

Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo ambiental en el Refugio de Fauna San Miguel de Parada

Wireless sensor network design for environmental in the San Miguel de Parada wildlife refuge

MSc. Lídice Romero Amondaray^{1*}, Ing. Osmany Rafael Soto Ramírez², Dra.C. María Margarita Goire Castilla³, Dra.C. Ofelia Pérez Montero⁴, MSc. Yanet Cruz Portorreal⁵

Recibido: 11/2019 | Aceptado: 1/2020

Palabras clave

Red de sensores
Inalámbricos
Raspberry Pi
TIC y monitoreo ambiental
LoRa

Resumen

Se presenta el diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo ambiental en el Refugio de Fauna San Miguel de Parada. La red propuesta permite monitorear los parámetros que se usan en los estudios de cambio climático, asociados a la salud de los ecosistemas costeros, como la temperatura, humedad relativa y nivel medio del mar. La ubicación de los nodos se determinó en base a la necesidad del monitoreo en el Refugio de Fauna. Se diseñaron los nodos de comunicación a emplear para la adquisición, procesamiento y transmisión de los datos tomados por equipos de alta precisión. Se simuló los enlaces de radio, empleando la topología en estrella, en el software Radio Mobile, donde se verificó el funcionamiento de la red. Para el desarrollo de este trabajo se aplicó el método Empírico-Experimental. Con la tecnología LoRaWAN en 433 MHz se puede construir una red de sensores, con excelentes prestaciones, para cubrir un área boscosa.

Keywords

Wireless
Sensor network
Raspberry Pi
TIC and environment monitoring
LoRA

Abstract

This article presents the design of a wireless sensor network for environmental monitoring in the San Miguel de Parada Wildlife Refuge. The proposed network allows monitoring the parameters used in climate change studies such as temperature, relative humidity and average sea level. The location of the nodes responds to the needs of the project. It was necessary to design a communication node for high precision data acquisition equipment to be used in the wildlife refuge. Calculation of the radio links takes into account the loss of propagation by the mangrove vegetation. LoRaWAN technology in 433 MHz has an excellent performance in monitoring a forested area with a wireless sensor network.

^{1*} Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. lidice@uo.edu.cu

² ETECSA, División Territorial Las Tunas, Las Tunas. osmany.soto@etecsa.cu

³ Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. mgoire@uo.edu.cu

⁴ Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. ofelia@uo.edu.cu

⁵ Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. yanetc@uo.edu.cu

Introducción

Los ecosistemas costeros constituyen uno de los principales recursos naturales de Cuba y se encuentran asociados a más del 70 % del producto interno bruto nacional, fundamentalmente a actividades tales como el turismo, la industria pesquera y el transporte. Estas actividades son de vital importancia en la planificación estratégica de desarrollo nacional, a corto, mediano o largo plazo. En la actualidad, estos ecosistemas sufren un rápido deterioro debido al agotamiento de sus recursos de vida, la acidificación de los océanos, la creciente contaminación y erosión provocada por la acción antrópica (Mesa y Falcón, 2017).

El Estado Cubano es consciente de ello, razón por la cual se pone en marcha la Tarea Vida, mediante la que se lleva a cabo una serie de acciones encaminadas a la prevención, preparación, respuesta y recuperación, para enfrentar y reducir los riesgos y las vulnerabilidades frente al cambio climático. Entre las estrategias y acciones destaca la tarea 9 referida a “Fortalecer los sistemas de monitoreo, vigilancia y alerta temprana para evaluar sistemáticamente el estado y calidad de la zona costera, el agua, la sequía, el bosque, la salud humana, animal y vegetal” (CITMA, 2017). En correspondencia con lo anterior, el gobierno identifica un grupo de lugares priorizados por su nivel de vulnerabilidad, la seguridad alimentaria y el desarrollo del turismo. Entre ellos se encuentra la bahía de Santiago de Cuba, y en esta, el Refugio de Fauna San Miguel de Parada.

El refugio San Miguel de Parada es el principal relicto de manglar del territorio, y forma parte del humedal más extenso e importante de la provincia. Los manglares del refugio brindan diversos servicios medioambientales de gran importancia para la sociedad (Cosme, 2017). Tienen una importancia vital en la lucha contra el cambio climático porque pueden absorber y almacenar hasta 10 veces más carbono que los ecosistemas terrestres, por lo que son una parte fundamental de los esfuerzos para mitigar el cambio climático.

