

# WSN ROBOTIZADO PARA EL RESCATE DE LAGUNAS

**María Mendoza\_1a, Stalin Flores\_2a, José Morales\_3b**

a Tecnología Superior en Desarrollo de Software, Instituto Tecnológico Superior Riobamba  
b Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Electrónica Control y Redes Industriales,  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
mmendoza@institutos.gob.ec, sflores2000@hotmail.es, jose.morales@esepoch.edu.ec

## INTRODUCCIÓN

Las lagunas almacenan agua estancada, su profundidad varía entre 1 y 2000 m, y su superficie puede ser desde unos cuantos m<sup>2</sup> hasta miles de km<sup>2</sup>. Se forman por el deshielo glacial o por la erosión, otros por el estancamiento de los ríos. Dada la íntima relación de los ecosistemas lacustres con los terrestres que los rodean, el aporte de materiales de unos a otros es inevitable. Hoy en día, cantidades importantes de sedimentos se depositan en las lagunas provenientes de los alrededores. Las plantas que mueren y el aporte de materia orgánica producen mayor cantidad de materia en descomposición, sobre la que actúan las bacterias. Esta actividad consume la cantidad de oxígeno disuelto, modificando las condiciones del medio y restringiendo la vida por debajo de la superficie. El número de especies se reduce considerablemente y la actividad termina por limitarse a la superficie.

En nuestro país son escasas las investigaciones de estos ecosistemas y la contaminación del agua de los mismos, no se han incluido en los programas de desarrollo urbano, sólo la ciudad de Ibarra ha implementado un proyecto para recuperar las lagunas de la zona, pero no han generado investigaciones relevantes sobre el mismo. En la mayoría de los casos por la falta de equipos debido a sus altos costos y la ausencia de normativas a nivel local o nacional que promuevan su estudio.

La mayoría de sistemas que monitorean los ecosistemas y calidad del agua trabajan por separado y las tomas de datos se analizan en laboratorios, los mismos se encuentran formados por el equipo de recolección de datos y el área de análisis de la información; sus limitaciones son los costos excesivos de equipos, su gran volumen que dificulta su traslado a diferentes lugares y la toma de muestra es en su mayoría de difícil acceso. Por lo que es necesario elaborar diseños que faciliten su movilidad.

Por lo expuesto anteriormente se ha desarrollado la investigación, cuyo objetivo es diseñar un prototipo robotizado con una red inalámbrica de sensores inteligentes, para el monitoreo en línea del ecosistema y contaminación del agua presente en las lagunas. Su implementación es de bajo costo comparado con equipos tradicionales, y su aplicación se enmarca en la búsqueda de soluciones para mejorar la calidad de vida de la población y del medio ambiente, para el desarrollo de esta investigación se convino la utilización de métodos y técnicas como una revisión documental, para conocer información relacionada al ecosistema y calidad del agua de lagos y lagunas, trabajos relacionados al objeto de estudio así como avances tecnológicos; una análisis histórico-lógico, empleado para estudiar la evolución de los sistemas electrónicos para la monitoreo de la calidad del agua; la sistematización, para aplicar la información bibliográfica y experimental al

diseño del sistema de monitoreo en línea del ecosistema y calidad del agua; el análisis y síntesis, para evaluar los resultados, llegar a conclusiones y recomendaciones; además de métodos de experimentación, para realizar la simulación y comprobación de los módulos que se describen en la investigación; la medición, para la evaluación

los niveles de temperatura y PH del agua durante la implementación práctica de la investigación; la observación, para la validación del sistema diseñado y los métodos estadísticos que permiten procesar e interpretar los resultados obtenidos con el prototipo desarrollado y contrastarlos con los parámetros de diseño originales.

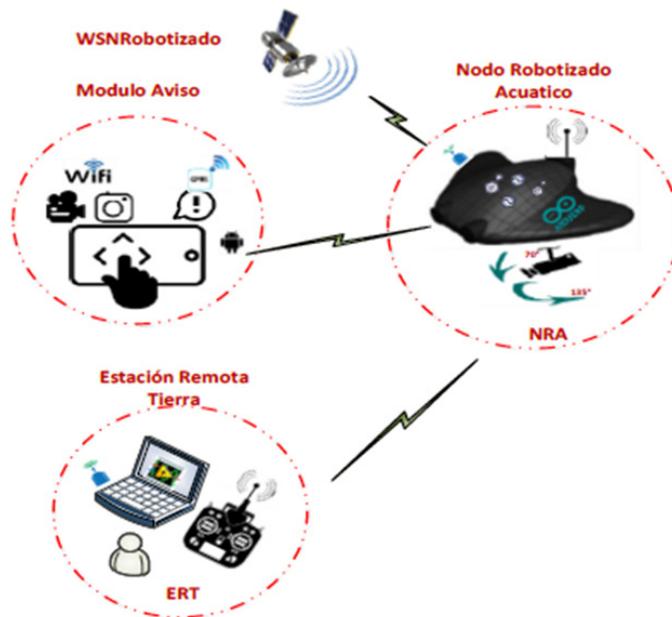


Figura 1: Arquitectura de la WSNRobotizado  
Fuente: El Autor

## DESARROLLO

Para cumplir con el objetivo trazado se llevaron a cabo las tareas de Investigación en cuanto al estudio y selección de las formas de transmisión de información y de los distintos dispositivos electrónicos a emplear; la revisión bibliográfica sobre la medición de datos de calidad del agua y estado del ecosistema; una revisión bi-

bliográfica de los ecosistemas de las lagunas; y mediante estos conocimientos se procede a realizar el diseño e implementación del hardware y software para finalmente realizar las pruebas y puesta a punto del algoritmo y circuitos de adquisición de datos para su posterior valoración de resultados y análisis de errores.

