

PROTOTIPO ELECTRÓNICO IoT PARA EL SEGUIMIENTO DE VARIABLES AMBIENTALES

IoT ELECTRONIC PROTOTYPE FOR MONITORING ENVIRONMENTAL VARIABLES

CAMARGO, L.¹; MEDINA, B²; GÓMEZ, J³

¹Ph. D. Luis Camargo A. Profesor Titular, Programa de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingenierías, Universidad del Magdalena, e-mail: lcamargoa@unimagdalena.edu.co. ORCID: 0000-0002-7956-441X

²Ph. D. Byron Medina D. Profesor Asociado, Programa de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander, e-mail: byronmedina@ufps.edu.co. ORCID: 0000-0003-0754-8629

³Ph. D. Jorge Gómez R. Profesor Titular, Programa de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingenierías, Universidad del Magdalena, e-mail: jgomez@unimagdalena.edu.co. ORCID: 0000-0002-0840-8743

Entidad

Carrera 32 No 22 – 08. Universidad del Magdalena. Santa Marta D.T.C.H. Colombia. Código Postal No. 470004
Tel: 01 8000 180 504. PBX: (57 - 5) 4381000 - 4365000
E-mail: lcamargoa@unimagdalena.edu.co

Recibido: 09/07/2022 / Aceptado: 20/12/2022

Resumen

Para el uso eficiente de los recursos y una mejor planificación en la agricultura es necesario tener los datos relacionados con las variables hidroclimáticas del entorno. En este trabajo se propone un sistema electrónico que utiliza el Internet de las Cosas para el monitoreo de variables ambientales como: temperatura, humedad relativa, temperatura del agua, presión atmosférica y nivel de profundidad de la fuente del recurso hídrico. El prototipo se desarrolló utilizando la arquitectura de tres capas: la capa de detección o sensado, la capa de infraestructura o red de comunicación y, la capa del servicio de IoT. Para probar el prototipo se recolectaron 65 muestras para cada variable ambiental en un entorno real, obteniendo: una correlación del 100 % de los datos medidos y almacenados, una eficiencia de transmisión del 95.3 %. Concluyendo que es posible implementar un nodo sensor IoT de bajo costo y fiable.

Palabras clave

Nodo Sensor, Hardware Libre, Software Libre, ThingSpeak.

Abstract

For the efficient use of resources and better planning in agriculture, it is necessary to have data related to the hydroclimatic variables of the environment. This paper proposes an electronic system that uses the Internet of Things to monitor environmental variables such as: temperature, relative humidity, water temperature, atmospheric pressure and depth level of the water resource source. The prototype was developed using the three-layer architecture: the detection or sensing layer, the infrastructure or communication network layer, and the IoT service layer. To test the prototype, 65 samples were collected for each environmental variable in a real environment, obtaining: a 100 % coincidence of the measured and storage data, a transmission efficiency of 95.3 %. Concluding that it is possible to implement a low-cost and reliable IoT sensor node.

Keywords: Sensor node, free hardware, free software, ThingSpeak.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (2015), en sus informes anuncia que, en los próximos años, es necesario aumentar el ritmo de producción de alimentos a nivel mundial para cubrir la necesidad de la población. Esto incentiva a la industria agrícola para que adopte aplicaciones tecnológicas en sus procesos. Tecnologías que ayudan a aumentar la productividad y sostenibilidad, al mejorar los procesos y el uso eficiente de los recursos naturales (García & Flego, 2008).

El agricultor tradicional conoce la necesidad del agua en los cultivos, con base en su propia experiencia, determinando cuándo y cuánta agua debe suministrar al cultivo (Alonso *et al.*, 2020). Esta experiencia en algunos casos no se ha transmitido eficientemente a las siguientes generaciones de agricultores. Por lo que se requiere generar un historial de mediciones de variables ambientales que faciliten el proceso (Castelluccia, Calderola, & Boffoli, 2017).

Los datos ambientales han permitido actualmente a los agricultores mejorar su producción, aumentando la competitividad (Gaikwad, Vibhute, Kale, & Mehrotra,

2021). La información sobre variables hidroclimáticas les contribuye para planificar mejor sus cultivos (Maroli, Narwane, & Gardas, 2021). La tecnología de Internet de las Cosas, IoT, permite la conexión entre sensores y máquinas de forma automática y sin manipulación humana (Gokhale, Bhat, & Bhat, 2018).

