

Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual y su aplicación mediante un prototipo

Jorge Luis Diaz Martinez¹, Dixon Salcedo¹, Teobaldis Mercado², Yadira Quiñonez³,
Andrés Mejía de la Hoz¹

jdiaz5@cuc.edu.co; dsalcedo2@cuc.edu.co; temercado@unicordoba.edu.co;
yadiraqui@uas.edu.mx; emejia17@cuc.edu.co

¹ Universidad de la Costa-CUC, Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, 08001, Atlántico, Colombia.

² Universidad de Córdoba. Departamento de ingeniería Agronómica, 230002, Montería, Córdoba, Colombia.

³ Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Informática de Mazatlán, 82000, Mazatlán, Sinaloa, México.

DOI: [10.17013/risti.53.106-121](https://doi.org/10.17013/risti.53.106-121)

Resumen: El sector agrícola se encuentra entre los más beneficiados por la expansión del Internet de las Cosas (IoT), ya que permite recopilar y gestionar una gran cantidad de datos sobre el entorno de un cultivo. Este artículo presenta los resultados del diseño y la prueba de un prototipo de sistema de monitoreo de variables agrícolas, las cuales pueden almacenarse y consultarse en la nube. Se utilizaron sensores y sistemas de procesamiento de bajo costo y fácilmente adaptables a entornos agrícolas. Los resultados obtenidos confirman la viabilidad de implementar estos sistemas sin recurrir a herramientas tecnológicas y computacionales complejas.

Palabras-clave: Agricultura de precisión, dashboard, ESP32, IoT, sensores, monitoreo en la nube.

Internet of Things (IoT) applied to agriculture: current state and its application through a prototype

Abstract: The agricultural sector is among the most benefited by the Internet of Things (IoT) expansion since it allows collecting and managing a large amount of data about a crop's environment. This article presents the results of designing and testing a prototype monitoring system for agricultural variables, which can be stored and consulted in the cloud. Low-cost sensors and processing systems were easily adaptable to agricultural environments. The results confirmed the viability of implementing this system without resorting to complex technological and computational tools.

Keywords: Precision agriculture, dashboard, ESP32, IoT, sensors, cloud monitoring.

1. Introducción

Resulta evidente la importancia de la agricultura en la vida humana, desde su aparición hace aproximadamente 12500 años. Este hecho impactó la significativamente el desarrollo del homo sapiens. Fue un proceso que supuso la domesticación de plantas y animales, lo cual permitió el asentamiento y conformación de grupos humanos (Bula, 2020). Por otra parte, la agricultura ha sido un instrumento para la erradicación de la pobreza y el hambre en muchas zonas del mundo, pues la agricultura es la responsable principal de la producción de alimentos.

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) han impactado todos los aspectos de la vida humana. Desde los empleos hasta el entretenimiento pasando por la educación y otras necesidades tales como servicios bancarios, servicios de salud, entre otros (Arsovski et al., 2016; Bankole et al., 2011; Gašparović, 2019; Hernandez, 2017). Como era de esperar, la agricultura no ha sido ajena a dicho proceso de tecnificación, y la vinculación de las TIC ha dado lugar a lo que en este momento se denomina agricultura de precisión. La inclusión de tecnología a una de las actividades humanas más antiguas ha traído consigo mejoras en la productividad y garantías en la seguridad alimentaria de la población mundial (Ali, 2012; S. Das et al., 2017; Gopinath, n.d.; Marwa et al., 2020; Newase et al., 2017; Punchihewa & Wimalaratne, 2010; Thangaraju et al., 2016).

A pesar de las oportunidades que ofrece la tecnificación del sector agrícola, Colombia aún tiene un bajo nivel (Minagricultura, 2018; Parra-Peña et al., 2021). Debido a esta baja tecnificación del sector agrario colombiano, se carece de histórico de datos (*dataset*) para la región en lo que tiene que ver con la medición de variables agrícolas y climáticas, para poder realizar análisis fenológicos de los diferentes tipos de cultivos. Las variables climáticas no son importantes sólo por la fenología, sino por el impacto que tiene el clima en la correcta realización de las actividades del campo. Como un ejemplo de esto se puede mencionar los sistemas de alertas tempranas (SAT), que anuncian la ocurrencia de inundaciones, en especial en regiones de Colombia como el sur del Atlántico, que en la actualidad es inexistente, a pesar del conocido riesgo (UNGRD, 2021). La región correspondiente al sur del Atlántico toma relevancia por ser un importante productor de maíz.