La Universidad de Oriente, de conjunto con la Empresa Flora y Fauna y el CITMA, llevan a cabo un proyecto en el marco del Programa VLIR-IUC-UOS financiamiento del Consejo de Universidades Flamencas (VLIR) para el monitoreo en tiempo real de los ecosistemas de la bahía de Santiago de Cuba. Este proyecto se propone monitorear, modelar y predecir el impacto del cambio climático, en los ecosistemas y asentamientos costeros para contribuir a las

acciones de adaptación y mitigación al cambio climático de la República de Cuba. El equipamiento de medición que se financia por este proyecto es autónomo y para acceder a los datos que almacenan es necesario ir al refugio periódicamente, con una portátil, para copiarlos.

Materiales y métodos

En este trabajo se diseña un nodo de medición que adquiere y transfiere la información del ecosistema costero al centro de datos de la Universidad de Oriente. El nodo de medición se construye conectando los sensores de precisión, o la estación meteorológica, a una Raspberry Pi que utiliza como fuente de energía baterías o un panel solar conectados a una placa Witty Pi 2. Se diseña además una red de sensores inalámbricos LoRaWAN (en 433 MHz), compuesta por dos nodos de medición y una estación base, para el monitoreo ambiental en el Refugio de Fauna San Miguel de Parada. Los enlaces se calculan y simulan en *Radio Mobile* para comprobar las potencialidades de LoRa —*Long Range*— en 433 MHz, para el monitoreo ambiental, con respecto a otras tecnologías que utilizan 2.4GHz.

Resultados y discusión

Monitoreo ambiental en el Refugio de Fauna San Miguel de Parada

El Refugio de Fauna San Miguel de Parada es una zona ubicada al noroeste de la bahía santiaguera que se extiende desde Punta de Sal, abarcando parte de la refinera de petróleo Hermanos Díaz, hasta el punto de intersección con la carretera de Mar Verde, siguiendo en dirección noroeste hasta su intersección con el río Los Guaos, continuando por todo su borde hasta la línea de costa y la isobata de 5 m, teniendo como fin el punto de origen en la zona de Punta de Sal (Figura 1). Esta área protegida tiene una extensión de 327.6 ha y se aprobó como Refugio de Fauna en el año 2010, por el acuerdo 6871 del Consejo de Ministros (Cosme, 2017).

El área que abarca el refugio es una zona generalmente llana, con muy pocas elevaciones. Parte de la zona terrestre está formada por terrenos bajos que se inundan en épocas de lluvia, lagunas interiores, algunas zonas de saladares y otras pantanosas constituidas por sedimentos no consolidados (García, 2006).