## Arquitectura de la WSN Robotizado

La concepción general propuesta para la WSN Robotizado se presenta en la figura 1, en cual se puede observar el Nodo Robotizado Acuático (NRA), la Estación Remota en Tierra (ERT) y el Módulo de Aviso. Estos módulos se comunican entre sí por radiofrecuencia, Wi-Fi y GSM.

**Nodo Robotizado Acuático (NRA):** Encargado de supervisar, recolectar y transmitir la información medida por los sensores en tiempo real, permite obtener datos de pH y temperatura del agua, temperatura y humedad relativa ambiente, latitud/longitud del sitio en donde se realiza la monitoreo, además realiza la captura de video-imágenes del ecosistema acuático. Parámetros necesarios para el monitoreo del ecosistema y la contaminación del agua. Transmite la información recolectada por los sensores hacia la estación remota en tierra en forma directa al computador por módulos de radiofrecuencia (RF). El módulo está integrado por sensores, una fuente de alimentación independiente, un transmisor de RF y un circuito de procesamiento, los mismos se encuentran contenidos en un nodo robotizado encargado de transportarlos y protegerlos. El NRA integrado por nueve bloques, dos de estos contienen los sensores que se encargan de la medición de las 4 variables físico-químicas del agua y del ambiente, un bloque se encarga de verificar que estas variables se encuentren dentro del rango permisible de lo contrario forma un mensaje para ser enviado a través de la red GSM, otro bloque contiene el sensor que obtendrá la ubicación mediante el

sistema de posicionamiento global (GPS), un bloque se encarga de capturar las video imágenes y las transmite a través de Wi-Fi, el bloque de procesamiento que recibe la información de los sensores. Esta información es entregada al bloque de transmisión para ser enviada a los módulos restantes. Por último, está el bloque Nodo Robotizado encargado de transportar a los bloques antes mencionados.

**Estación Remota en Tierra (ERT):** Es una estación fija o móvil que se encarga de concentrar toda la información transmitida por radiofrecuencia desde el NRA por las zonas donde se desplace el nodo robotizado; permite visualizar y almacenar la información en el computador, de esta manera se crea una base de datos para que el usuario pueda acceder a la misma. Además, cuenta con un bloque que transmite información al nodo robotizado para el control de sus movimientos.

**Módulo de Aviso:** Consta de cuatro bloques interconectados unidireccionalmente. El bloque de recepción de datos que recibe a través de la red GSM un mensaje de alerta, además recibe las video-imágenes por medio de Wi-Fi, información enviada desde el NRA; la misma se procesa en el módulo de Procesamiento de la Información la cual se envía al módulo de Visualización para que las muestre: la primera en forma de mensaje SMS y la segunda mediante la APP Android. El cuarto bloque es el de Transmisión de la Información encargado de controlar los movimientos de la cámara robotizada.

## Hardware de la WSN robotizado

Para cumplir con los requerimientos de la WSN robotizado se eligieron las plataformas Arduino UNO y MEGA 2560, por el costo, factibilidad y facilidad de uso, para el Nodo Robotizado Acuático son necesarios algunos sensores que se encargan de obtener las mediciones de temperatura y humedad relativa ambiente, tem-

peratura y pH del agua, además uno de los ellos realiza la captura de video-imágenes y otro obtiene la ubicación de las mediciones. Estos sensores pueden definirse como inteligentes pues combinan las funciones de detección, procesamiento de señal y comunicación dentro de ellos. Según los criterios de calidad de aguas para la

preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario del Ministerio del Ambiente define los valores mínimos y máximos que son: Temperatura Ambiente  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ; Humedad Relativa Ambiente 60% HR, 80% HR; Temperatura del agua  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ; Conductividad 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; Turbidez  $<5$ , 50 NTU, 100 NTU; pH del Agua 6,5 a 9. El dispositivo de captura de video-imágenes debe supervisar el ecosistema en tiempo real es decir debe permitir ver las video-imágenes de la laguna en diferentes ángulos, y con poca entrada de luz, por lo que es necesario que cuente con visión nocturna. De la revisión de las características de algunos sensores de temperatura, humedad, pH y dispositivos para la captura de video-imágenes que existen en el mercado, se seleccionaron los que cumplen con los requerimientos para la WSN-Robotizado que son el Sensor de temperatura y humedad relativa del ambiente (AM2301), Sen-

sor de temperatura del agua DS18B20, Logo Ph Sensor v1.1, Módulo GPS NEO 6M, WANS CAM HW0024 W.