El SAT se puede constituir en el primer paso para conseguir la tecnificación del sector rural colombiano, en especial, en la región Caribe. Se convertirían en el eje central en torno a cuál desplegar los otros sistemas complementarios que demanda la agricultura de precisión, relacionados con el monitorio de cultivo, y la actuación en actividades productivas.

Cuando se revisa la literatura de forma global se pueden identificar 4 categorías de análisis de las TIC aplicadas a la agricultura, dando lugar a la agricultura de precisión. Según las tendencias observadas, a saber: IoT en la agricultura de precisión (Mohammad El-Basioni & Abd El-Kader, 2020); arquitecturas y servicios (Dobrescu et al., 2019); sistemas expertos en la toma de decisiones (Bouachir et al., 2019); monitoreo y salud de los cultivos (L. Liu et al., 2019). De estas categorías analizadas se desprenden oportunidades de investigación en diferentes ámbitos.

El primer ámbito está relacionado con los dataset aplicados en la agricultura de precisión. Debido a la heterogeneidad de los dataset, se hace necesaria la aplicación de técnicas predictivas basadas en analítica de datos (Big Data). Las técnicas de Big Data resultan las más adecuadas para el tratamiento de datos masivos y poco estructurados (Oussous et al., 2018). Por otro lado, la seguridad de los datos que son detectados por medio de dispositivos IoT debe establecerse mediante técnicas nuevas de protección, pues se trata de arquitectura no tradicionales (Amanullah et al., 2020; Khan & Salah, 2018; Mohamad Noor & Hassan, 2019; Sidhu et al., 2019). Finalmente, usar la información colectada en los dataset para identificar enfermedades y anomalías en los cultivos a fin de ampliar aún más el alcance de la agricultura de precisión (Bhatia et al., 2021).

El segundo ámbito está relacionado con la evaluación de la eficacia de los modelos predictivos. Son necesarios análisis comparativos que permitan evaluar y contrastar la capacidad predictiva de los modelos frente a la realidad, con el fin de validar su precisión y confiabilidad (de la Casa et al., 2018; Ge et al., 2020; Miller et al., 2019; Panesar et al., 2021; Vergara-Díaz et al., 2020; Wei et al., 2021).

El tercer ámbito que ofrece oportunidades es el de la inteligencia artificial. Los chatbots basados en inteligencia artificial al servicio de los agricultores, con la aplicación de técnicas de aprendizaje automático (ML, Machine Learning), aprendizaje profundo (DL, Deep Learning) y algoritmos híbridos. Los algoritmos de inteligencia artificial también ofrecen un enfoque más preciso y rentable de la agricultura, haciéndola más productiva y sostenible, especialmente en la actual situación de escasez de mano de obra y cambio climático (Alfred et al., 2021; García et al., 2020; Kocian & Incrocci, 2020; Z. Unal, 2020).

Esta investigación se realiza en el marco de un proyecto enfocado en los sistemas SAT aplicados al sector rural, para servir de apoyo en la ejecución de acciones de prevención y mitigación de riesgos de cambio climático, a los agricultores del sur del Atlántico, especialmente a los productores de maíz. Sin embargo, el análisis de la literatura que se realiza a continuación para identificar las necesidades tecnológicas del sector agrícola y las tecnologías de implementación de soluciones es global. Se debe tener en cuenta que gran parte de las variables que se miden para alimentar los SAT, también son utilizadas en las implementaciones de agricultura de precisión para operar los sistemas de monitoreo y control. Sin embargo, se le dedica una sección aparte a los SAT.

2. Metodología

En este artículo se ha realizado una revisión documental de la literatura relacionada con las necesidades de gestión que se encuentran en el campo de la agricultura de precisión, y las tecnologías a implementar para la satisfacción de esas necesidades. Para tal fin, se debe realizar una búsqueda sistemática de la literatura en las bases de datos siguiendo una metodología definida.

La metodología se desarrolla en cuatro pasos, siendo el primero de ellos la definición de los parámetros de búsqueda. Para la definición de tales parámetros se plantea inicialmente una pregunta de investigación: ¿Cuáles son las necesidades y las implementaciones tecnológicas que demanda el sector de la agricultura de precisión?