Las nuevas tecnologías como IoT y los sensores para la agricultura, aportan a la medición de parámetros ambientales de manera amplia, precisa y automática; permitiendo recolectar grandes cantidades de datos que pueden ser analizados para la toma de decisiones y el diseño de estrategias de producción a partir de los métodos tradicionales o usando inteligencia artificial, (Okafor, Alghorani, & Delaney, 2020) (Amaya, y otros, 2020).

En este trabajo se demuestra la eficiencia del uso de sistemas electrónicos de bajo costo y software de código abierto para medir, enviar, almacenar y visualizar los datos de algunas variables climáticas (Araujo *et al.*, 2020; Gelvez *et al.*, 2020; Bonilla *et al.*, 2020).

2. METODOLOGÍA

Para la implementación del prototipo se realizó una revisión bibliográfica sobre las

especificaciones de una estación meteorológica IoT (Talavera, y otros, 2017), (Ioannou, Karampatzakis, Amanatidis, Aggelopoulos, & Karmiris, 2021).

Se analizaron las características de las variables ambientales que impactan en el tratamiento del suelo y el cultivo de la tierra para la producción de alimentos. Haciendo énfasis en las variables que facilitan el uso eficiente de los recursos hídricos (Villamizar *et al.*, 2020; Bermúdez *et al.*, 2020; Guerrero *et al.*, 2021).

Para validar el sistema propuesto se implementa un único nodo sensor que puede ser replicable.

Para el desarrollo del nodo se determina que la tecnología a usar es hardware y software libre; y que el nodo sensor debe ser autónomo energéticamente. Esto con el propósito de reducir costos de fabricación e implementación del prototipo funcional (Medina, Castro, & Camargo, 2015).

El diseño del prototipo de monitoreo propuesto se desglosa en de tres capas (Zhong, Zhu, & Huang, 2015). En la figura 1 se muestra la capa de detección o sensado, la capa de infraestructura o red de comunicación y la capa del servicio de IoT en la nube.

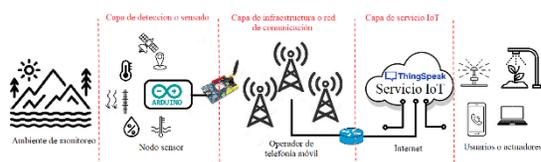


Figura 1. Arquitectura del sistema propuesto.

Para controlar los procesos de sensado, almacenamiento y envío de los datos, en el

nodo sensor, se eligió la placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560, Arduino Mega 2560. Esta placa tiene 54 pines de entrada/salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reinicio.

Para la autonomía energética se utiliza un panel solar, un controlador de carga solar y una batería. Se estima la autonomía de la batería a partir del consumo de corriente del nodo sensor y el tiempo que dura funcionando sin presencia plena de luz solar (Peñaloza *et al.*, 2020; Castellanos & Baldovino, 2021).

A partir de lo anterior se listaron los otros elementos electrónicos requeridos para la implementación del nodo sensor y el servicio IoT.

2.1 Capa de detección o sensado

El nodo sensor propuesto está compuesto por sensores para medir temperatura ambiente y humedad relativa, temperatura del agua, presión atmosférica y nivel de profundidad de la fuente del recurso hídrico (Niño Rondón *et al.*, 2021).

El sensor de temperatura y humedad para mediciones en el cultivo es el AMT1001. Este sensor tiene una aceptable precisión, es fácil de calibrar y de conectar a una placa de desarrollo o microcontrolador (Torrado *et al.*, 2020; Mahecha *et al.*, 2020).

El sensor DS18B20 es usado para medir la temperatura del cuerpo del agua donde se

extrae el recurso para el cultivo. El DS18B20 proporciona mediciones de temperatura Celsius de 9 a 12 bits. Se comunica a través de un bus de 1 cable que, por definición, requiere solo una línea de datos y tierra, para comunicarse con un microprocesador central. Además, el DS18B20 puede extraer energía directamente de la línea de datos (autoalimentado), lo que elimina la necesidad de un conductor adicional, facilitando su implementación a distancias lejanas de nodo sensor (Terrero *et al.*, 2020).

El sensor BMP180 es usado para medir altitud y presión atmosférica. Este sensor se basa en tecnología piezorresistiva para la robustez de EMC. Presenta alta precisión y linealidad, así como estabilidad. La comunicación la realiza con el bus de comunicación serial I2C, permitiendo una fácil integración del sensor al sistema (Castellanos *et al.*, 2020).

El módulo ultrasónico HC-SR04 utilizado para medir la distancia, permite una medición sin contacto de 2 a 400 cm, con una precisión de rango que puede alcanzar los 3 mm. Este sensor permite medir indirectamente las reservas de agua presentes en la fuente del recurso hídrico para el riego.