Para la estructura del nodo robotizado se utiliza la herramienta de diseño mecánico SOLIDWORKS CAD en 3D que proporciona facilidad de diseño robusto, está compuesto por material tipo PLA o ácido poliláctico que es uno de los filamentos más versátiles para la impresión en 3D de tipo biodegradable y normalmente se obtiene del almidón de maíz, permitiendo una textura de las piezas no tan suave, pero sumamente brillante y con esquinas suavizadas. Además, los dispositivos a utilizar para la construcción del Nodo Robotizado son los Driver dual para motores (Full-Bridge) - L298N y Motores Motorreductores DC para el movimiento del nodo. Usa tecnología ZigBee por su flexibilidad, bajo costo y bajo consumo de energía; se utilizó módulos XBee-PRO 900 OEM del fabricante DiGi International, GSM/GPRS SIM 900's, Flysky Fs-i6,

## Esquema de conexión físico de la WSN robotizado

La WSN robotizado se comunica con cada uno de los componentes de la siguiente manera:

- El sensor de temperatura y humedad relativa del ambiente (AM2301) se une su salida de datos (OUT) con el terminal 4 del Arduino. Adicional se debe conectar una resistencia de 5,1 k $\Omega$  entre el terminal OUT y la alimentación de 5 V.
- El sensor de temperatura del agua DS18B20 se une su salida de datos (DQ) con el terminal 12 del Arduino. Se debe conectar una resistencia de 4,7 k $\Omega$  entre el terminal DQ y la alimentación de 5 V.
- Sensor de pH del agua SEN0161 se conecta su salida Po al pin A2 del Arduino y la alimentación a 5 V.
- El GPS NEO 6M se conecta a la alimentación de 3.3V del Arduino UNO el pin GND del Arduino UNO al pin GND del módulo GPS, el pin digital 4 del Arduino UNO al pin Tx del módulo GPS y el pin digital 3 del Arduino UNO al pin Rx del módulo GPS.
- Se debe conectar una fuente de alimentación externa al shield GPRS y alimentar el Arduino con una fuente aparte, se utiliza los pines 7 y 8 para la comunicación serie y el GND entre ambas tarjetas.

## Software de la WSN robotizado

El software para manejar los diferentes módulos de la WSN robotizado se realiza con programación estructurada, por medio de funciones. Las herramientas de programación utilizadas para en el desarrollo del software son el entorno de desarrollo integrado también llamado IDE de Arduino utilizado para desarrollar los programas que corren en el NRA, LabVIEW que desarrolla las herramientas virtuales de monitoreo y control, Software Android

Studio P2P IPC es una APP para control de la cámara robotizada para la supervisión del ecosistema acuático.

En el software desarrollado para el NRA trabaja con cuatro librerías y siete funciones para la lectura de los sensores y generar el protocolo de comunicación para esto cuenta con encabezado que declara las librerías externas DHT.h, Dallas, temperatura.h, TinyGPS, el Loop que repite indefinidamente GPS\_h\_f(), Temp\_amb(), Hum\_amb(), Temp\_agua(), pH\_agua(), Conductividad(), Tubidez(), Mensaje\_sms().

La estructura del protocolo de comunicación se presenta como una trama de datos a ser enviada a la ERT tiene una longitud de 70 caracteres ASCII y está distribuida de la siguiente manera:



Figura 2. Trama de datos  
Fuente: El Autor

## Resultados de la WSN robotizado

Al no disponer de equipos especializados por sus costos excesivamente altos se efectúa un análisis comparativo de los datos obtenidos por cada sensor del NRA con respecto a equipos comerciales de medición de características similares.

### Caracterización de las mediciones de temperatura y humedad relativa ambiente

En la tabla 1 se presenta los valores del resultado de las mediciones realizadas con los sensores incorporados al NRA, los mismos presentan una exactitud de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  en la medida de temperatura ambiental y 3% RH en la medida de humedad relativa ambiente. Para el efecto comparativo se toma como referencia el equipo (*Electronic Thermo-Hygrometer Model: ETHG912*) cuya exactitud es  $\pm 1^\circ$  en temperatura y  $\pm 1\%$  HR en Humedad Relativa Ambiente.

Las mediciones se obtuvieron sometiendo a funcionamiento continuo al NRA, durante un tiempo estimado de siete días sin considerar el horario, se generan 25 muestras para su análisis con el objetivo de comprobar si el sistema no introduce un error adicional al de los sensores juntos cuyos errores máximos son de  $\pm 1,5^\circ$  en la temperatura y  $\pm 4\%$  HR en humedad relativa.

