

Aplicación de Sistemas Embebidos e IoT Para el Monitoreo de Estanques Acuícolas en Eldorado, Sinaloa

Nava Pintor Jesus Antonio¹, Guerrero Osuna Héctor Alonso¹, Ornelas Vargas Gerardo¹, Solís Sánchez Luis Octavio¹, Castañeda Miranda Rodrigo¹.

Posgrado en Ingeniería y Tecnología Aplicada

¹Universidad Autónoma de Zacatecas

Jardín Juárez #147, Centro Histórico C.P. 98000 Zacatecas, Zacatecas, México
antonio.nava9022@gmail.com

Resumen

En la actualidad el estado de Sinaloa se encuentra entre los primeros lugares a nivel nacional en producción de camarón, así como de otras actividades acuícolas, gracias a esto, muchos productores han podido encontrar una actividad sustentable y sostenible. Es por esta razón que los acuicultores buscan alternativas que les ayude a mejorar sus procesos de producción. En Sinaloa como en muchos lugares alrededor del mundo el proceso de producción de camarón se realiza mediante personal capacitado que toma muestras químicas del agua o con dispositivos electrónicos capaces de medir la calidad del agua, sin embargo, las ineficiencias del personal responsable de tomar las mediciones de las variables importantes para el buen desarrollo del camarón producen muchas pérdidas en la producción, que se traduce a pérdida de dinero. Por ese motivo se describe el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo remoto con conectividad al internet de las cosas que permita al usuario disponer de mediciones confiables de calidad del agua en estanques dedicados a la producción de camarón mediante una interfaz gráfica en la que el productor acuícola podrá visualizar con más exactitud los datos obtenidos, reduciendo los fallos humanos, costos de contratación de personal y aumentando la cantidad de camarón producido.

Palabras clave: Acuicultura; LoRa; calidad del agua; siembra de camarón; red de sensores inalámbricos; Internet de las cosas (IoT), Industria 4.0;

1. - INTRODUCCIÓN

Actualmente, los sectores productivos primarios constituyen una parte esencial en el ámbito estratégico para el desarrollo económico del país [1], hoy en día es usual que maquinaria especializada para estos sectores sean utilizados para obtener mejoras en la producción, sin embargo, con el surgimiento de una nueva revolución industrial, la llamada “Industria 4.0”, se vuelve necesario aplicar innovación en sectores primarios [2]. La industria 4.0 es un concepto que busca la interconexión de los sistemas físicos (sensores, actuadores, etc.) con tecnologías de la información, con el fin de obtener una mejora en los servicios, posibilita también la virtualización de la información, auto diagnóstico, auto ajuste y la optimización de los procesos de producción, siendo clave para la mejora de las condiciones de trabajo laborales y en la obtención de mejores productos [3].

En los sectores productivos primarios se está buscando introducir el concepto de industria 4.0, sin embargo, debido a los diferentes problemas que este sector implica, como la lejanía de la zona de producción, las limitaciones energéticas, las fallas en las comunicaciones, el entorno ambiental, costos de producción, entre otros factores, han dificultado su implementación [4]. En el área de la acuicultura, específicamente en la siembra de camarón, el monitoreo de los parámetros de calidad del agua es de vital importancia para asegurar el buen desarrollo del producto, un deficiente monitoreo puede llevar al deterioro en las condiciones de calidad del agua, que afectan la salud del camarón de tal forma que se puede llegar a comprometer considerablemente la cosecha. Los parámetros más críticos a monitorear cuando se trata de cultivos acuícolas, son el oxígeno disuelto y la temperatura, mientras más alta sea la temperatura en el agua la solubilidad de oxígeno disuelto tiende a disminuir [5] y en condiciones en donde el oxígeno disuelto es nulo, el camarón puede morir, sin embargo, si los niveles de oxígeno disuelto son bajos, los camarones tienden a tener un crecimiento lento y los hace propensos a adquirir enfermedades fácilmente [6]. Además, la cantidad de alimento que consume el camarón depende mucho del oxígeno disuelto, cuando los niveles de oxígeno disuelto no son los óptimos el camarón no se alimenta, es por eso que muchos acuicultores no lo proporcionan cuando los niveles de oxígeno son bajos. Contrariamente, en estanques donde se administra oxígeno continuamente, las especies

marinas pueden alimentarse a cualquier hora del día, esto puede disminuir considerablemente pérdidas económicas por sobrealimentación y evitar la contaminación de los estanques [7], sin embargo, los costos de inversión en mano de obra y productos químicos son mayores.

Mantener unos niveles óptimos en los parámetros de calidad del agua resulta ser un problema internacional, en Bangka Island, Indonesia, uno de los principales problemas es la localización geográfica de los estanques, que, al estar en áreas remotas, resulta difícil llevar un monitoreo preciso [8], además el uso de recurso humano no es suficiente para realizar un buen monitoreo, los procedimientos químicos, se vuelve un proceso muy largo y caro, que va desde la contratación de recurso humano que tome las muestras, hasta las personas que realizan las pruebas químicas, lo que puede perjudicar en tiempo de respuesta de ser necesario[9]. Otra manera de tomar medidas es mediante dispositivos de mano, sin embargo, esta opción se presta a realizar mediciones fuera de tiempo o a la mala práctica por parte de los trabajadores [10].