Se listaron los sensores con los valores de: rango de operación, precisión, consumo de energía, y el sistema de transmisión de información que utilizan. Como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de los sensores.

Parámetro	AMT1001	DS18B20	BMP180	HC-SR04
Voltaje de operación	4 ~ 5.5 V	3 – 5.5 V	1.8 – 6 V	5 V
Consumo de corriente	2m A	1.5m A	1.5m A	15m A
Tipo de comunicación	Voltaje analógico	Digital, serial de un hilo	Digital, serial I2C	Trigger / Echo
Humedad	20% - 90% RH	N/A	N/A	N/A
Temperatura	0°C – 50°C	-55°C – +125°C	N/A	N/A
Presión	N/A	N/A	300 a 1100 hPa	N/A
Distancia	N/A	N/A	N/A	2 cm a 400 cm
Precisión de la humedad	1% RH	±0,5°C	N/A	N/A
Precisión de la temperatura	1°C	N/A	N/A	N/A
Precisión de la presión	N/A	N/A	1 hPa	N/A
Precisión de la distancia	N/A	N/A	N/A	3mm
Tiempo de respuesta	10 s.	< 750m s	8.3m s	25µ s

Adicionalmente, el sistema permite el ajuste de la temperatura usando la ecuación de enfriamiento de Newton, ecuación (1). Esta establece que cuando la diferencia de temperatura entre un cuerpo y su ambiente no es muy grande, el calor transferido en la unidad de tiempo al cuerpo o desde el cuerpo por conducción, convección y radiación es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el ambiente externo:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha S(T - T_a)$$

Ecuación 1

Donde T_a es el coeficiente de intercambio de calor y S es el área del cuerpo de agua.

La medición de la presión-altitud se ajustan de acuerdo con la ecuación (2).

$$P(\text{mbar}) = 1013.25(1 - 0.00002255577 \times H)^{5.2559}$$

Ecuación 2

2.2 Capa de red de comunicación

Para la transmisión de información a la Internet se utiliza la infraestructura de los operadores de telefonía móvil celular. Esta transmisión se realiza de forma automática sin la necesidad de la intervención de un operador.

Para esto se eligió el módulo de bajo costo SIM900. Este módem GSM/GPRS soporta comandos AT por la interfaz serial UART y, mediante los comandos permite enviar y recibir SMS, realizar llamadas y conectarse a Internet.

Antes de enviar los datos al servidor, estos son almacenamiento localmente para garantizar la confiabilidad del prototipo y la auditoria sobre los datos.

El almacenamiento en el nodo sensor se realiza en una tarjeta SD, Para esto se emplea un SD *DataLogger Shield* que contiene un lector de tarjetas SD y un reloj de tiempo real, módulo RTC para registrar el momento en que se escribe o se lee la información.

2.3 Capa del servicio de IoT

El prototipo propuesto presta un servicio basado en la tecnología IoT. El servicio permite publicar la información de forma independiente para cada variable, o descargar el registro de las medidas de todas las variables en un mismo archivo.

ThingSpeak es un software de código abierto. Este es usado para implementar el servicio de IoT en la nube. Servicio que facilita la entrega y visualización de los datos sensados; además, de generar alertas sobre los datos y analizar el flujo de éstos (MathWorks, 2010).

ThingSpeak soporta diferentes formatos de datos, formatos como JSON (*JavaScript Object Notation*, Notación de Objeto de JavaScript), XML (*eXtensible Markup Language*, Lenguaje de Marcado Extensible) y CSV (*Comma-Separated Values*, Valores Separados por Comas). El formato utilizado en el prototipo para almacenar y enviar los datos con las mediciones de las variables es el CSV, porque es ligero el tamaño en bit y fácil de usar.

Adicionalmente, ThingSpeak se conecta e integra fácilmente con MATLAB, permitiendo que se pueda ejecutar código de MATLAB para el análisis de los datos recolectados.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se enuncian los resultados relevantes.

3.1 Nodo sensor

Se obtiene un nodo sensor funcional y de bajo costo con la capacidad de medir, almacenar y enviar los datos a Internet.

El diagrama circuital del nodo se muestra en la figura 2.

