mediciones de pH en tiempo real utilizando los nodos sensores del sistema. Estos sensores inalámbricos permitieron una adquisición precisa y continua de los datos de pH del medio de cultivo. Estos datos fueron transmitidos al nodo coordinador, donde se procesaron utilizando la implementación de tiempo real PREEMPT-RM.

En el sistema de monitoreo se establecieron intervalos de tiempo de 10 minutos para la lectura de cambios en pH, considerados suficiente para la observación de cambios físicos y químicos en el cultivo microalgal. La implementación de tiempo real PREEMPT-RM garantizó una ejecución oportuna de las tareas críticas del sistema, lo que permitió un monitoreo en tiempo real efectivo y la toma de decisiones rápidas para ajustar las condiciones de cultivo.

Durante las pruebas realizadas, se observó un rendimiento confiable y efectivo del sistema. La transmisión inalámbrica de los datos de pH a través de la

red ZigBee demostró ser confiable y precisa, asegurando una adquisición de datos en tiempo real.

En la figura 4 se observan muestras de la biofloculación de la microalga *Chorella sorokiniana* y el sensor de pH utilizado.

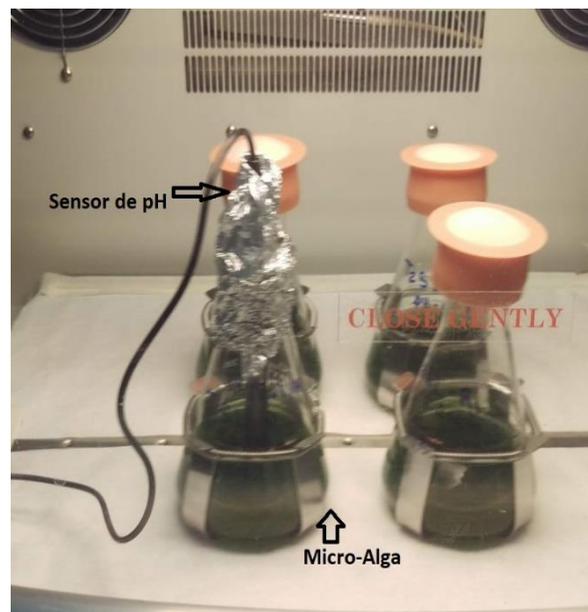


Figura 4. Muestras de la biofloculación de la microalga *Chorella sorokiniana* y el sensor de pH.

En la figura 5 se presenta una captura de pantalla de la interfaz gráfica de usuario que permite visualizar el registro de los valores de pH para su análisis en tiempo real. Esta visualización inmediata facilitó la interpretación de los datos y ayudó en la toma de decisiones informadas para optimizar la biofloculación del cultivo de la microalga.

SEP SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MEXICALI

...:Sensor pH (PH):...

Range A:

Range B:

Show: 100 entries Search:

ID	Ph	Date
1	5.0	2019-07-09 11:00:00
2	5.10	2019-07-09 11:10:00
3	5.10	2019-07-09 11:20:00
4	5.0	2019-07-09 11:30:00
5	5.0	2019-07-09 11:40:00
6	5.0	2019-07-09 11:50:00
7	5.0	2019-07-09 12:00:00

Figura 5. Interfaz gráfica de usuario. Fuente: elaboración propia.

Los datos para el pH arrojan una media de 5.10, una desviación estándar de 0.39, máximo 6 con  $N = 250$ . El mayor número de observaciones se encuentra en el intervalo de clase de 5.0 a 5.10 con 44% del total de las observaciones como se muestra en la figura 6. De acuerdo con la curva del histograma los datos se ajustan a una distribución lógica

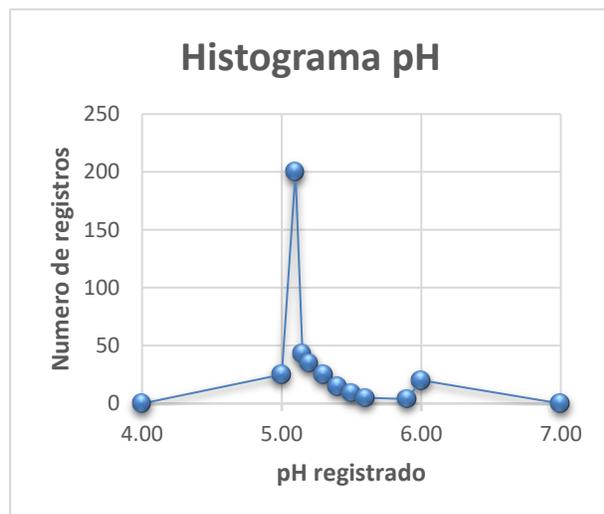


Figura 6. Histograma de pH. Fuente: elaboración propia.