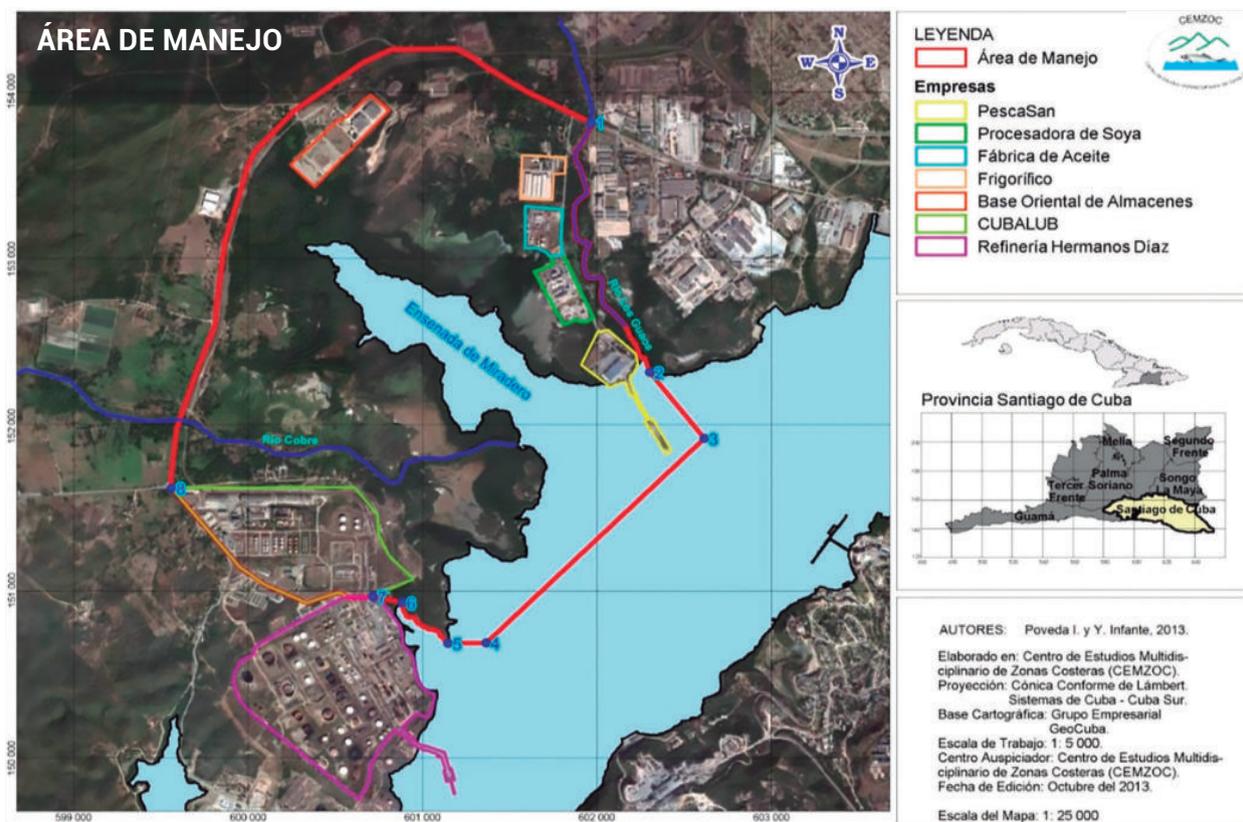


Figura 1. Refugio de Fauna San Miguel de Parada

Esta área se encuentra cubierta por tres formaciones geológicas: Jutía, Río Macío y Cobre (Cosme, 2017). La formación Jutía se extiende a lo largo de la línea de costa, predominando manglares y zonas pantanosas, está constituida por sedimentos no consolidados, friables y fragmentados como aleuritas calcáreas y órgano-detríticas, arena margosa y arcilla con granos pequeños color castaño; el grosor de los sedimentos suele ser de 1 a 5 m. La formación Río Macío se extiende en la cuenca y orilla del río Cobre, está constituida por bloques, cantos rodados, gravas, aleuritas y arenas y arcillas derivadas de la erosión fluvial; su elevación es de 1 a 2 m pudiendo alcanzar en algunas ocasiones los 10 y 20 m. La formación Cobre se encuentra en dos pequeños parches en los bordes norte y sur en las cuales se observan fallas y aglomerados productos de las erupciones volcánicas de composición básica fundamentalmente.

El manglar de Parada constituye el ecosistema más importante del territorio santiaguero para la protección y conservación de su ornitofauna pues es el centro migratorio fundamental de muchas aves del Caribe (García, 2006).

En el proyecto se instalará una estación meteorológica de alta precisión y dos sensores (HOBO U23 Pro v2

y HOBO *Water Level*) para registrar, en tiempo real, los parámetros asociados al cambio climático. Los datos de los sensores HOBO se comprueba con la información que adquiere la estación meteorológica pues los primeros también se desplegarán en otras zonas costeras del oriente del país. Los nodos de medición adquieren y envían la información por radio a una estación base situada en las instalaciones de la Estación Biológica de Flora y Fauna del Refugio de Fauna San Miguel de Parada, aledaña al frigorífico de la agricultura, y de ahí se envía al centro de datos de la Universidad de Oriente.

En la figura 2 se muestra el esquema en bloques del nodo de medición. El nodo se compone de un bloque de adquisición de la información, un controlador, un bloque alimentación y uno de comunicación.

Para el bloque controlador se escoge la placa microcontroladora Raspberry Pi (Vujović y Maksimović, 2014) porque brinda las mismas prestaciones que cualquier computadora, lo que la hace ideal en la toma y procesamiento de los datos para optimizar el uso del canal de comunicación.

La Raspberry Pi no posee Reloj en Tiempo Real (RTR), por lo tanto, no se pueden sincronizar los datos adquiridos, ni optimizar el uso de la batería activando los ciclos de trabajo dormido/desperto para reducir su consumo (Li, 2012;