Tabla 1. Mediciones con los sensores de temperatura y humedad del ambiente

Nro	REFERENCIA		MÓDULO DE RECOLECCIÓN		Error Absoluto Temperatura	Error Absoluto Humedad Relativa
	ETHG912		AM2301			
	TEMPERATURA °C	HUMEDAD	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %HR		
		%HR				
1	21	49	22	53	-1	-4
2	21	50	21	53	0	-3
3	21	50	21	53	0	-3
4	21	50	21	53	0	-3
5	21	50	21	53	0	-3
6	21	50	21	53	0	-3
7	21	50	21	53	0	-3
8	21	50	21	53	0	-3
9	21	50	21	53	0	-3
10	21	50	21	53	0	-3
11	21	50	21	53	0	-3
12	21	50	21	53	0	-3
13	21	50	21	53	0	-3
14	20	50	21	53	-1	-3
15	20	50	21	53	-1	-3
16	20	50	21	53	-1	-3
17	20	50	21	54	-1	-4
18	20	50	21	54	-1	-4
19	20	50	21	54	-1	-4
20	21	50	21	53	0	-3
21	20	50	21	53	-1	-3
22	20	50	21	53	-1	-3
23	20	50	21	53	-1	-3
24	20	50	21	53	-1	-3
25	20	50	21	53	-1	-3

Fuente: El Autor (Datos tomados durante las pruebas de medición)

Mediante el análisis se concluye que el sistema diseñado no introduce error al medir la temperatura ambiente y la humedad relativa, presentando errores máximos de  $\pm 1^\circ\text{C}$  y  $\pm 4\%$ , que corresponden a los errores de medida de los sensores utilizados en esta investigación.

## Caracterización de las mediciones de temperatura y pH del agua

En la tabla 2 se presenta los valores del resultado de las mediciones realizadas con los sensores para mediciones en el agua, los mismos presentan una exactitud de  $\pm 0,5$  °C en la medida de temperatura ambiental y  $\pm 0.1$  pH (a 25 °C) en la medida de potencial de hidrógeno del agua. Para el efecto comparativo se toma como referencia el equipo (TDS&EC Hold) cuya exactitud es  $\pm 1$  °C en temperatura del agua. (METRICS-Digital Meters, 2015) El Macherey-Nagel pH-Fix tienen una precisión de  $\pm 0,1$  pH en el agua.

Se generan 25 muestras para su análisis cuyos errores máximos deben estar en  $\pm 1,5$ °C en la temperatura y  $\pm 0,2$  pH del agua.

Mediante el análisis se concluye que el sistema diseñado no introduce error al medir la temperatura y potencial de hidrógeno del agua, presentando errores máximos de  $\pm 1$  ° y  $\pm 0,1$ pH, que corresponden a los errores de medida de los sensores utilizados en esta investigación.

Tabla 2. Mediciones con los sensores de temperatura y pH del agua

Nro	REFERENCIA		MÓDULO DE RECOLECCIÓN		Error Absoluto de Temperatura	Error Absoluto pH
	TDS&EC	pH-Fix	DS18B20	SON0161		
	TEMPERATURA °C	pH	TEMPERATURA ° C	pH		
1	18	7	18	6,9	0	0,1
2	18	7	18	6,9	0	0,1
3	18	7	18	6,9	0	0,1
4	18	7	18	6,9	0	0,1
5	18	7	18	6,9	0	0,1
6	18	7	18	6,9	0	0,1
7	18	7	18	7	0	0
8	18	7	18	7	0	0
9	18	7	18	7	0	0
10	18	7	18	7	0	0
11	18	7	18	7	0	0
12	18	7	18	7	0	0
13	18	7	18	7	0	0
14	18	7	18	7	0	0
15	18	7	18	7	0	0
16	18	7	18	7	0	0
17	18	7	18	7	0	0
18	18	7	18	7	0	0
19	18	7	18	6,9	0	0,1
20	18	7	18	6,9	0	0,1
21	18	7	18	7	0	0
22	18	7	18	7	0	0
23	18	7	18	7	0	0
24	18	7	18	7	0	0
25	18	7	18	7	0	0

Fuente: El Autor (Datos tomados durante las pruebas de medición)

## Caracterización del sensor de posicionamiento GPS

Para este análisis se puso en funcionamiento el Nodo robotizado con el cual se tomaron varias muestras durante un lapso de tiempo de 10 minutos almacenados en un archivo en el computador y a través de la herramienta software

Matlab R2015a se realiza el gráfico de las trayectorias tomadas, para comprar con las mediciones tomadas con el equipo comercial (Oregon 550T), y se muestran los resultados en la figura 3. (Garmin Ltd., 2017)

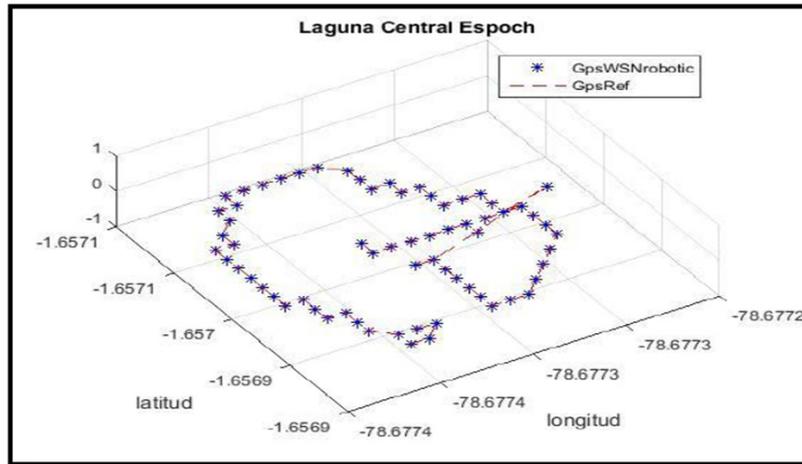


Figura 3. Trayectoria realizada por el sensor de posicionamiento del NRA y el equipo comercial Oregon 550T