Como se necesitaba explorar todas las tecnologías aplicables al sector de la agricultura de precisión, las palabras clave que se extrajeron de la pregunta fueron 3: “Necesidades”, “Tecnologías” y “Agricultura de Precisión”. Las cadenas de búsqueda obtenidas fueron: “Agricultura de Precisión”, “Necesidades” AND “Agricultura de Precisión” y “Tecnologías” AND “Agricultura de Precisión”. Para las búsquedas en las bases de datos, se usaron las versiones en inglés de las palabras clave.

El segundo paso de la metodología es definir las bases de datos a consultar. El criterio utilizado es que las bases de datos ofrecieran acceso a texto completo de los artículos. De los recursos provistos por la Universidad de la Costa, las 2 que cumplen este criterio son IEEEExplore y ScienceDirect. Se descartaron Springer, Scopus y WoS al no proporcionar acceso a texto completo la mayoría de las veces. Se consultó también el buscador Google, para considerar algunos documentos que podrían llegar a ser importantes y no figuran en las bases de datos antes mencionadas. Ejemplos de tales documentos pueden ser los de tipo institucional, publicados por autoridades, ministerios, gobiernos, entre otros.

El tercer paso es realizar las búsquedas en las bases de datos seleccionadas. Hacer la identificación de los documentos, la verificación de acceso y la depuración de los artículos según las necesidades de esta investigación.

Finalmente, el cuarto paso consiste en realizar el análisis de los resultados obtenidos.

3. Análisis de resultados

Para rastrear la evolución de la Agricultura de Precisión (AP) y su creciente impacto, se efectuó una búsqueda exhaustiva del término “Precision Farming” en la base de datos IEEEExplore. Como se aprecia en la Figura 1, el interés en este tema en IEEE ha experimentado un crecimiento gradual, consolidándose a partir del año 2013. Esta tendencia pone de manifiesto el carácter emergente de la AP, lo que la convierte en un campo de investigación y desarrollo con un sinnúmero de posibilidades.

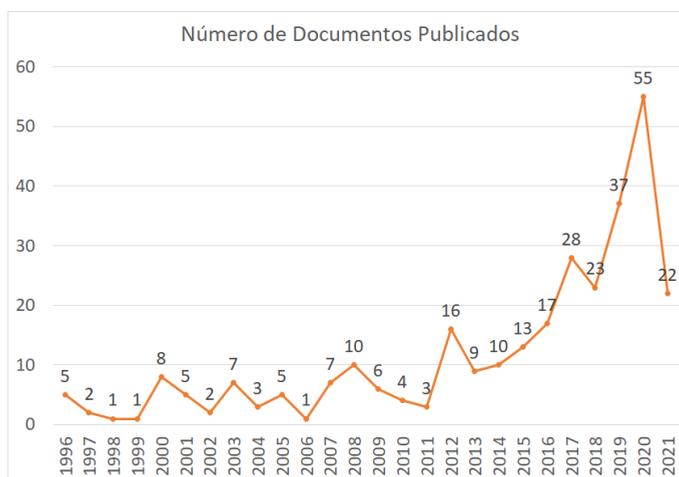


Figura 1 – Número de documentos publicados al año sobre “Precision Farming” en IEEEExplore

Era de interés conocer el tipo de publicación en la que más se concentran documentos en esta base de datos. Esta distribución se presenta en la figura 3. Resulta evidente que la mayoría de las publicaciones que se han realizado sobre el tema estén en conferencias. La cantidad de artículos en Journals es todavía reducida. El interés en esta temática es tan reciente, que aún es bajo el número de documentos publicados tipo divulgación (Magazines). Los libros suelen escribirse cuando los temas se consolidan, y es la razón para que haya o libros publicados en esta temática concreta.

3.1. Importancia de las variables medidas

El conocimiento del comportamiento de las especies en un modelo agrícola particular se puede obtener mediante el monitoreo de su etapa inicial de crecimiento y resulta útil para establecer los rangos de temperatura y nivel de precipitaciones requerido en el correcto desarrollo del cultivo. Para tal fin, el monitoreo debe incluir los eventos bióticos, los factores endógenos y los aspectos filogenéticos, así como sus relaciones con el desarrollo del cultivo. Este modelo permite determinar la forma en que los aspectos climáticos impactan en las condiciones necesarias para favorecer el ciclo de crecimiento de cada uno de los cultivos.