En Eldorado, Sinaloa las mediciones de calidad del agua se llevan a cabo manualmente mediante la utilización de herramientas especializadas de medición, específicamente de la marca YSI el cual tiene un costo de aproximadamente 30,000 pesos mexicanos, las mediciones se realizan en la parte media del estanque utilizando lanchas de transporte, el equipo de medición tarda de 10 a 15 minutos para estabilizarse y poder realizar medidas precisas, por lo que el personal tiene que esperar este tiempo antes de tomar la medición, el equipo registra la medida y posteriormente el trabajador tiene que salir nuevamente del estanque y repetir el mismo procedimiento en cada uno de los estanques siguientes. Actualmente la empresa cuenta con cerca de 10 estanques dedicados a la cosecha de camarón repartidos en alrededor de 10 kilómetros cerca de la costa de la playa, el lugar de cosecha se encuentra aproximadamente a 20 Km alejadas de las oficinas de operación, por lo que el personal se tiene que desplazar por aproximadamente 30 minutos de viaje para tomar las mediciones, véase la figura 1, estas mediciones deben realizarse al menos 3 veces al día debido a los cambios que sufren los estanques de oxígeno disuelto, la medición más crítica a realizar es durante la noche, cuando la fotosíntesis cesa las plantas en el estanque como el

fitoplancton dejan de producir oxígeno [11], los camarones y otros organismos vivos siguen consumiéndolo, por lo que, si no se realiza una medida precisa y se toman precauciones, el producto puede verse afectado a la mañana siguiente.

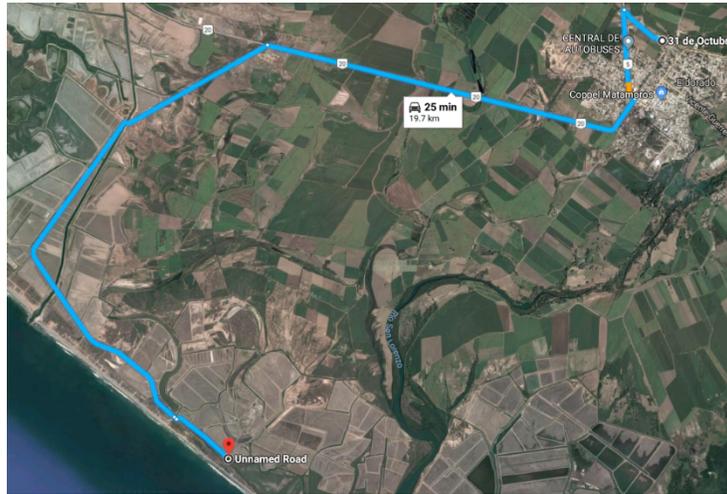


Figura 1. Trayectoria desde las oficinas centrales hasta la zona de cosecha.

Este proceso de monitoreo genera unas condiciones de trabajo adversas para el personal responsable de ejecutarlo, que para minimizar su carga de trabajo tiende a realizar mal las mediciones, omitir o incluso falsificar medidas. Esto ocasiona que el productor no tenga la información adecuada y por ende no se ejecuten las acciones pertinentes de ser necesarias cuando exista una anomalía en los estanques. Además, la inversión que el acuicultor tiene que hacer para la compra de los equipos de medición, la contratación de trabajadores, vehículos de transporte, combustibles, etc. es considerable y no se pueden permitir pérdidas en la producción debido a la omisión o fallo de los trabajadores en la zona de cosecha.

1.1. – Bases teóricas

Analizando la información aquí presentada, encontramos que para un monitoreo óptimo de los estanques de cosecha de camarón, es necesario que el sistema cuente con los siguientes requerimientos:

- Monitoreo Continuo: La información debe estar disponible en intervalos de tiempo cortos, para que el acuicultor tenga conocimiento del estado actual de sus estanques.

La información debe ser mostrada de forma amigable para que el acuicultor la entienda fácilmente.

- Cobertura de la zona de cosecha de Camarón: El sistema de monitoreo inalámbrico debe cubrir los estanques pertenecientes a los acuicultores, en total son 10 estanques dedicados a la cosecha de camarón.
- Suministro de Energía: Al ser una zona alejada del pueblo, la zona de cosecha no cuenta con instalaciones eléctricas, por lo que el uso de aparatos electrónicos que dependan de una fuente de suministro de energía constante se vuelve una tarea difícil, sin embargo, el sistema debe contar con energía eléctrica para poder desempeñar su trabajo.
- Conexión a Internet: El sistema está basado en el concepto de Internet de las Cosas (IoT), para subir la información de los nodos de monitoreo es necesario tener acceso a internet.
- Análisis de Información: La plataforma debe permitir el análisis y gestión de los datos recabados para implementar mejoras como control automático o análisis predictivo.