Fuente: El Autor

Para una mejor referencia se utiliza la herramienta virtual en línea "GPS Visualizer" en la cual se puede mostrar rutas de conducción, direcciones de calles o coordenadas simples para vi-

sualizar rápidamente datos geográficos como observaciones científicas, eventos, ubicaciones; la estabilidad de las mediciones realizadas se muestra en la figura 4.



Figura 4. Representación de la trayectoria realizada con el nodo robotizado utilizando el GPS Visualizer.

Fuente: El Autor

## Repetitividad del NRA

Repetitividad de los sensores de temperatura y humedad relativa ambiente, temperatura y pH del agua

Para este análisis se tomaron 25 muestras durante un lapso de tiempo de un minuto almacenado en un archivo en el computador a través de la herramienta desarrollada en LabVIEW2015. El análisis estadístico se realizó con la ayuda de Microsoft

Excel 2013, con cual se calculó la media ( $\bar{x}$ ), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación ( $Cv$ ) como se muestra en la tabla 3-4, determinándose que el coeficiente de variación del 0% en la temperatura del agua, 0.05% en el pH del agua, 0.20% en la temperatura ambiente y 0.33% en la humedad relativa del ambiente, valores que exhiben poca variabilidad, determinándose la estabilidad de las mediciones realizadas con el NRA.

Tabla 3. Evaluación de repetitividad de las mediciones de los sensores del NRA

Nro	DS18B20	Logo Ph Sensor v1.1	AM2301	
	TEMPERATURA ° C	pH	TEMPERATURA ° C	HUMEDAD %HR
1	18	6,9	22	53
2	18	6,9	21	53
3	18	6,9	21	53
4	18	6,9	21	53
5	18	6,9	21	53
6	18	6,9	21	53
7	18	7	21	53
8	18	7	21	53
9	18	7	21	53
10	18	7	21	53
11	18	7	21	53
12	18	7	21	53
13	18	7	21	53
14	18	7	21	53
15	18	7	21	53
16	18	7	21	53
17	18	7	21	54
18	18	7	21	54
19	18	6,9	21	54
20	18	6,9	21	53
21	18	7	21	53
22	18	7	21	53
23	18	7	21	53
24	18	7	21	53
25	18	7	21	53
<b>Media</b>	<b>18,00</b>	<b>6,97</b>	<b>21,04</b>	<b>53,12</b>
<b>Desviación Estándar (<math>\sigma</math>)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>	<b>0,33</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,68%</b>	<b>0,95%</b>	<b>0,62%</b>

Fuente: El Autor (Datos tomados durante las pruebas de medición)

## Caracterización de las comunicaciones de la WSN Robotizado

La caracterización de las comunicaciones en la WSNRobotizado se realizó en dos etapas: una durante la implementación de cada módulo y la otra con el sistema en conjunto. Las pruebas diseñadas tienen el objetivo de evaluar la integridad de los datos transmitidos en las diferentes comunicaciones que se realizan.

### Evaluación de la comunicación del NRA, en el proceso de recolección de datos por la ERT

Para la evaluación de la comunicación del NRA y la ERT se realiza dos pruebas:

**Prueba 1:** Se utiliza el puerto de comunicaciones y el computador para evaluar este enlace, las pruebas consistieron en observar los datos transmitidos del NRA a la ERT y constatar que no exista pérdida de información durante la recolección de datos, como se puede observar en la figura 5 en la cual se muestra la trama generada por el NRA y mostrada en la ERT, las mismas corroboran que no existe pérdida del enlace, ni de datos.