A manera de comparación, se presentan los resultados de tres investigaciones de otros autores centradas en sistemas de monitoreo de pH y tecnología ZigBee:

La investigación realizada por Han et al., se centró en granjas de camarones, demostrando la eficacia de la tecnología ZigBee en aplicaciones de monitoreo y control en cultivos acuáticos. Los resultados indicaron que la implementación de ZigBee permitió un monitoreo en tiempo real de parámetros clave, como el pH. Esto condujo a un mejor control de las condiciones del cultivo y, en última instancia, a un aumento en la calidad de los productos cultivados [16].

El estudio de Kliphuis et al., se centró en el cultivo de la microalga *Chlorella*. Los resultados mostraron que el monitoreo continuo de pH utilizando una red de sensores inalámbricos permitió un control preciso y en tiempo real de las condiciones del cultivo, manteniéndose dentro de los rangos óptimos, lo que condujo a un aumento en la biomasa de *Chlorella* y una mayor eficiencia en la producción [17].

En el trabajo de Azaman et al., se implementó un sistema de monitoreo en tiempo real de pH en cultivos de microalgas utilizando tecnología ZigBee. Los resultados indicaron que el sistema permitió un monitoreo continuo y preciso de pH, lo que llevó a una mejora significativa en el crecimiento y la productividad de las microalgas. Se

observó una reducción en las fluctuaciones de pH, lo que resultó en condiciones de cultivo más estables y óptimas [9].

Los resultados obtenidos en todos estos trabajos resaltan la importancia y los beneficios del monitoreo en tiempo real de pH utilizando tecnología ZigBee en el cultivo de microalgas y otros organismos acuáticos.

En conjunto los resultados obtenidos demuestran que el sistema de monitoreo proporciona una respuesta rápida a los cambios de pH, permitiendo tomar acciones correctivas de manera oportuna. Estos resultados respaldan la utilidad y eficacia del sistema para controlar el pH en cultivos.

### CONCLUSIONES

El sistema de monitoreo de pH en tiempo real desarrollado e implementado fue un factor clave para la sobrevivencia del cultivo de la microalga *Chlorella sorokiniana* y su biofloculación. Al mismo tiempo, aportó al desarrollo del proyecto “Optimización del proceso de cosecha de la microalga *Chlorella sorokiniana* por co-peletización con cepa atoxigénica *Aspergillus flavus* y mejoramiento del contenido de lípidos”.

Una de las características principales de este sistema de monitoreo de pH es su construcción con componentes de bajo costo y su bajo consumo de energía.

Este sistema de bajo costo automatiza la medición de los parámetros de pH, lo que facilita enormemente el proceso de registro de datos para los usuarios.

Si bien el sistema presenta ventajas notables, es importante destacar que su implementación exitosa requiere una calibración adecuada de los sensores y la comprensión de las necesidades específicas del cultivo de microalgas. Además, la integración con otros sensores y dispositivos puede enriquecer aún más la funcionalidad y las posibles aplicaciones del sistema.

Como trabajo futuro se pueden utilizar los datos para hacer análisis más avanzado y completo con técnicas de machine learning, esto con el propósito de tratar de predecir y optimizar las condiciones de cultivo ideales. Estos métodos también logran proyectar los cultivos de microorganismos a tecnologías de detección de metabolitos y la identificación de moléculas valiosas secretadas por los cultivos.

### AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México campus Mexicali, por todo el apoyo y compromiso para el desarrollo e implementación de este sistema de monitoreo de pH.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ibrahim, I.A. & Elbaily, Z.I. (2020). A review: Importance of chlorella and different applications. *Alexandria Journal for Veterinary Sciences*, 65(1), pp. 16-34.
- [2] Yu, H., Kim, J., Rhee, C., Shin, J., Shin, S.G., & Lee, C. (2022). Effects of different pH control strategies on microalgae cultivation and nutrient removal from anaerobic digestion effluent. *Microorganisms*, 10(2), pp. 357.
- [3] Toscano, L., Ogden, K.L., Ogden, G., Cervantes, L., Steichen, S.A., Brown, J. (2018). Harvesting the microalga *Chlorella sorokiniana* by fungal-assisted pelletization. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 12(6), pp. 493-505.
- [4] Audsley, N.C., Burns, A., Richarson, M.F., & Wellings, A.J. (1991). "Hard Real-Time Scheduling: The Deadline Monotonic Approach," in *Proceedings 8th IEEE Workshop on Real-Time Operating Systems and Software*, Atlanta, GA, USA.
- [5] Ferrag, M.A., Al-Sammame, A.M., Naman, A.N. & Jafar, I.A. (2020). "A novel real-time ZigBee-based indoor positioning system," in *Proceedings of the International Conference on Computing, Networking and Communications*, pp. 1-5.
- [6] Al-Hek, K., Benkrid, K. & Alja'am, J. (2019). "ZigBee-based environmental monitoring system with mobile device interface," in *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, vol. 1, pp. 1-5.
- [7] Pastrana, J.A., Alvarez, M.S., Ruíz, G.E. & López, J.C. (2010). "Microcontroller-based real-time pH monitoring system for industrial applications," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 59, no. 7, pp. 1932-1939.
- [8] Carvalho, R.X., Pereira, P.A.R., Souza, R.V. & Abrahão, T.M.B.V.W.S. (2017). "A ZigBee-based wireless sensor network for real-time monitoring of vineyards," *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 3, pp. 847-855.
- [9] Azaman, S.N.A., Yusof, Y. & Hasbullah, H. (2017). Continuous monitoring and control of pH in *Chlorella* cultivation using wireless sensor network. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 9(2-11), 119-123.
- [10] Ara, T., Hossain, T. & Hasan, M. (2018). "Design and implementation of a ZigBee-based home automation system", in *Proceedings of the International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering*, pp. 122-127.
- [11] Microchip Technology Inc, "PIC16F882/883/886/887 DataSheet" 2011. Recuperado de: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>
- [12] Raza, N., Muhammad, F., Iqbal, M. & Javaid, A. (2017) "ZigBee-based wireless data acquisition system," in *Proceedings of the International Conference on*

- Electrical, Communication and Computer Engineering*, pp. 1-6.
- [13] Liu, C.L. & Layland, J.W. (1973). "Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard Real-Time Environment," *Journal of the ACM*, vol. 20, pp. 46-61.
- [14] Saad, W. & Aggoun, A. (2018). "A ZigBee-based environmental monitoring system for underground coal mines", in *Proceedings of the International Conference on Computer Science and Information Technology*, pp. 283-289.
- [15] Zhan, L., Ma, W. & Li, W. (2010). "Design and implementation of ZigBee-based wireless sensor network for monitoring of transformer substation", in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems*, pp. 316-319.
- [16] Han, S., Kang, Y., Park, K. & Jang, M. (2007). "Design of Environment Monitoring System for Aquaculture Farms", 2007 *Frontiers in the Convergence of Bioscience and Information Technologies*, Jeju City, pp. 889-893. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4524224>.
- [17] Kliphuis, A. M. J., de Winter, L., Vejraska, C., Martens, D. E., Janssen, M., & Wijffels, R. H. (2010). Photosynthetic efficiency of *Chlorella sorokiniana* in a turbulently mixed short light-path photobioreactor. *Biotechnology Progress*, 26(3), 687-696. <https://doi.org/10.1002/btpr.379>.

## Roles de Contribución

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Lydia Toscano Palomar
Curación de datos	Ruben Castro Contreras
Administración del proyecto	German Rodriguez Avila
Recursos	Juan Luis Sarabia Aparicio
Redacción	María Guadalupe Amado Moreno



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.