Para cubrir estas necesidades, se propone implementar un sistema de monitoreo autónomo inalámbrico que le permita al acuicultor visualizar continuamente las condiciones actuales de calidad del agua de sus estanques, el sistema utiliza la tecnología inalámbrica de bajo consumo energético y largo alcance LoRa que cubre sin problemas el área de cosecha.

El equipo se conecta a internet gracias al uso de la red celular 3G, la visualización de los datos se hace mediante una plataforma en línea dedicada al Internet de las Cosas, en donde se almacena y puede ser revisada, analizada y gestionada (Big Data). El sistema usa los recursos naturales existentes en las granjas para que el suministro de energía sea renovable, además, con esto se busca introducir el concepto de industria 4.0 en acuicultura.

El sistema propuesto establece una base para mejorar los procesos de producción, fomentar el crecimiento y buen desarrollo del producto, y deja abierta la posibilidad a futuras investigaciones y aplicaciones en el área.

Objetivo General

Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de monitoreo remoto que mida la cantidad de oxígeno disuelto y temperatura del agua utilizada en cosecha de camarón, utilizando tecnología de internet de las cosas, con el fin de obtener las mediciones de forma más rápida y eficaz que le permitan al acuicultor decidir sobre el manejo de los recursos con los que cuenta para obtener una mejora en la producción acuícola.

Objetivos Específicos

Para un monitoreo óptimo de los estanques de cosecha de camarón, es necesario que el sistema cuente con los siguientes requerimientos:

- **Monitoreo Continuo:** La información debe estar disponible en intervalos de tiempo cortos, para que el acuicultor tenga conocimiento del estado actual de sus estanques. La información debe ser mostrada de forma amigable para que el acuicultor la comprenda fácilmente.
- **Cobertura de la zona de cosecha de Camarón:** El sistema de monitoreo inalámbrico debe cubrir los estanques pertenecientes a los acuicultores, en total son 10 estanques dedicados a la cosecha de camarón.
- **Suministro de Energía:** Al ser una zona alejada del pueblo, la zona de cosecha no cuenta con instalaciones eléctricas, por lo que el uso de aparatos electrónicos que dependan de una fuente de suministro de energía constante se vuelve una tarea difícil, sin embargo, el sistema debe contar con energía eléctrica para poder desempeñar su trabajo.
- **Conexión a Internet:** El sistema está basado en el concepto de Internet de las Cosas (IoT), para subir la información de los nodos de monitoreo es necesario tener acceso a internet.
- **Análisis de Información:** La plataforma debe permitir el análisis y gestión de los datos recabados para implementar mejoras como control automático o análisis predictivo.

1.2. –Trabajos relacionados

En esta sección se presentan algunos de los trabajos que se han implementado para su uso en los sectores primarios y los cuales fueron influencia para el desarrollo de nuestro trabajo.

N. Murali [12] desarrolló una red de sensores y actuadores para controlar las redes de distribución de agua, la red consiste de nodos con válvulas eléctricas con comunicación de radiofrecuencia LoRa, monitorean el nivel del agua y la información es recopilada por una raspberry Pi que actúa como puerta de enlace para subir la información, y como control de las válvulas, se diseñó un software para la visualización de la información y el manejo manual de las válvulas.

Liu Y. [13] implementaron un sistema para combatir la contaminación en el agua mediante sensores de temperatura, pH, turbidez y conductividad los cuales se comunican vía LoRa para la transmisión de datos hacia un Gateway que sube la información a una plataforma IoT en donde puede ser visualizada la información en tiempo real. Maulana Y.[14] describe el diseño de un sistema de monitoreo de calidad del agua en cultivos de camarón, el sistema está diseñado para monitorear específicamente el oxígeno disuelto, pH y la temperatura en los estanques, se diseñó un módulo de sensor el cual recolecta la información y la envía inalámbricamente mediante el protocolo Zegbee a un módulo “datalogger” el cual cuenta con capacidad de GPRS/GSM por el cual manda la información a una página web también diseñada y que está conectada a una base de datos por MySQL. Cao-Hoang T.[15] Propone el desarrollo de un sistema rentable para el monitoreo de los datos del suelo, el cual está conformado por un dispositivo que monitorea los datos del suelo en un intervalo de una hora y transmite la información a la nube mediante el protocolo GPRS, la información puede ser visualizada en una página web llamada heroku.com, el sistema está pensado para sus uso en la agricultura.

Payero J.[16] propone un sistema de monitoreo de humedad del suelo con conectividad al internet de las cosas de bajo coste, para promover la aplicación de la tecnología en la agricultura, se desarrolló un dispositivo con sensor de humedad, el cual fue instalado en una granja de trigo, los datos recopilados son enviados vía WiFi a una plataforma del internet de las cosas ThingSpeak.com para alojar y visualizar los datos.

