

# Implementación de un Sistema Experimental de Monitoreo Basado en una Red Inalámbrica para Comparar el Consumo de Energía y Calidad de Servicio de una Red de Sensores en un Entorno Acuático

Gerardo Francisco Sacarelo Vásquez<sup>(1)</sup> Gabriela Alejandra Romero Muñoz<sup>(2)</sup>  
MSc. Patricia Ximena Chávez Burbano<sup>(3)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
{gsacarel<sup>(1)</sup>, garomero<sup>(2)</sup>, paxichav<sup>(3)</sup>}@espol.edu.ec

## Resumen

*El crecimiento y la salud del camarón, en la acuicultura, depende de parámetros ambientales y químicos en el agua, tales como, temperatura y oxígeno disuelto. Actualmente, la compilación y la medición de datos se realizan manualmente. En este trabajo se propone y evalúa una red de sensores prototipo cuyos nodos se interconectan inalámbricamente. Los módulos XBee utilizados se configuran para reducir el consumo de energía. Adicionalmente, el diseño de la red aprovecha la topología de malla que permite aumentar la fiabilidad en la transmisión de datos. Se realizaron pruebas en entornos reales como tanques y piscinas, con varios nodos colocados en plataformas flotantes para obtener, transmitir y almacenar datos relativos a temperaturas. Los resultados obtenidos son alentadores y demuestran las posibilidades que existen para explotar componentes electrónicos de bajo costo para mediciones en acuicultura.*

**Palabras Claves:** XBee, DigiMesh, acuicultura; sensor; red inalámbrica; malla.

## Abstract

*Shrimp growth and health, in aquaculture, are affected by changes in environmental and water quality parameters, such as, temperature and dissolved oxygen. Presently, parameter collection and data measurement are done manually. This paper proposes a prototype sensor network for shrimp farm whose nodes are interconnected wirelessly. The XBee modules used in this work can be configured to reduce power consumption. The network's design takes advantage of the mesh topology which can raise data transmission reliability. The network was tested in real environments like tanks and farms, where multiple nodes were placed on floating platforms to obtain, transmit and gather water temperature data. Our results are encouraging and demonstrate the possibilities to exploit low-cost electronics for smart-shrimp-farming.*

**Keywords:** XBee, DigiMesh, aquaculture; sensor; wireless network; mesh.

## 1. Introducción

En Ecuador, la producción de camarón constituye el segundo rubro de ingreso de exportaciones, donde el camarón blanco representa más del 90% de su producción [1]. Según valores estadísticos presentados por la Cámara Nacional de Acuicultura, se alcanzó en el mes de Abril del 2014 un ingreso superior a 200 millones de dólares al país en nombrada actividad [2].

Dentro de entornos acuícolas, el desarrollo del camarón se ve perturbado por las condiciones climáticas y la contaminación del agua [3]. Así mismo, el método como se cultiva el camarón: cría intensiva, uso indiscriminado de químicos, tóxicos y antibióticos tiene dominio directo en la aparición de enfermedades

[4]. Es preciso el monitoreo continuo de parámetros químicos y ambientales para mantener la calidad del agua en niveles apropiados para el cultivo de camarón. De lo contrario, las enfermedades se pueden irradiar ágilmente y generar una caída en los niveles de producción. Según [5] en 2010, 1,7 millones de toneladas de camarón se perdieron en China por contaminación del agua y enfermedades, y en 2011, brotes de enfermedades terminaron con gran parte de la producción de camarón en Mozambique.

Emplear sistemas de monitoreo aprovechando múltiples sensores para estimar la calidad de agua en acuicultura ya fue propuesto por Shen et al [6]. Una opción de bajo coste para la transmisión de datos es la tecnología Zigbee [7], basada en el estándar IEEE

802.15.4. Un trabajo anterior fue mostrado en [8], compuesto por varios nodos de sensores y un coordinador. Cada nodo transmite información al nodo coordinador de forma independiente.