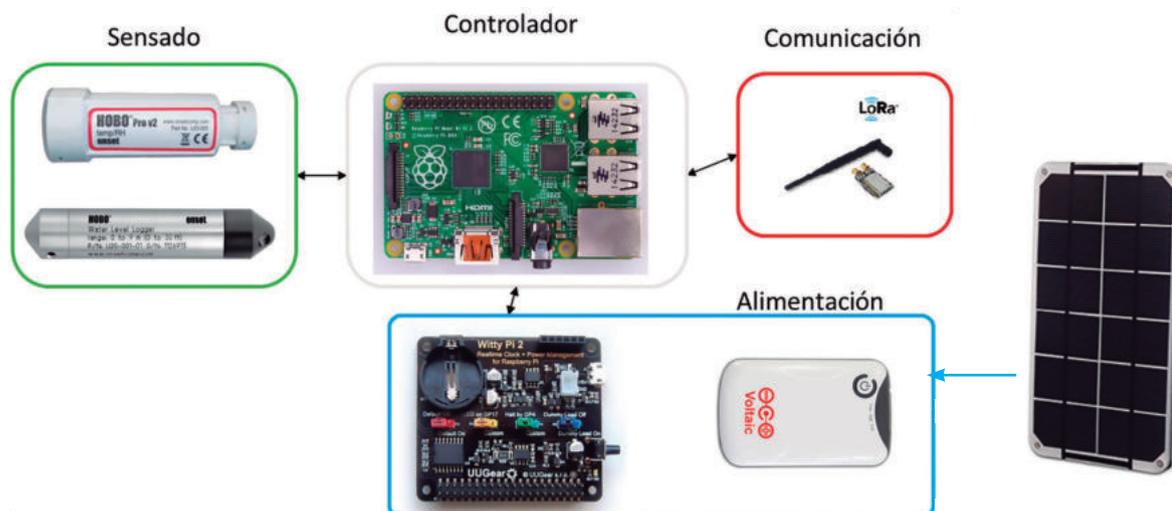


Figura 2. Esquema en bloques del nodo de medición

Vujović y Maksimović, 2014). En el bloque de alimentación se utiliza la placa Witty Pi 2 (UUGear), una pequeña placa de extensión, de bajo costo, que agrega reloj en tiempo real y administración de energía a la Raspberry Pi. Esta placa posee una característica denominada “carga ficticia” que permite utilizar un banco de energía (*powerbank*) como fuente de alimentación. Ver figura 3.

En cuanto al bloque de comunicación, la plataforma Raspberry Pi utiliza varias tecnologías inalámbricas: WiFi en 2.4 GHz, IEEE 802.15.4 en 2.4 GHz, LoRa en 433, 868 y 900 MHz, e incluso la red celular (4G/3G/2G) (Cooking Hacks, 2018).

LoRa es una de las tecnologías inalámbricas más atractivas para este tipo de aplicaciones porque permite transmitir información a grandes distancias. En Cuba no se deben utilizar las bandas de 868 MHz y 900 MHz porque están concedidas por el Ministerio de Comunicaciones al sistema TRUNKING nacional y la telefonía móvil celular (MINCOM, 2017). La banda de 433,05 a 434,79 MHz está abierta a dispositivos de radiocomunicaciones de corto alcance, limitando la radiación a 10 mW p.r.a. y sin causar interferencias perjudiciales a otras estaciones de los servicios de radiocomunicaciones que se autoricen en esa banda (MINCOM, 2017). Se propone una red LoRaWAN con topología estrella, entre los nodos sensores y el gateway situado en la Estación Biológica de flora y fauna del Refugio, ver figura 4. Las Raspberry Pi utilizarán el módulo LoRaWAN en 433 MHz [XBee Socket].

El ambiente hostil en el que se despliegan los nodos, en el manglar, impone la necesidad de instalarlos en un estuche impermeable como la caja IP65.

En una primera etapa se ubicarán dos nodos de medición en la zona de manglar cercana a la Estación Biológica de flora y fauna. En esta zona el cuerpo de guardabosques y los guardaparques del refugio realizan recorridos diarios para prevenir hechos delictivos que comprometan la existencia de algunas de las especies que habitan en el humedal, lo que garantiza la seguridad de los nodos instalados allí.

Cálculo de los enlaces de radio

En las tablas 1 y 2 se muestran los datos principales de los enlaces de radio de la red de sensores para el Refugio de Fauna San Miguel de Parada.

La potencia en el receptor se calcula por la ecuación general de balance del enlace (Hernando et al., 2013):

$$P_r = P_t - L_{tt} + G_t - L_b + G_r - L_{tr} \quad (1)$$



Figura 3. Esquema del bloque de alimentación

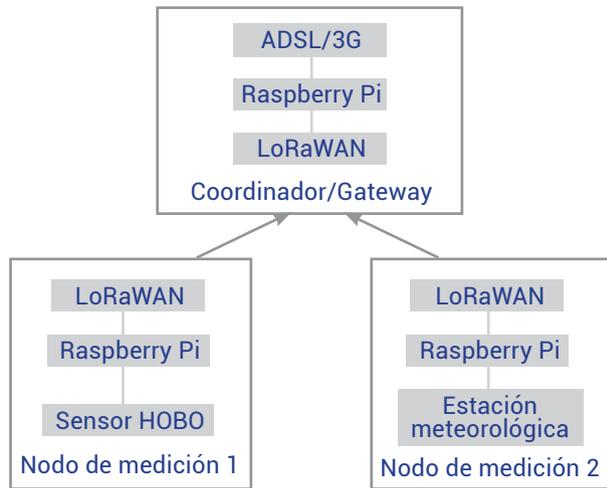


Figura 4. Arquitectura de hardware de la red de sensores inalámbricos para el Refugio

donde:

Pt, Pr: potencia de transmisión y recepción (dBm)

Ltt, Ltr: pérdidas en los terminales (dB)

Gt, Gr: ganancias de las antenas (dBi)

Lb: pérdidas en el trayecto de propagación (dB)

En el cálculo de los enlaces se deben tener en cuenta las pérdidas en el trayecto de propagación debido al bosque de manglares del Refugio. En la parte próxima a la bahía, los manglares alcanzan de 12 a 14 m de altura, en el resto del área no sobrepasan los 3 a 7 m (UIT-R, 2017).

$$L_b(dB) = L_{bf}(dB) + L_{veg}(dB) \quad (2)$$

donde:

Lbf: pérdida en condiciones de espacio libre

Lveg: pérdidas por la vegetación

La pérdida básica en el trayecto de propagación, en condiciones de espacio libre, se calcula según trayecto por la fórmula de Friis (Hernando et al, 2013):

Enlace	Frecuencia (MHz)	Distancia (m)
Nodo de medición 1- Estación base	433	790
Nodo de medición 2- Estación base	433	620

Tabla 1. Enlaces de radio para el monitoreo ambiental en el Refugio de Fauna San Miguel de Parada

Nodo	Latitud	Longitud	Altura (m)
Nodo de medición 1	20°1'38.4"N	75°52'11.8"O	12.7
Nodo de medición 2	20°1'32.1"N	75°52'00.1"O	10
Estación base	20°1'47.6"N	75°51'46.5"O	12.2

Tabla 2. Ubicación de los nodos en el Refugio de Fauna San Miguel de Parada

$$L_{bf}(dB) = 32.45 + 20 \log f(MHz) + 20 \log d(km) \quad (3)$$

donde f es la frecuencia y d la distancia.

La Recomendación UIT-R P.833-9 establece que la pérdida adicional debida a la vegetación, para un enlace de radio terrenal cuando uno de los terminales está situado en un bosque o en una zona similar de vegetación extensa, se describe en base a dos parámetros (UIT-R, 2017):

- el índice de atenuación específica (dB/m) debido fundamentalmente a la dispersión de energía fuera del trayecto radioeléctrico, que se mediría en un trayecto muy corto;

- la atenuación adicional total máxima debida a la vegetación en un trayecto radioeléctrico (dB) limitada por el efecto de otros mecanismos, entre ellos, la propagación de ondas de superficie por encima del medio vegetal y la dispersión dentro del mismo.

La atenuación excesiva, Lveg, debida a la presencia de la vegetación viene dada por (Hernando et al., 2013; UIT-R, 2017):

$$L_{veg}(dB) = L_m [1 - \exp(-d\gamma / L_m)] \quad (4)$$

donde:

d: longitud del trayecto radio dentro del bosque (m)

γ: atenuación específica para trayectos en vegetación muy cortos (dB/m)

Lm: atenuación máxima cuando un terminal está dentro de una zona de vegetación de un tipo y profundidad específicos (dB)

El valor de la atenuación específica debida a la vegetación, γ (dB/m), depende de la especie y la densidad de la vegetación. En la recomendación UIT-R P.833-9 se proporcionan valores aproximados en función de la frecuencia (Figura 5). La atenuación específica γ (dB/m) en 433 MHz con polarización vertical es aproximadamente 0.12 dB/m.

El valor de la atenuación máxima Lm limitada por la dispersión de la onda de superficie, depende del tipo y la densidad de la vegetación, así como del diagrama de radiación de la antena del terminal que se encuentra dentro de la vegetación y de la distancia en vertical entre la antena y el punto más alto de la vegetación. En la Recomendación de la UIT-R P.833-9 (UIT-R, 2017) se define como:

$$L_m(dB) = L_1 f^\alpha \quad (5)$$

donde f es la frecuencia en MHz.