2. - MATERIALES Y METODOS

2.1. Desarrollo del Sistema.

El sistema propuesto está conformado por un nodo Gateway, nodo de monitoreo y la plataforma en línea para el Internet de las Cosas (IoT). Los nodos de monitoreo son instalados en los estanques de cosecha de camarón, en donde recolectan datos de temperatura y oxígeno disuelto, los datos recabados son enviados por radiofrecuencia al nodo Gateway que sube dicha información a la red mediante el protocolo 3G, los datos pueden ser observados en la plataforma IoT para su monitoreo continuo, la figura 2 proporciona el marco general del sistema propuesto.

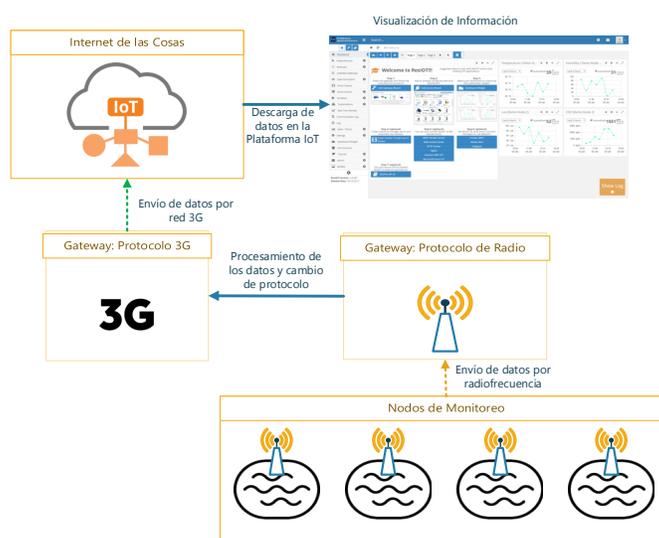


Figura 2. Marco General del Sistema Propuesto.

2.2 Nodo de Monitoreo

El objetivo del nodo de monitoreo es tomar las medidas de calidad del agua, específicamente la temperatura y el oxígeno disuelto en los estanques acuícolas. Para cumplir con su objetivo el nodo contiene un atmega328p, el cual es un microcontrolador de 8 bits que soporta comunicaciones UART, I2C y SPI que son las necesarias para los periféricos a utilizar. Los periféricos esta conformados por los sensores de temperatura y oxígeno disuelto que pueden

ser conectados vía UART o I2C, sin embargo, se optó por utilizar el protocolo I2C con el fin de utilizar la misma línea de transmisión y recepción. También se cuenta con un reloj de tiempo real (RTC), el cual, como característica principal, contiene un pin de interrupción que puede ser activado por una alarma de tiempo, el RTC también utiliza el protocolo I2C, y por último se tiene el módulo de comunicación inalámbrica LoRa, el cual es un dispositivo de bajo consumo energético y largo alcance que utiliza el protocolo SPI para el control de registros. En las figuras 3, 4 y 5 se puede apreciar la interconexión de los periféricos con el microcontrolador, el diseño y la placa de circuito impreso resultante.

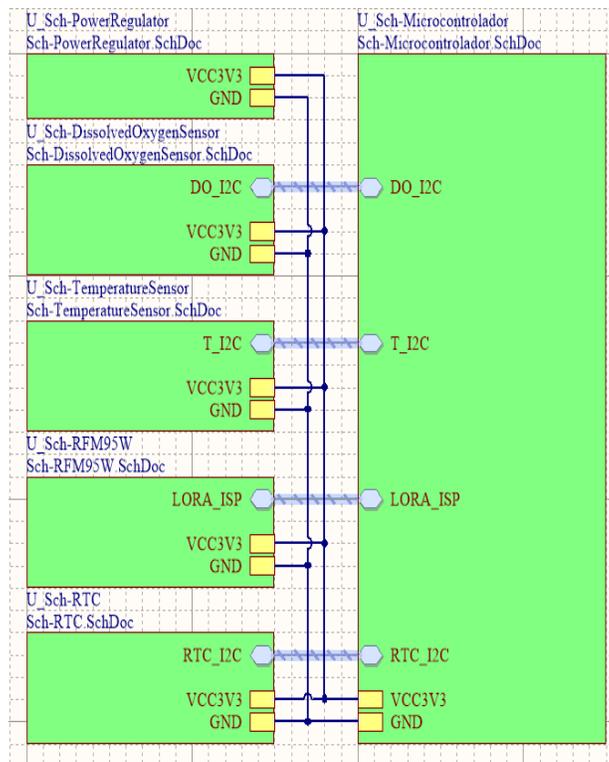


Figura 3. Interconexión de los periféricos del nodo de monitoreo.