Son de interés las 2 etapas del cultivo correspondientes del cultivo: la etapa vegetativa y la etapa reproductiva. Es decir, desde la germinación de las semillas hasta el surgimiento de la cosecha. Mediante la evaluación de los ciclos productivos de corto y largo plazo, se pueden establecer las correlaciones entre los aspectos fenológicos y las variables climáticas de interés principal: rangos de temperatura, la humedad ambiental relativa y los volúmenes promedio de precipitaciones.

3.1.1. Temperatura

Se trata de una propiedad física de los cuerpos y sistemas que establece si se hallan en equilibrio térmico o no. La temperatura como concepto proviene de la intención de medir el calor relativo y el frío relativo de los cuerpos, sistemas o fenómenos. También tiene su origen en el hecho de que cuando se proporciona calor a un sistema, este tiende a un aumento de la temperatura en la medida en que no existan procesos de fusión o ebullición. Cuando se tienen sistemas con distinta temperatura, el calor tiende a fluir desde el más caliente (temperatura alta) al más frío (temperatura baja). Es un proceso continuo hasta que se llega al equilibrio térmico.

Desde el punto de vista climático, los flujos de calor se dan por radiación, lo que implica que no se requiere soporte material para transportar el calor de un cuerpo a otro. Resulta de interés el hecho de que, en las estaciones climatológicas, las necesarias en entornos agrícolas para monitorear el clima y poder generar alertas tempranas, la medición de la temperatura se lleva a cabo mediante termómetros secos, así como termómetros para temperaturas máximas y mínimas. Para la obtención de las mediciones fiables y representativas de la zona, se debe proteger a los termómetros de la radiación solar y encontrarse debidamente ventilados. Una forma de protección es la instalación al interior de una carcasa meteorológica que está formada por distintas láminas de madera que proporcionan sombra a los termómetros al tiempo que no obstruyen la ventilación de estos.

3.1.2. Humedad

Esta variable es importante porque cambios mínimos relativos su vapor dará lugar a cambios significativos en el estado del clima. Debido a esto, la determinación de cualquier estado futuro de la atmosfera precisa el análisis de las variaciones de humedad, o lo que es lo mismo, el contenido de vapor de agua en la misma.

La humedad relativa es una variable climatológica que ayuda a determinar qué tan húmedo o seco es el aire en una determinada región. Viene expresado en unidades porcentuales enteras que van desde aire seco absoluto (0%) hasta la saturación (100%). La humedad relativa se suele medir en la atmosfera mediante dos instrumentos: sicrómetro e higrógrafo.

3.1.3. Precipitaciones

Se trata de la lluvia, llovizna, nieve, granizo, entre otras, que se pueden experimentar en una determinada región. La medición de los niveles de precipitación y su correspondiente análisis permite establecer como se distribuirán en el tiempo y en el espacio geográfico. Cuando se miden precipitaciones en una zona, se intenta obtener una muestra representativa de las caídas de lluvias en una región específica. Para realizar esta medición, los instrumentos son el pluviómetro y el pluviógrafo. Detectan y registran las cantidades de precipitación. La unidad de medición de la precipitación es el milímetro (mm). Un mm de lluvia equivale a la caída de un litro de agua en cada uno de los metros cuadrados que conforman un terreno en particular.

4. Tecnología de sistema

4.1. ESP32

Según (Biradar & Shabadi, 2017) se trata de un sistema embebido del tipo SOC (System On Chip), que consiste en un procesador dual core Tensilica Xtensa LX6 el cual trabaja a una frecuencia de reloj de 240 MHz. Además, el sistema cuenta con módulos adicionales para comunicaciones a nivel de la capa de enlace como pueden ser WiFi y Bluetooth. El fabricante de este sistema es la empresa Espressif Systems. El SOC integra toda la tecnología correspondiente a RF (radiofrecuencia) como es una antena, un adaptador de impedancia de RF, un amplificador de potencia de RF, amplificador de bajo ruido (LNA) en la entrada del bloque de comunicaciones del módulo, filtros, bloques para la gestión del consumo de energía. Esta última tecnología hace que el sistema global sea de bajo consumo.