En la Recomendación UIT-R P.833-9 se establecen los valores de L_m que se obtiene mediante diversos experimentos (UIT-R, 2017). El experimento que más se acerca a este proyecto se realizó en un parque con árboles tropicales en Río de Janeiro (Brasil), con una altura media de los árboles de 15 m y una altura de la antena receptora de 2.4 m. Cuando se evalúan los valores de $L_1=0.18$ dB y $\sigma=0.752$ en la ecuación 5 se obtiene que $L_m=17.3$ dB.

En la tabla 3 se refleja el cálculo de la atenuación excesiva debido a la presencia de la vegetación, sustituyendo los valores en la ecuación 4. También se incluyen las pérdidas en el espacio libre y las totales que se calculan según las ecuaciones 3 y 2.

En la tabla 4 se muestran los valores estimados de la potencia recibida por el receptor en cada enlace según la ecuación 1, se consulta el manual técnico del módulo LoRaWAN en 433 MHz [XBee Socket] (Cooking Hacks, 2018). La Resolución No. 259 /2017 del Ministerio de Comunicaciones de la República de Cuba limita la potencia de transmisión a 10 mW p.r.a para la banda de frecuencia de 433,05 a 434,79 MHz. La máxima potencia que se puede transmitir (PIRE) se calcula según (Hernando et al., 2013):

$$PIRE=PRA+2.15 \quad (6)$$

En la tabla 5 se muestra el margen de protección (M) frente a los desvanecimientos para cada enlace, según la ecuación 7 (Hernando et al., 2013). La sensibilidad (umbral) del receptor (P_{ru}) para garantizar la calidad del enlace también se obtiene del manual técnico del módulo LoRaWAN en 433 MHz [XBee Socket].

$$M(dB) = P_r(dBm) - P_{ru}(dBm) \quad (7)$$

En la figura 6 (de elaboración propia) se muestran ambos enlaces, simulados en la herramienta Radio Mobile. Los resultados son similares a los cálculos manuales con las antenas situadas a 2 m de altura. De esta forma se comprueba que en 433 MHz el bosque de manglares del refugio

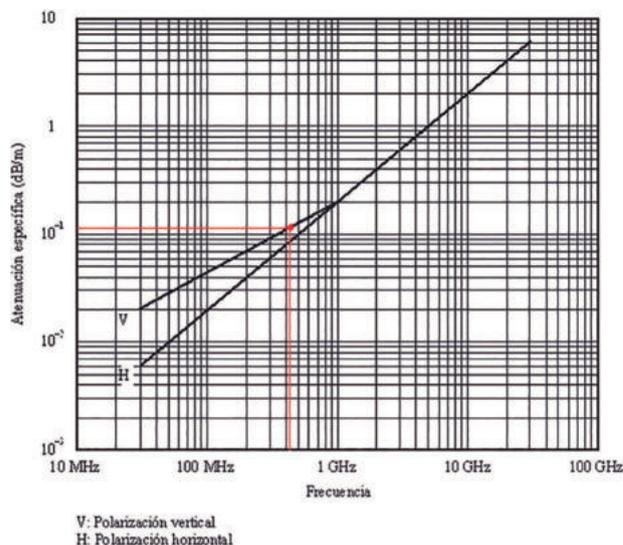


Figura 5. Atenuación específica en zona boscosa

no influye negativamente en los enlaces con un margen de desvanecimiento muy superior a los 25 dB para asegurar un enlace estable y de buena calidad. Con estos resultados se puede bajar la potencia a más de la mitad de lo regulado para esa banda, para no perturbar la fauna silvestre que habita en el Refugio (Balmori, 2015).

Monitoreo ambiental en zonas con vegetación: 433 MHz vs 2.4 GHz

En la tabla 6 se muestra una comparación entre el presupuesto de los enlaces del proyecto en 2.4 GHz, frecuencias que utilizan tecnologías como WiFi y Zigbee, y 433 MHz. Los cálculos en 2.4 GHz se realizan siguiendo la metodología del epígrafe anterior.

En 2.4 GHz, el bosque de manglares asociado al humedal de San Miguel de Parada influyen negativamente en ambos enlaces porque el margen de desvanecimiento está muy por debajo de los 10 dB necesarios para

Enlace	L_m (dB)	γ (dB/m)	d (m)	L_{veg} (dB)	L_{bf} (dB)	L_b (dB)
Nodo de medición 1 - Estación base	17.29	0.12	790	17.22	83.13	100.35
Nodo de medición 2 - Estación base	17.29	0.12	620	17.06	81.03	98.09

Tabla 3. Pérdidas en el trayecto de propagación para los enlaces de la red

Enlace	P_t (dBm)	$L_{tt} L_{tr}$ (dB)	G_{tt}, G_r (dBi)	L_b (dB)	P_r (dBm)
Nodo de medición 1 - Estación base	12	0.5	5	100.35	-80.35
Nodo de medición 2 - Estación base	12	0.5	5	98.09	-78.09

Tabla 4. Potencia en el receptor para cada enlace

obtener rendimientos que van desde 70% a 100% (Zennaro, 2010). En esta frecuencia se debe garantizar además el despeje del 60% la primera zona de Fresnel.