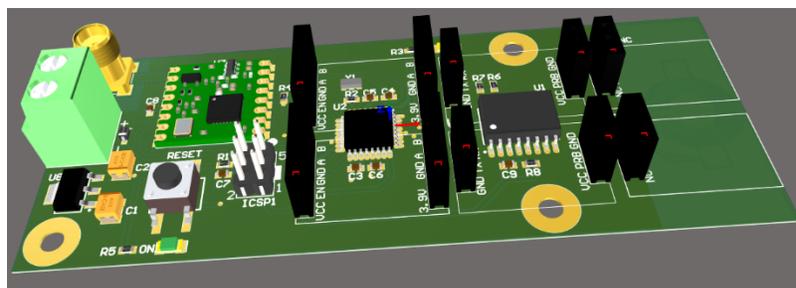


Figura 4. Diseño de la placa PCB del nodo de monitoreo.



Figura 5. Resultado de la placa PCB para el nodo de monitoreo.

El nodo de monitoreo utiliza al RTC contenido para activar una alarma cada 5 minutos mediante el pin de interrupción, el cual le indica al microcontrolador cuando debe despertar y realizar la lectura de los sensores, estas lecturas se realizan 5 veces y se saca un promedio para obtener mejores datos de información, posteriormente el microcontrolador envía los datos recopilados mediante el módulo de radiofrecuencia LoRA hacia el nodo Gateway, y finalmente el microcontrolador configura una nueva alarma y el nodo de monitoreo pasa a un estado de “dormido” para obtener un ahorro en el consumo energético, en la figura 6 puede apreciarse el diagrama de flujo del funcionamiento del nodo de monitoreo.

El suministro de energía eléctrica para el nodo de monitoreo se realiza mediante un panel solar y una batería en donde es almacenada la energía, el controlador administra la recarga de la batería y la salida del voltaje hacia el circuito electrónico. Cuando el nodo está en estado “despierto”, obtiene un consumo de 168.4 mA y cuando entra en modo “dormido” baja a 50mA. Para cubrir las demandas energéticas del nodo de monitoreo se determinó el uso de un panel solar de 25 watts y una batería de 7Ah que asegura su funcionamiento durante 24 horas continuas. La figura 7 muestra la instalación del nodo, la batería y el controlador de carga en el gabinete contenedor, el panel se suelda a la parte superior del gabinete.

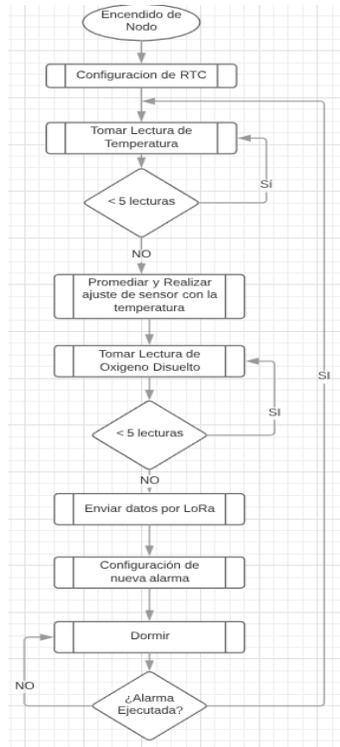


Figura 6. Diagrama de flujo del nodo de monitoreo.



Figura 7. Instalación del equipo electrónico en el gabinete (izquierda) y el panel solar (derecha)

2.3. Nodo Gateway

El nodo Gateway como su nombre lo indica, es una puerta de enlace entre los nodos de monitoreo y el interne de las cosas, tiene la tarea de recopilar la información de los nodos de monitoreo utilizando comunicación inalámbrica LoRa y subirlas a la red. El Gateway soporta

dos protocolos de conexión a internet, ethernet o mediante la red celular 3G, sin embargo, debido a las limitaciones eléctricas de la zona, no se cuenta con una red de internet cercana, por lo que lo más factible es utilizar es la red 3G, la figura 8 muestra el Gateway a utilizar. el Gateway es configurado para que la información que le llegue sea direccionada a la plataforma de internet de las cosas Resiot.io en donde serán visualizados los datos.



Figura 8. Gateway de la marca multitech.

El Gateway tiene un rango de voltaje de operación de 9VCD hasta 32VCD, y tiene un consumo energético de 600mA, el Gateway debe mantenerse prendido todo el día para estar al tanto de la llegada de información. Para cubrir los requerimientos energéticos del Gateway se agregaron un panel solar de 80 watts, una batería recargable de 12V 12 Ah, y un controlador de carga, con este equipo, el Gateway puede estar encendido por casi 24 horas solo con el uso de la batería.



Figura 9. Instalación del equipo electrónico y Gateway (Derecha) y el panel solar (izquierda).