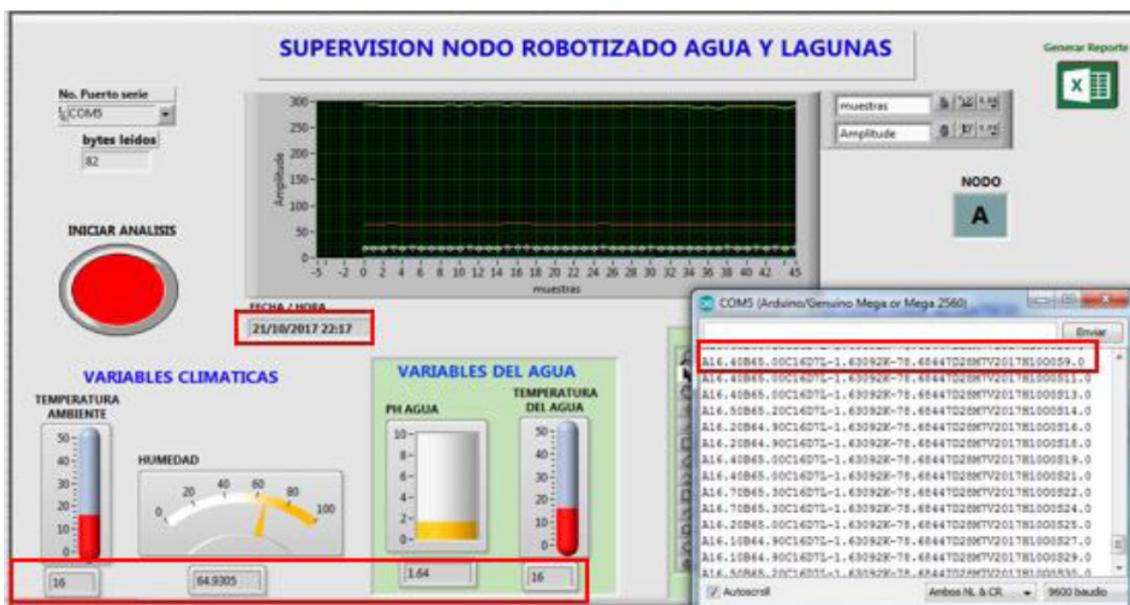


Figura 5. Verificación de la comunicación entre el NRA y la ERT

Fuente: El Autor

**Prueba 2:** Consistió en determinar el alcance de la comunicación, para ello se pone en funcionamiento el NRA transportándolo cada vez más lejos de la ERT. Al finalizar la prueba se concluye que la comunicación puede alcanzar una distancia de hasta 3 km con una alimentación de 5V.

## Evaluación de la comunicación del Módulo de Aviso

El módulo de aviso recibe dos tipos de información un SMS y la captura de video-imágenes desde el NRA, por lo que se evalúa la comunicación para la recepción de los mismos.

En la figura 6 se puede observar el mensaje SMS enviado desde el NRA al dispositivo móvil cuando uno de los parámetros medidos se encuentra fuera del rango permisible, el mismo presenta un tiempo de respuesta de 37 segundos.

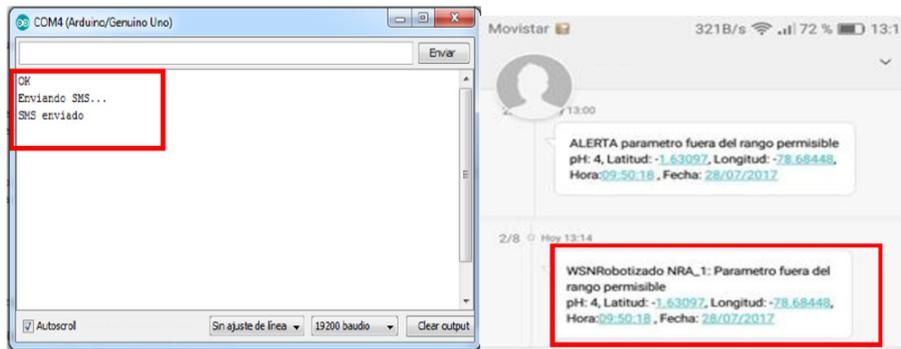


Figura 5. Módulo de Aviso en funcionamiento  
Fuente: El Autor

La captura de las video-imágenes se evalúa con el dispositivo móvil y la cámara robotizada en enlace inalámbrico punto a punto. Para la prueba se utiliza el comando ping que permite comprobar el enlace de datos en la red del Módulo de Aviso y el NRA como se aprecia en la figura 7.

En la figura 8 se observa la APP de la cámara robotizada para la monitoreo en línea del ecosistema acuático, se realizó el envío y recepción de datos de control de la cámara robotizada comprobando de esta manera el enlace de comunicación Wi-Fi y se verifica que los ángulos de monitoreo pueden variar de 70° en elevación y 135° en azimut con un alcance máximo de transmisión de datos de 30 metros.