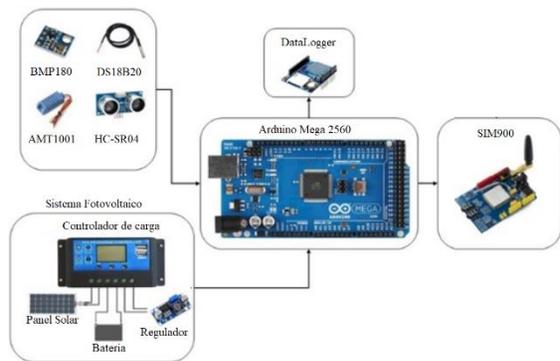


Figura 2. Diagrama del nodo sensor.

3.2 Servicio IoT

Se implementa un servicio IoT en la plataforma ThingSpeak. El servicio utiliza el protocolo de publicación y suscripción MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) a través de un WebSockets en TCP/IP, habilitado en el nodo sensor y la aplicación cliente. Esto permite la comunicación entre los sensores y el bróker IoT.

El servicio permite almacenar los datos en los servidores de ThingSpeak y visualizar la información desde cualquier dispositivo conectado a Internet. La información se visualiza en tiempo real debido a que la latencia en la red es muy baja en comparación con la frecuencia de muestreo de los sensores.

En la figura 3, se muestra una captura de la aplicación cliente con datos obtenidos por el nodo sensor en un entorno real (campus de la Universidad del Magdalena, granja experimental).

3.3 Pruebas de funcionamiento

Se probó la integridad y el envío de los datos al bróker IoT.

Durante las pruebas realizadas se obtuvo una colección de sesenta y cinco (65) muestras para cada variable meteorológica, de las cuales se obtiene

una correlación con los datos almacenados en la memoria SD del 100 %; evidenciando la integridad de los datos.

Asimismo, se hace constar que sesenta y dos (62) de los datos fueron almacenados en la nube de la plataforma ThingSpeak, por lo que se evidencia que el 95.3 % del total de muestras recolectadas realizaron el registro a través del dispositivo de transmisión, demostrándose así el rendimiento eficiente del dispositivo en términos de proyecciones, recopilación y almacenamiento de datos totales.

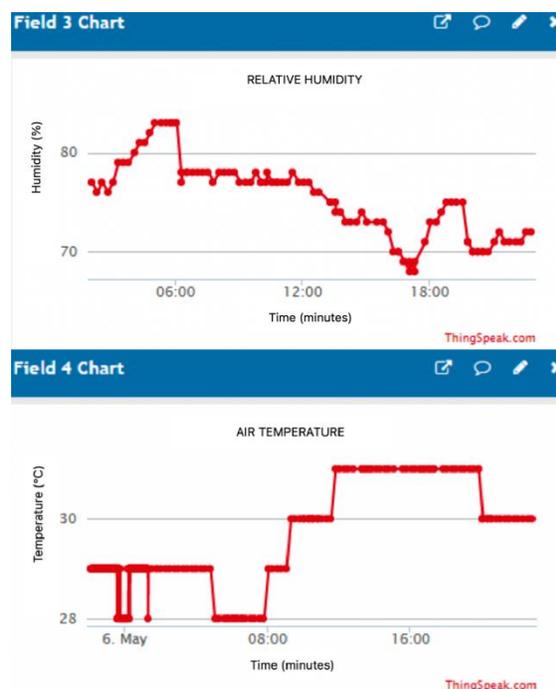


Figura 3. Pantallas de la aplicación del usuario.

4. CONCLUSIONES

Es posible implementar un prototipo electrónico IoT para el monitoreo de variables ambientales con condiciones de: replicabilidad, escalabilidad, eficiencia y de bajo costo de implementación.

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en un entorno real avalan el funcionamiento del prototipo y la integridad de los datos obtenidos en las mediciones.

El uso de la red de telefonía móvil celular, para conectar el nodo sensor con la Internet, garantiza una amplia cobertura de operación e implementación del nodo sensor.

El uso de la plataforma ThingSpeak facilitó la implementación del servicio IoT propuesto. Además, permite la integración con otros softwares como Matlab para el análisis avanzado de los datos, como el uso tecnologías de inteligencia artificial.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad del Magdalena por su compromiso con la financiación del proyecto que dio origen al resultado presentado en este artículo.

También se agradece a los estudiantes e ingenieros que participaron de forma técnica en la construcción del prototipo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, L., Castellanos, L. y Meseguer, O. (2020). Efectos alelopáticos de residuos de *Sorghum Halepense* (L.) sobre dos arvenses dicotiledóneas en condiciones de laboratorio. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.354>

Amaya, J., Luzmila, R., Cardenas-Ruiz, C., P., A.-C., M., P.-M., R., R., . . . C., C.-M. (2020). The 4th International Workshop on Recent advances on Internet of Things: Technology and Application

Approaches (IoT-T&A 2020). The 4th International Workshop on Recent advances on Internet of Things: Technology and Application Approaches (IoT-T&A 2020) (págs. 1083–1089). Warsaw: ScienceDirect.