2.4. Plataforma de IoT

ResIoT es una plataforma especializada para proyectos de IoT e industria 4.0. Permite la gestión del Gateway, canales de transmisión, conexiones MQTT, reglas para el control de reinicio, y su localización. ResIoT permite también la gestión de millones de dispositivos en una red y proporciona la posibilidad de usar “dashboards” que son de utilidad para la

visualización de la información, cuenta también con gráficos lineales, botones, imágenes y mapas. Permite utilizar el protocolo MQTT con el cual se puede comunicar maquina a máquina cuando sea necesario y cuenta con un lenguaje script basado en LUA 5.1 con el cual se puede desarrollar automatización, gestión automática de datos, análisis predictivo, etc. Tienen un apartado dedicado a las alertas y notificaciones, que posibilita enviar correos electrónicos o mostrarlo directamente en la interfaz de ResIoT. Además, cuenta con una aplicación móvil con la cual se puede realizar las mismas acciones que estando en una computadora.

Para permitir la recepción de información, primero se tiene que añadir las llaves de sesión del nodo de monitoreo. Se utilizan dos llaves que son únicas para cada dispositivo LoRa, la NwKsKey es usada para garantizar la integridad del mensaje desde el dispositivo al servidor, y la AppSKey es utilizada para el cifrado de la encriptación AES-128. Para el dispositivo de monitoreo se utilizó un método de unión ABP (Activation By Personalization), en el cual las dos llaves son colocadas manualmente por el usuario, de esta forma se busca tener un control en los dispositivos que son agregados a la lista de recepción del Gateway.

Para la visualización de la información se desarrolló un script LUA, este se ejecuta cuando la información llega al servidor de ResIoT, el script toma la información y la direcciona al dashboard especificado para su visualización, ResIoT se actualiza cada minuto por lo que el grafico mostrara la información cuando transcurra este tiempo. el acuicultor solo tiene que entrar a la URL administrada para poder visualizar la información. La figura 10 muestra la sección grafica de la plataforma ResIoT.io.

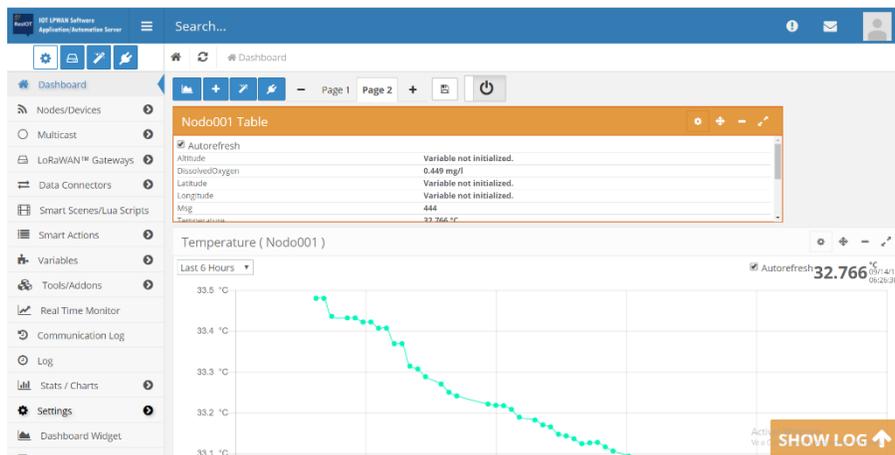


Figura 10. Interfaz gráfica de la plataforma ResIoT.io

Además, existe un apartado en la plataforma en donde se guarda el historial de los datos de los últimos 5 días de cualquier nodo, 5 días es el máximo permitido por ResIoT debido a que es una versión gratuita, así como solo permite agregar 15 dispositivos.

Sin embargo, esto por a hora no supone un problema ya que el acuicultor cuenta con 10 estanques únicamente, por lo que podemos cubrir el resto sin tener que cambiar el tipo de cuenta, además la información se puede descargar y guardar localmente.

2.5. Instalación del Equipo

Las pruebas se realizaron en Eldorado Sinaloa, en la zona de cosecha marcada con círculo amarillo en la figura 11, se eligió uno de los estanques para realizar las pruebas de funcionamiento debido a que cuenta con una lancha ya instalada en el agua y a que se encuentra cerca de una pequeña choza perteneciente a los acuicultores.

Dicha choza sirvió como estructura para la instalación del nodo Gateway. Para la instalación del nodo de monitoreo se utilizó la lancha para colocar el nodo en un poste en la mitad del estanque. La figura 12 muestra la instalación del equipo del sistema de monitoreo.



Figura 11. Zona de Cosecha cerca de las playas de Ponce en El Dorado, Sinaloa. El círculo amarillo delimita los estanques pertenecientes a los acuicultores en donde se implementa el sistema.



Figura 12. Instalación de los dispositivos del sistema en tierra (izquierda) y en el estanque acuícola (derecha).

2.6. Pruebas de Funcionamiento

Prueba de Monitoreo: La prueba consiste en mantener un constante monitoreo de oxígeno disuelto y temperatura en un estanque en donde se realiza la cosecha de camarón, al mismo tiempo se toman medidas a diferentes horas con un equipo de mano registrando los datos, para posteriormente compararlos con los de nuestro sistema, véase la figura 13.



Figura 13. Registro de muestras realizadas manualmente para su comparación.