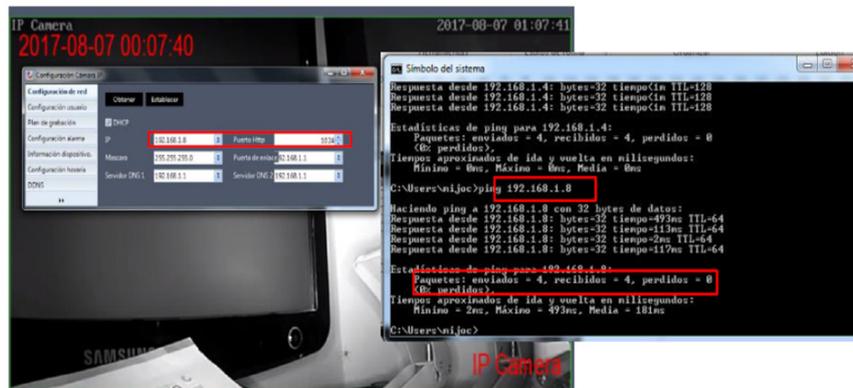


Figura 7. Comprobación del estado de enlace de red  
Fuente: El Autor

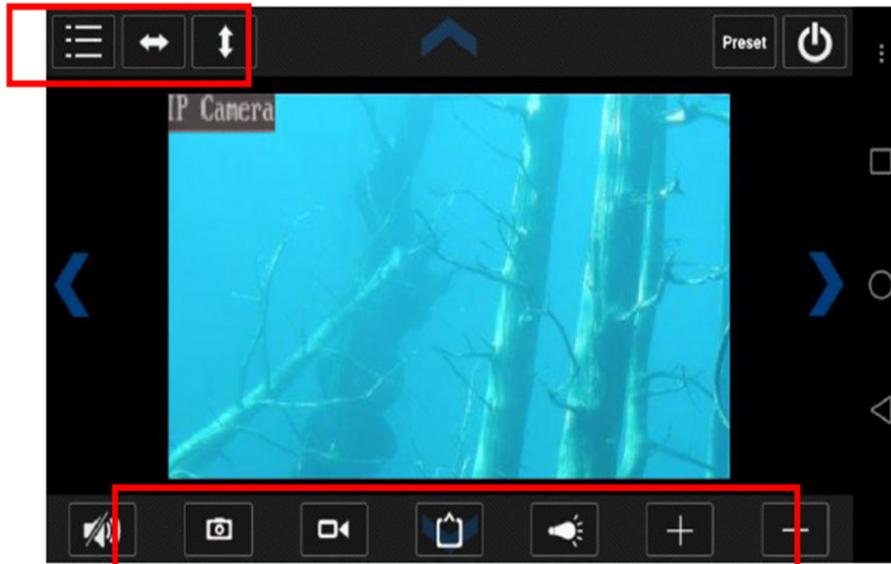


Figura 8. APP de la cámara robotizada.  
Fuente: El Autor

Luego de la validación de la WSNRobotizado, las pruebas en conjunto verificaron que la WSNRobotizado mantiene una adecuada comunicación de los módulos que la integran, no se genera interferencia entre ellos y se comprueba la integridad de los datos transmitidos. En la figura 8 se puede observar la integración de los módulos en la WSNRobotizado.



Figura 9. Integración hardware y software de la WSN Robotizado  
Fuente: El Autor

## Análisis económico de la implementación de la WSN Robotizado

Se describe el análisis económico de la implementación de la WSN Robotizado desarrollado en esta investigación. En la tabla 4 se muestra el presupuesto detallando cada uno de los elementos que conforman los módulos de la WSN Robotizado.

Se puede apreciar en la tabla 4 que el costo total de la WSN Robotizado es relativamente económico \$ 710.25, siendo de entre este el costo más elevado los módulos XBee-Pro cuyo costo es de \$150.00 que corresponde al 22% del total.

Tabla 4. Costos de los elementos que conforman la WSN Robotizado

Cantidad	Dispositivos	Costo Unitario	Costo Total
1	Sensor AM2301	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Sensor DS18B20	\$ 6,00	\$ 6,00
1	Logo_Ph_Sensor_v1.1 + Sonda de pH	\$ 70,00	\$ 70,00
1	GPS NEO 6M	\$ 25,00	\$ 25,00
1	WANSCAM HW0024 W	\$ 55,00	\$ 55,00
1	Driver dual para motores (Full-Bridge) – L298N	\$ 12,00	\$ 12,00
2	Motor motoreductores DC	\$ 25,00	\$ 50,00
2	XBee-PRO 900 OEM	\$ 75,00	\$ 150,00
1	GSM/GPRS SIM 900's	\$ 44,00	\$ 44,00
1	Arduino UNO	\$ 18,00	\$ 18,00
1	Arduino Mega 2560	\$ 25,00	\$ 25,00
1	Estructura del Nodo Robotizado Impresión en 3D	\$ 200,00	\$ 100,00
2	Baterías Lipo	\$ 15,00	\$ 30,00
1	Placa de cobre	\$ 5,00	\$ 5,00
2	Resistencias	\$ 0,25	\$ 0,25
1	Flysky Fs-i6	\$ 110,00	\$ 110,00
Costo Total			\$ 710,25

Fuente: Mercado Libre Ecuador, 2018

## CONCLUSIONES

Se diseñó e implemento la red inalámbrica de sensores inteligentes, con nodos robotizados para la monitoreo en línea del ecosistema y contaminación del agua presente en lagos y lagunas, cuya operatividad se concibe mediante un Nodo Robotizado Acuático, la Estación Remota en Tierra y el Módulo de Aviso; utilizando tres tipos de comunicación inalámbrica Wifi, radiofrecuencia (RF) y GSM.

Mediante al análisis de repetitividad y comparación se comprobó que la WSNRobotizado no incorpora error adicional en las mediciones, y es capaz de medir temperatura ambiente y del agua con error máximo de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa ambiente con error máximo de  $\pm 4\%$  HR y  $\pm 0,1\text{pH}$  del agua, compatibles con la exactitud de los equipos comerciales similares y ajustándose a los requerimientos de diseño previstos.