Considerado un obstáculo en el medio, el radio de la primera zona de Fresnel queda expresado por (Hernando, 2013):

$$R_1(m) = 8.66 \sqrt{\frac{d(km)}{f(GHz)}} \quad (8)$$

Con el radio de la primera zona de Fresnel se calcula la altura de las antenas para garantizar que el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucción (Hernando, 2013).

$$h(m) = h_{veg}(m) + 0.6R_1(m) =$$

$$h_{veg}(m) + 5.196 \sqrt{\frac{d(km)}{f(GHz)}}$$

(9)

donde h y hveg son las alturas de las antenas de los nodos y de la vegetación.

En el manglar de Parada, los árboles más próximos a la bahía alcanzan de 12 a 14 m de altura, en el resto del área no sobrepasan los 3 a 7 m, por lo que se consideran manglares achaparrados. Como los nodos no se ubican cercanos a la bahía para evitar el robo, se considera que la altura máxima de los árboles de manglares es de 7 m. Al evaluar ese valor en la ecuación 9 se obtiene

Enlace	P _r (dBm)	P _{ru} (dBm)	M (dB)
Nodo de medición 1- Estación base	-80.35	-136	55.65
Nodo de medición 2 - Estación base	-78.09	-136	57.91

Tabla 5. Margen de desvanecimiento para cada enlace

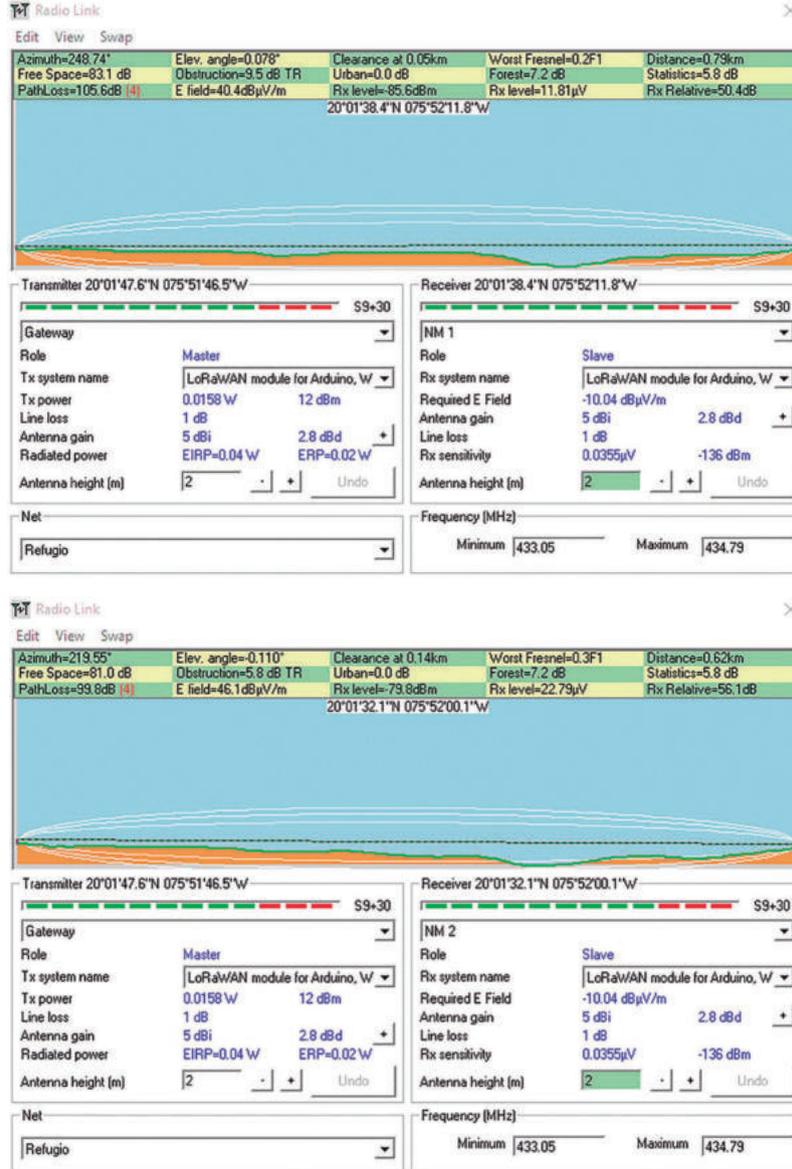


Figura 6. Enlaces entre los nodos de medición y la estación base

Enlace	2.4 GHz				433 MHz			
	L _{veg} (dB)	L _{br} (dB)	L _b (dB)	M(dB)	L _{veg} (dB)	L _{br} (dB)	L _b (dB)	M(dB)
Nodo de medición 1- Estación base	32.67	98.01	130.68	-11.68	17.22	83.13	100.35	55.65
Nodo de medición 2 - Estación base	32.67	95.90	128.57	-9.57	17.06	81.03	98.09	57.91

Tabla 6. Influencia de la vegetación en 433 MHz y 2.4 GHz.

como resultado que las antenas de los nodos deben estar 3 m por encima de los árboles.

Conclusiones

La construcción de los nodos de medición con la plataforma hardware de código abierto Raspberry Pi supera las limitaciones de la adquisición manual de los datos de monitoreo ambiental en el ecosistema Refugio de Fauna San Miguel de Parada, de la bahía de Santiago de Cuba. El nodo se compone de un bloque de adquisición de la información (con la estación

meteorológica o los sensores HOBO), la Raspberry Pi, un bloque alimentación compuesto por la placa Witty Pi 2 y una fuente de energía (solar o baterías) y uno de comunicación con la tecnología LoRa.

Con la tecnología LoRaWAN en 433 MHz se puede construir una red de sensores, con excelentes prestaciones, para cubrir un área boscosa, garantizando la preservación de la fauna. En 433 MHz no se necesita subir las alturas de las antenas, al contrario de lo que pasaría con las tecnologías que operan en la banda de 2.4 GHz.