Pruebas de Alcance: Esta prueba se realizó desde la base de operaciones de la empresa, ubicada en el pueblo de Eldorado, Culiacán, Sinaloa a una distancia cercana a los 10 Km, el objetivo es enviar un dato desde las oficinas hasta la zona de cosecha y posteriormente visualizar dicho dato en la plataforma en línea ResIoT. En la figura 14 el círculo representa el área de cobertura de LoRa de aproximadamente 15 km, podemos observar que la oficina se encuentra dentro del área, por lo que la información debería llegar al Gateway sin problema.

Pruebas de Suministro de Energía y Conexión de Internet: El suministro de energía está planeado para que los equipos no se apaguen, esto puede visualizarse mediante la plataforma de IoT ResIoT, el Gateway cada minuto envía un mensaje “Gateway alive” via red celular a la plataforma, esto significa que el dispositivo esta encendido, si el nodo Gateway recibe información continuamente significa que el nodo de monitoreo también esta encendido, esta prueba consiste en estar al tanto de que el sistema este continuamente conectado, esto se podrá visualizar en los “dashboards” de ResIoT. Con esto también podremos visualizar la estabilidad de la conexión de internet por medio de la red celular en la zona.



Figura 14. El círculo en rojo representa el hipotético alcance de lora de 15 km, la línea roja representa la distancia de 10 km que existe entre las oficinas de camarones y los estanques acuícolas en donde se encuentra el Gateway.

3. - RESULTS

El sistema de monitoreo autónomo inalámbrico que permite al acuicultor visualizar continuamente las condiciones actuales de calidad del agua de sus estanques, mediante la plataforma de IoT Resiot.io ha sido implementado, los datos medidos fueron comparados con los de un dispositivo de mano, la diferencia entre los datos medidos en el sensor de temperatura es de 0.5 °C y el de oxígeno disuelto es de 0.5 mg/l por arriba del nuestro, sin embargo según los acuicultores esto no supone un problema grave, la información también puede ser descargada en un archivo .csv para su análisis offline, en la figuras 15 y 16 se puede visualizar la información del sensor de temperatura y oxígeno disuelto respectivamente.

El resultado de la prueba de alcance fue positivo, se enviaron datos desde las oficinas centrales hasta la zona de cosecha, la información se visualizó satisfactoriamente en la plataforma ResIoT.io, por lo que la capacidad de cobertura el LoRa puede alcanzar cubre sin problemas la zona de la cosecha.

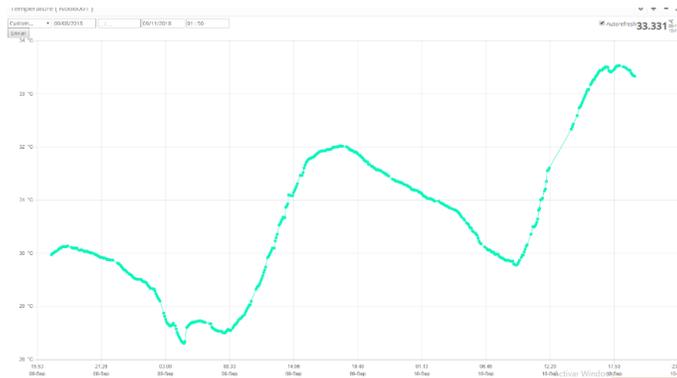


Figura 15. Dashboard correspondiente al sensor de temperatura.



Figura 16. Dashboard correspondiente al sensor de oxígeno disuelto.

La energía del gateway no se ha interrumpido y manda constantemente los mensajes de “gateway alive”, además recibe la información y la muestra en la plataforma, esto indica que el gateway y el nodo de monitoreo no se han apagado en ningún momento, véase la figura 17.

```
10:49:13 comm_gwalive [LoRaWAN™ Network Server] comm_gwalive/8d3293731392f421 [{}CommType": "comm_gwalive", "Connector": "636f6e3135", "Host": "200.68.150.45", "GatewayEUI6": ["8d3293731392f421"], "DT": "2018-09-14T17:49:13.467902889+02:00"}]
10:49:42 comm_gwalive [LoRaWAN™ Network Server] comm_gwalive/8d3293731392f421 [{}CommType": "comm_gwalive", "Connector": "636f6e3135", "Host": "200.68.150.45", "GatewayEUI6": ["8d3293731392f421"], "DT": "2018-09-14T17:49:42.936695329+02:00"}]
10:49:42 api3call GET /api/gateways [EUI: "8d3293731392f421"]
10:50:13 comm_gwalive [LoRaWAN™ Network Server] comm_gwalive/8d3293731392f421 [{}CommType": "comm_gwalive", "Connector": "636f6e3135", "Host": "200.68.150.45", "GatewayEUI6": ["8d3293731392f421"], "DT": "2018-09-14T17:50:13.591453265+02:00"}]
```

Figura 17. Mensajes recibidos por el Gateway, entre ellos el de “Gwalive”, mensaje recibido cuando el Gateway está encendido.