En la validación de las comunicaciones entre los módulos de la WSNRobotizado se determinó que alcanza distancias de hasta 3 Km sin obstáculos, con una alimentación de 5V. Las pruebas realizadas con la comunicación por Wifi determinaron que se puede establecer un enlace fiable de hasta 30 m. La comunicación con la interfaz de la ERT no afecta a las demás comunicaciones.

La WSNRobotizado es un sistema escalable pues se pueden añadir más sensores analógicos o digitales, pues se dispone de 8 terminales libres.

La información suministrada por el NRA se almacena en un archivo, el mismo se constituye como la base fundamental en la generación de reportes históricos para la toma de decisiones en pro de cuidar el ecosistema de los lagos y lagunas.

## BIBLIOGRAFÍA

Aakvaag, N. & Frey, J.-E., 2006. Redes de sensores inalámbricos Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial. Revista ABB, pp. 39-42.

Aosong (Guangzhou) Electronics Co., L., 2015. *electronilab.co*. [En línea] Available at: <https://electronilab.co/wp-content/uploads/2015/02/AM2301.pdf>

Arduino, 2017. *arduino.cc*. [En línea] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>, Available at: [http://acceda.ulpgc.es/bitstream/10553/7560/5/TFM\\_Pablo\\_Pico\\_2012.pdf](http://acceda.ulpgc.es/bitstream/10553/7560/5/TFM_Pablo_Pico_2012.pdf).

Available at: [http://www.agua.unam.mx/noticias/2015/unam/not\\_unam\\_marzo22.html](http://www.agua.unam.mx/noticias/2015/unam/not_unam_marzo22.html) Kharsansky, A., 2013. <http://laboratorios.fi.uba.ar>. [En línea] Available at: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Tesis-Grado-Alan-Kharsansky-2013-Presentacion.pdf>

Electronilab, 2017. *electronilab.co*. [En línea] Available at: <https://electronilab.co/tienda/driver-dual-para-motores-full-bridge-l298n/>

Fernández, D., 2015. [En línea] Available at: Disponible en: <http://www.instructables.com/id/Modu->

[los-RF433-Mhz-con-Arduino/](#) [Último acceso: 27 Abril 2016].

Galindo, D. L. & Sánchez, C. P., 2015. Redes de sensores inalámbricos para monitoreo de parámetros hidrológicos aplicado en lagunas, estanques y plantas de tratamiento de agua. Cuenca(Azuay): Universidad del Azuay.

Garmin Ltd., 2017. *static.garmin.com*. [En línea] Available at: [http://static.garmin.com/pumac/Oregon\\_x50\\_Series\\_OM\\_ES.pdf](http://static.garmin.com/pumac/Oregon_x50_Series_OM_ES.pdf)

GEEETECH, A. G. S., 2014. *geeetech.com*. [En línea] Available at: [http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino\\_GPRS\\_Shield](http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_GPRS_Shield)

GNU Free Documentation License 1.3, M., 2017. *dfrobot.com*. [En línea] Available at: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH\\_meter\(SKU: SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161))

Gobierno de los Estados Unidos, 2017. *GPS.GOV*. [En línea] Available at: <http://www.gps.gov/spanish.php>

Guerra Salazar, J., 2015. Diseño e implementación de un sistema inalámbrico para el monitoreo en línea del

microclima de invernaderos artesanales. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigaciones en Microclima.

Impresoras3d.com, 2017. Impresoras 3D. [En línea] Available at: <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/122774855-filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas>

MECHATRONICS, n., 2017. naylampmechatronics.com. [En línea] Available at: <http://www.naylampmechatronics.com/blog/18-Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html>

Ministerio del Ambiente, 2015. ANEXO 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. En: Ministerio del Ambiente. Ecuador: eSilec.

Modeltronic.es, 2017. www.modeltronic.es. [En línea] Available at: <http://www.modeltronic.es/download/FS-T6=fs-i6 ESP.pdf>

Newark, 2017. Newark, "Amphenol advanced sensors, Tsd-10 turbidity sensor, 5vdc, phototransistor. [En línea] Available at: <http://www.newark.com/amphenoladvanced-sensors/tsd-10/turbidity-sensor-5vdc-phototransistor/dp/18X9859>

Pololu Corporation, 2017. www.pololu.com. [En línea] Available at: <https://www.pololu.com/product/713Proble/32785626889.html?spm=a219c.search0306.4.2.Lw-TtGt>

Ribas Lequerica, J., 2013. Desarrollo de aplicaciones para Android. s.l.:Anaya Multimedia-Anaya Interactiva.

Scientific, O., 2016. Electronic Thermo-Hygrometer. [En línea] Available at: <http://www.distec1.be/gs/handler/getmedia.ashx?moid=814&dt=3&g=1>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017. Quito, Ecuador: Senplades.

Tecnun, 2017. www4.trcnun.es. [En línea] Available at: <http://www4.tecnun.es/assignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/130RioLa.htm>

TELEDPRES, 2008. Diario Opinión. [En línea] Available at: <http://www.diariopinion.com/nacional/verArticulo.php?id=39490>

UNESCO, ( N. E. S. a. C. O., 2003. WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE Executive Summary of the UN World Water Development Report. Paris: © UNESCO/ Mundi-Prensa.