Por lo tanto los resultados que se obtendrán son de carácter integral, dado que su aplicación puede cubrir varios ámbitos. Al colocar una red inalámbrica de sensores mejoraría el control operativo remoto, reduciendo el riesgo de falla durante el mantenimiento de algún elemento o módulo de la red.

Por su exposición inmediata al medio ambiente, la calidad de servicio dentro de la industria acuícola es de alta importancia para llevar un seguimiento de cada uno de sus parámetros y con ello prospera la necesidad de tener un mecanismo automatizado que permita capturar los datos de manera rápida.

Finalmente, mediante el desarrollo e implementación de un sistema en base a redes inalámbrica de sensores se proyecta realizar un control directo y en tiempo real de las industrias acuícolas, envolviendo a ciencias como la electrónica y las telecomunicaciones que han evolucionado significativamente y que brindan soluciones muy efectivas y eficientes tanto en funcionalidad como en utilidad para monitorear y llevar un control riguroso en este tipo de proceso.

## **2. Implementación de un sistema de monitoreo para un entorno acuático**

Entornos acuáticos como piscinas, tanques o reservorios son utilizados extensamente en la acuicultura. En esta actividad, parámetros tales como oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, entre otros deben ser monitoreados constantemente. Si los parámetros salen de los rangos establecidos, la producción de cultivos como camarón, tilapia y otras especies, pueden verse afectados negativamente tanto en el crecimiento como en la sobrevivencia [3].

Mediante este estudio se propuso la evaluación de una red inalámbrica de sensores destinada a hacer mediciones automáticas de parámetros ambientales en entornos acuáticos utilizando los módulos de radiocomunicación (XBee DigiMesh).

### **2.1. Metodología**

Para la evaluación de la red de sensores, se analizaron parámetros tales como el consumo energético de transmisión, la variación del retardo y la pérdida de paquetes, en condiciones de alta exposición a interferencias, obstáculos y se tomó en cuenta la distancia entre los nodos de la red.

Primeramente, se configuraron cada uno de los módulos de radiocomunicación, así como identificadores, canales, potencia, ciclos de reposo, entre otros. Como siguiente paso, se realizaron las pruebas de control para verificar los datos del fabricante.

A través del respectivo análisis de datos se procedió a diseñar un modelo para poder llevarlo a la experimentación. Se repitió las pruebas para observar el impacto y verificar como afecta este diseño a las mediciones con respecto a las pruebas anteriores. Luego, se comprobó la funcionalidad tanto de cada equipo como de la red con la topología establecida.

Finalmente, se recopiló toda la información y se comparó los resultados obtenidos de los diferentes entornos.

### **2.2. Módulos de radiocomunicación**

Los módulos de radiocomunicación utilizados poseen las características de la tecnología ZigBee con un protocolo adicional, conocido como DigiMesh.

Esta tecnología fue desarrollada para satisfacer la creciente demanda de capacidad de red inalámbrica entre terminales de baja potencia [9]; se basa en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal, opera en la banda de frecuencias no licenciadas ISM de 2.9GHz y puede transferir datos hasta 250Kbps.

Al utilizar el protocolo DigiMesh, todos los nodos tienen el modo de dormir, es decir, reduce notablemente el consumo de energía mientras no están transmitiendo o recibiendo datos y se pueden comunicar entre ellos debido a que no poseen jerarquía, hay un solo tipo de nodo.

En la banda 2.4GHz operan otros dispositivos y para evitar las interferencias con esas señales, XBee DigiMesh utiliza DSSS, dispersa la energía tal manera que otros sistemas la confundan como ruido. Proveen conexiones seguras entre dispositivos utilizando 128-bit AES de cifrado y, permiten la asignación opcional de ranuras de tiempo garantizado (GTS) para cubrir la latencia de los dispositivos e incluso utiliza un protocolo asíncrono, half dúplex y estandarizado permitiendo a distintos fabricantes trabajar juntos [10].