Sin embargo, la conexión de la red celular ha presentado problemas, aunque pocas veces, existen desconexiones de la red, la desconexión más larga ha sido de 2 horas (véase la figura

18), sin embargo, estas desconexiones no pasan regularmente. Cuando la señal celular se restablece, el Gateway se vuelve a conectar automáticamente para realizar sus funciones.

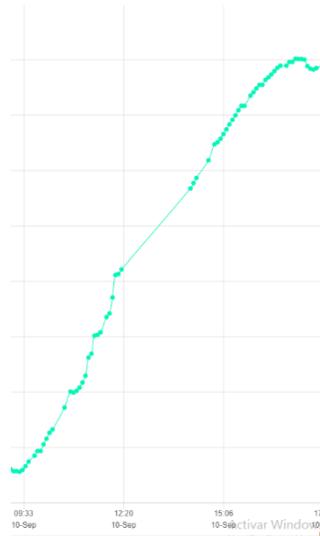


Figura 18. Mensajes recibidos por el Gateway, entre ellos el de “Gwalive”, mensaje recibido cuando el Gateway esta encendido.

5. - CONCLUSIONS

En este papel, se describe la implementación de un sistema de monitoreo autónomo inalámbrico, el nodo de monitoreo realiza continuamente el monitoreo de temperatura y oxígeno disuelto, en uno de sus estanques de camarón y envía los datos al nodo Gateway. El Gateway sube la información a la plataforma ResIoT.io. Los acuicultores son capaces de observar la información desde sus dispositivos móviles, así como por sus computadoras, de esta forma pueden ver el estado actual de su estanque, el sistema utiliza el suministro de energía renovable mediante el uso de paneles solares y baterías recargables. La implementación del sistema nos permito visualizar el gran potencial de desarrollo posible en el área de la acuicultura, se busca desarrollar mejoras para posteriormente aplicarlas, algunas de las mejoras que se están planeando, son la aplicación de control de los alimentadores, disminuir el consumo energético de los equipos, establecer una red de internet más confiable, se busca el desarrollo de hardware con posibilidad de calibración de los sensores y reprogramación del dispositivo utilizando la plataforma ResIoT.io, así como mejorar la

precisión en los sensores. El sistema aún está siendo implementado y siendo de utilidad para los acuicultores.

REFERENCES

- [1] Hinojosa B. “Mexico Alimentaria 2018, Food Show”, SAGARPA, 2018.
- [2] Barreiro P. “Lo Que Hemos Aprendido De La (Re)Evolución De Las 4.0: Agricultura De Transporte E Industria Alimentaria”, IX Congreso CyTA/CESIA, E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM), Madrid, España
- [3] Cruz M. “Las tecnologías IoT dentro de la industria conectada: internet of thing”, EOI Esc.Organiz. Industrial, 2015
- [4] Zarazaga J. “Agricultura 4.0: Las tecnologías de la industria 4.0 aplicadas al campo”, <https://www.geoslab.com/es/blog/agricultura-40-las-tecnologias-de-la-industria-40-aplicadas-al-campo>,2017.
- [5] Boyd C. “Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Extension”, Auburn University, 1990
- [6] C. Boyd., “Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón,” *Dep. Fish. Allied*, pp. 1–30, 2001.
- [7] White P., “Environmental consequences of poor feed quality and feed management,” *On-farm Feed. Feed Manag. Aquac.*, no. C, pp. 553–564, 2013.
- [8] Maulana Y., “Online monitoring of shrimp aquaculture in Bangka Island using wireless sensor network,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 358–364, 2018.
- [9] Rao S, “Design of low-cost autonomous water quality monitoring system,” *Proc. 2013 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics, ICACCI 2013*, pp. 14–19, 2013
- [10] Glasgow H., “Real-time remote monitoring of water quality: A review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 300, no. 1–2, pp. 409–448, 2004.
- [11] Boyd C., “Water Quality for Pond Aquaculture,” *International Center Experimental Station*. p. 37, 1998.

- [12] N. Murali, “IoT ENABLED MONITORING AND CONTROL OF WATER DISTRIBUTION NETWORK,” pp. 1–8, 2018.
- [13] Liu Y., “A solar powered long range real-time water quality monitoring system by LoRaWAN,” *2018 27th Wirel. Opt. Commun. Conf. WOCC 2018*, pp. 1–2, 2018.
- [14] Maulana Y., “Online monitoring of shrimp aquaculture in Bangka Island using wireless sensor network,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 358–364, 2018.
- [15] Cao-Hoang T., “Design of a Cost Effective Soil Monitoring System to Support Agricultural Activities for Smallholder,” *J. Inf. Commun. Technol. Digit. Converg.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–5, 2017.
- [16] Payero J, “Development of a Low-Cost Internet-of-Things (IoT) System for Monitoring Soil Water Potential Using Watermark 200SS Sensors,” *Adv. Internet Things*, vol. 07, no. 03, pp. 71–86, 2017.