Araujo, T. C. y Rivera, M. E. (2020). Índices de sequía para la cuenca del Rio Cesar – Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2020.4671>

Bermúdez, N., Gallegos, D. S. y Botello-Suárez W. A. (2020). Desarrollo de un dispositivo autónomo para el mejoramiento de la calidad del agua en el humedal córdoba (Bogotá, Colombia). *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.355>

Bonilla, C. A., Rubio, Y. M. y Bonilla, S. A. (2021). Afectación por derrames de crudo ocasionados por acciones subversivas al oleoducto Caño Limón Coveñas. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572>

Castellanos, L., Serrano, S. y Becerra, W. M. (2020). Preferencia por morfoespecies de babosas en diferentes cultivos y ambientes del municipio Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.356>

Castellanos, L. y Baldovino, A. L. (2021). Enfermedades foliares más importantes del cultivo de la fresa en la zona de Pamplona. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(1). DOI:

<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2569/3133>

- Castelluccia, D., Caldarola, E., & Boffoli, N. (2017). Environmental big data: a systematic mapping study. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 41(6), 1-4.
- FAO. (2015). *Perspectivas a largo plazo, El panorama de la agricultura*. Roma: FAO.
- Gaikwad, S., Vibhute, A., Kale, K., & Mehrotra, S. (2021). An innovative IoT based system for precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106291.
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*, 99-116.
- Gelvez, S. D., Rivera, M. E. y Solano, O. F. (2020). Análisis estadístico de parámetros hidrometeorológicos, físicoquímicos y microbiológicos incidentes en la calidad de la quebrada Monteadentro. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i2.872>
- Gokhale, P., Bhat, O., & Bhat, S. (2018). Introducción a la IoT. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 5(1), 41-44.
- Guerrero, J., Hernández, B. y Castellanos, L. (2021). Calidad del agua para sistemas de riego en Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2573/3137>
- Loannou, K., Karampatzakis, D., Amanatidis, P., Aggelopoulos, V., & Karmiris, I. (2021). Low-cost automatic

weather stations in the internet of things. *Information*, 14(4), 146.

- Mahecha, J. G., Castellanos, L. y Céspedes, N. (2020). Alternativas para Suplir la Carencia de Fósforo en Fresa y Disminuir la Contaminación Ambiental en Pamplona Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.384>
- Maroli, A., Narwane, V., & Gardas, B. (2021). Applications of IoT for achieving sustainability in agricultural sector: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 113488.
- MathWorks. (2010). *ThingSpeak*. Software. Natick, USA: MathWorks.
- Medina, B., Castro, S., & Camargo, L. (2015). Tecnologías de código abierto para la gestión de un proceso industrial. *Revista GTI*, 14(38), 43-58.
- Niño Rondón, C. V., Castro Casadiego, S. A. y Ortíz Fonseca, D. M. (2021). Análisis de herramientas para desarrollar un sistema de apoyo ambiental para identificar residuos sólidos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572/3136>
- Okafor, N., Alghorani, Y., & Delaney, D. (2020). Improving data quality of low-cost IoT sensors in environmental monitoring networks using data fusion and machine learning approach. *ICT Express*, 6(3), 220-228.
- Peñalosa, L. K., Carvajal, F. A. y Hernández, N. J. (2020). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal de la microcuenca El Volcán a partir de la compra de áreas

estratégicas. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.38>
1

Talavera, J., Tobón, L., Gómez, J., Culman, M., Aranda, J., Parra, D., . . . Garreta, L. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 283-297.

Terrero, W., Castellanos, L. y Vicet, L. (2020). Potencialidades alelopáticas del residual paja de la caña de azúcar (SACCHARUM SPP., HYBRID) para el manejo de arvenses. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1) DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.35>
7

Torrado, J. M., Castellanos, L. y Céspedes, N. (2020). Evaluación de alternativas biológicas para el control de *Ascochyta* Spp. en el cultivo de arveja, Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1).

DOI:
<https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.35>
3

Villamizar, Y., Ramón, J. D. y López, L. A. (2020). Análisis de las condiciones del recurso hídrico en la quebrada escorial, Pamplona Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.38>
2

Zhong, C., Zhu, Z., & Huang, R. (2015). Study on the IOT architecture and gateway technology. In 2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES) (págs. 196-199). Guiyang: IEEE.