### **2.3. Características del diseño**

Las redes inalámbricas permiten movilidad dentro del área de cobertura pero son más propensas a sufrir alteraciones. En los entornos acuáticos, para una buena comunicación se tuvo en cuenta el diseño del enlace, la línea de vista y por lo menos, el 60% de la primera

zona de Fresnel. No se consideró la curvatura de la tierra debido a que la distancia entre los módulos de radiocomunicación no supera los 100m [11].

Para la implementación de la red, no se requirió previa infraestructura como estaciones bases, debido a que la radiocomunicación se realizó entre los módulos XBee DigiMesh. Obteniendo una red flexible, escalable, de fácil manejo, y de bajo consumo de energía.

Para disminuir la pérdida de datos se requirió una red robusta, con redundancia entre nodos. Además, la red que se construyó, fue capaz de cubrir las áreas deseadas, utilizaron algunos módulos como repetidores con la finalidad de aumentar el rango de cobertura considerando la distancia máxima.

Esta red transmitió datos a una tasa máxima de 250Kbps ya que adquirió las propiedades de los módulos XBee DigiMesh. En este proyecto, solo se enviaban datos puntuales de temperatura con la finalidad de probar la funcionalidad de la red, pero los nodos pueden ser capaces de procesar otros parámetros (salinidad, oxígeno disuelto, turbulencia, etc.) dependiendo de qué sensor se incorpore.

## 2.4. Topologías de la red inalámbrica

De acuerdo a la inspección realizada en las instalaciones del CENAIM, las pruebas se realizaron en dos escenarios: en interior y exterior.

En ambiente cerrado se encontraron tanques, recipientes negros ovalados de aproximadamente 4m de ancho, 6m de largo y 1m de altura. En este lugar, solo se pudo hacer conexiones punto a punto debido a que el lugar es pequeño.

En cambio, el escenario exterior estuvo conformado por piscinas de tierra de diferentes áreas. Las piscinas de 500m<sup>2</sup> se interconectaron en fila de punto a punto, es decir, se colocó un nodo en cada estanque y para las piscinas de 1000 y 2500m<sup>2</sup>, se empleó la red con topología malla, basada en los datos obtenidos (alcance máximo, altura de los módulos, entre otras) de la topología punto a punto.

## 2.5. Consumo de energía y calidad de servicio

Los módulos XBee DigiMesh tienen tres modos: transmisión, recepción/espera y ahorro. En cada uno de ellos se observó un comportamiento diferente en potencia con la diferencia de que en el modo ahorro de energía, su potencia disminuye a más del 99% comparado con los otros modos.

En la calidad de servicio, se analizaron dos factores importantes en una transmisión inalámbrica: tiempo en establecer el enlace y pérdida de paquetes.

Para obtener el retardo, se envió un mensaje del transmisor al receptor y viceversa con la finalidad de medir el tiempo de duración. Este tiempo es dividido para 2, debido a que recorre dos veces el mismo camino. En entornos acuáticos como tanques, el tiempo promedio fue de 32 ms y en piscinas de tierra, fue de 17ms. En interiores demora más que en entornos exteriores debido al efecto multitrayectoria provocado por las paredes y objetos donde la señal se puede reflejar y/o refractar.

Para la pérdida de paquetes, se realizó un algoritmo de envío de datos (32B). El receptor conocía el contenido del mensaje enviado, por consiguiente cada vez que le llega un paquete hacía la comparación respectiva. Si se considera el radio de Fresnel, los errores tienden a ser mínimos.

Luego de obtener las condiciones necesarias para buena comunicación de las pruebas anteriores, se armó la red con topología malla. Los datos llegaron al nodo receptor conocido como acumulador (guardaba los datos de los demás nodos), sin ningún inconveniente y la transmisión no era afectada si uno de los nodos no transmitía.