Referencias

- Balmori, A. (2015). Anthropogenic radiofrequency electromagnetic fields as an emerging threat to wildlife orientation. *Science of the Total Environment*, 518, 58-60.
- CITMA. (2017). *Enfrentamiento al Cambio Climático en la República de Cuba: Tarea Vida*.
- Cooking Hacks. (2018). Disponible en: <http://www.cooking-hacks.com/shop/raspberry-pi/>
- Cosme Mestri, K. (2017). *Metodología para incorporar al programa de manejo integrado de zonas costeras el enfoque de valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos. Caso Refugio de Fauna San Miguel de Parada*. Santiago de Cuba: Tesis de maestría, Universidad de Oriente.
- García Pozo, R. (2006). *Bases para el Manejo Integrado del Bosque de Mangles asociado al Humedal de San Miguel de Parada*. Santiago de Cuba: Tesis de maestría, Universidad de Oriente.
- Hernando Rábanos, J. M., Mendo Tomás, L., y Riera Salis, J. M. (2013). *Transmisión por radio* (Septima ed.). Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Li, J. (2012). Duty cycling for energy efficiency in wireless sensor networks and applications.
- Mesa Mesa, L., y Falcón Hernández, J. (2017). Evaluación del grado de contaminación por petróleo de la bahía de Santiago de Cuba. *Revista Boliviana de Química*, 34(2), 56-64.
- MINCOM. (2017). *Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia*. Ciudad de La Habana: Ministerio de Comunicaciones República de Cuba.
- Poveda Santana, I., y Infante Guilart, Y. (2013). Área de Manejo. Santiago de Cuba: Material en formato digital. Fondos CEMZOC.
- Rabano, J. M. (2008). *Transmisión por radio. Sexta edición*. Editorial universitaria Ramón Areces.
- UIT-R. (2017). *Recomendación UIT-R P.833-9. Atenuación debida a la vegetación*. UIT.
- UUGear. (s.f.). *Witty Pi 2 Realtime Clock and Power Management for Raspberry Pi User Manual (revision 1.12)*. Obtenido de http://www.uugear.com/doc/WittyPi2_UserManual.pdf
- Vujović, V., y Maksimović, M. (2014). Raspberry Pi as a Wireless Sensor node: Performances and constraints. *37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (págs. 1013-1018). IEEE.
- Zennaro, M., Bagula, A., Gascon, D., y Noveleta, A. B. (2010.). Long distance wireless sensor networks: simulation vs reality. *Proceedings of the 4th ACM Workshop on Networked Systems for Developing Region*, (págs. 1-2). New York.