De acuerdo a la fórmula estadística del tamaño de muestreo para un intervalo de confianza conocido [12], las pruebas se repitieron 73 veces a un 95% de confiabilidad.

## 3. Conclusiones

Se realizó una red inalámbrica con módulos XBee DigiMesh y se comprobó que estos módulos no poseen jerarquía y son de bajo consumo de energía, al tener un modo de ahorro.

El retardo promedio no se vio afectado en medios acuáticos al contrastarlo con las pruebas realizadas en tierra. En escenario en interiores, el tiempo en establecer la conexión entre módulos es mayor que en escenarios en exteriores, debido al efecto multitrayectoria.

La comunicación inalámbrica punto a punto entre los módulos XBee DigiMesh se puede realizar hasta los 100 metros en medios acuáticos, pero requiere que la altura de los módulos sea elevada. Para una buena comunicación, se debe considerar en el diseño del enlace: la línea de vista y el primer radio de Fresnel.

El monitoreo de la temperatura con topología malla en entornos acuáticos fue prometedor; debido a que se

emplearon las condiciones obtenidas en experimentos previos de la red punto a punto. Cada nodo enviaba la temperatura obtenida por el sensor con determinada frecuencia a un nodo acumulador.

#### 4. Agradecimientos

Un encarecido agradecimiento al director del CENAIM, Dr. Stanislaus Sonnenholzner, por habernos permitido hacer las respectivas pruebas en las estaciones experimentales; y al Director del CVR, Dr. Daniel Ochoa, por conceder el uso de los laboratorios y materiales necesarios en este proyecto y su gran apoyo.

#### 5. Referencias

- [1] PRO ECUADOR Instituto de Promoción de exportaciones e inversiones. Pesca y Acuicultura [On-line]. Disponible en: <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/fishing-and-aquaculture/>.
- [2] Cámara Nacional de Acuicultura. Exportaciones por Mercado y País comparativo acumulado a Abril 2014 [On-line]. Disponible en: <http://www.cna-ecuador.com/estadisticas-cna/camaron/1334-camaron-abril-2014>.
- [3] Petriella, A. M.; Boschi E. E. Crecimiento en crustáceos decápodos: de investigaciones realizadas en Argentina. *Investigaciones marinas*, 1997, pp.: 135-157. On-line ISSN: 0717-7178.
- [4] Bravo, Elizabeth. "Caso 2: La industria camaronera en el Ecuador". 2002.
- [5] Mathiesen, A. M. "The State of the World Fisheries and Aquaculture 2012". 2012.
- [6] X. Shen. *et al.*, "Water Environment Monitoring System Based on Neural Networks for Shrimp Cultivation", *Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2009. AICI '09. International Conference on*, vol.3, pp.:427,431, 7-8 Nov. 2009. doi: 10.1109/AICI.2009.294.
- [7] Jing Sun; Xiaofen Zhang, "Study of ZigBee Wireless Mesh Networks," *Hybrid Intelligent Systems, 2009. HIS '09. Ninth International Conference on*, vol.2, pp.: 264,267, 12-14 Aug. 2009. doi: 10.1109/HIS.2009.164.
- [8] D. S. Simbeye. *et al.*, Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 102, Sin publicar, pp.: 31-42.
- [9] J. Treviño & J. Silva, "Redes de sensores inalámbricas genérica". M.S. Tesis, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Mayo 2011.
- [10] I. Vidri Salgado, "ZigBee y sus aplicaciones". Trabajo de investigación. Comunicaciones

Industriales Avanzadas 2011-2012. Escuela Técnica Superior de Ingeniería-ICAI.

- [11] S. R. Saunders, A. Aragón Zavala. "Propagation Mechanisms". *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, 2nd ed.* Wiley Editorial. Mayo 7, 2007. Cap.: 3.
- [12] M. H. Badii, J. Castillo & A. Guillen. "Tamaño óptimo de la muestra (Optimum sample size)". Trabajo de investigación. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.