El sistema ESP32 ha sido diseñado para trabajar con tecnología móvil, aplicaciones electrónicas en general e Internet de las Cosas (IoT) en particular. Por eso las funciones de gestión energética son importantes para conseguir consumos ultra bajos. El funcionamiento del módulo incluye ajuste fino del reloj, varios modos de configuración de la potencia y ajuste dinámico del consumo de potencia. En la tabla 1 se resumen las características principales del módulo.

Característica Principales	
Procesador principal	Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits
Wi-Fi	802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)
Bluetooth	v4.2 BR / EDR y Bluetooth Low Energy (BLE)
Frecuencia de Clock	Programable, hasta 240MHz
Rendimiento	hasta 600DMIPS
ROM	448KB, para arranque y funciones básicas
SRAM	520KiB, para datos e instrucciones

Tabla 1 – Características principales del ESP32.

Entre las tecnologías posibles a utilizar para servir de nodo en la medición de variables climatológicas, como pueden ser tarjetas Arduino o la Raspberry Pi, la relación prestaciones/precio del módulo ESP32 era lo suficientemente alta como para decantar la decisión a su favor. En la figura 2 se puede ver la distribución de pines I/O del módulo.

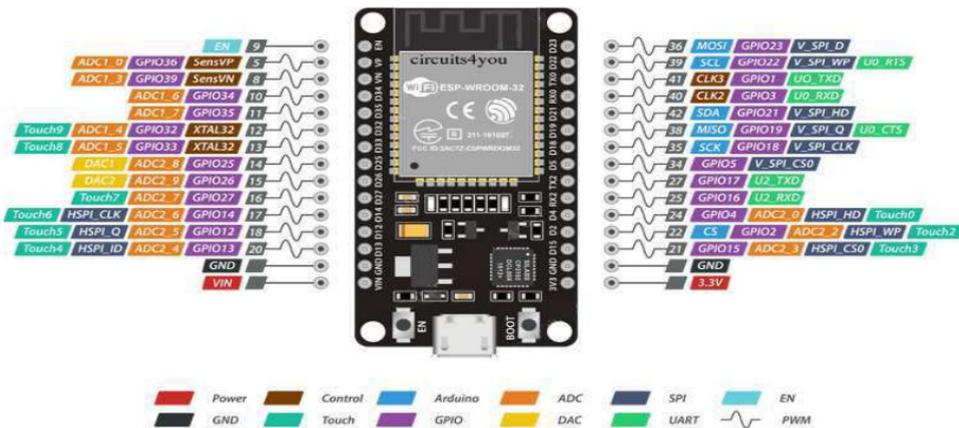


Figura 2 – Distribución de pines I/O del módulo ESP32

Producto de la revisión se lograron encontrar distintos equipos de infraestructura que soportan los datos en ámbitos de agricultura de precisión. Así mismo, los lenguajes de programación que soportan cada una de las tarjetas que permiten la interconexión de los datos.

Dispositivos	Procesador	Lenguajes de programación	Comunicación/ Control	Almacenamiento
<p>Tipo 1: RaspberryPi</p> 	ARM Cortex-A7 CPU 900 MHz Memory 1GB	Linux C/C++ and Python APIs libraries	WIFI and USB SPI and MQTT protocol GPIO and A/D modul	Micro SD 16 GB
<p>Tipo 2: Photon IoT</p> 	ARM Cortex-M3 CPU 120 MHz 1MB flash, 128KB RAM	C language APIs libraries	WIFI and USB SPI and MQTT protocol GPIO and A/D ports	-
<p>Tipo 3: SmartPhone</p> 	SoC μ Processor CPU \geq 900 MHz Memory \geq 1GB	Android/iOS Objective C Java libraries	WIFI and USB Bluetooth 4G LTE	Escalable
<p>Tipo 4: ESP -32</p> 	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 con 600 DMIPS	Esp-idf (Espressif IoT Development Framework) desarrollado por el fabricante del chip, Arduino (en lenguaje C++), Simba Embedded Programming Platform (en lenguaje Python), RTOS's (como Zephyr Project, Mongoose OS, NuttX RTOS), MicroPython, LUA, Javascript (Espruino, Duktape, Mongoose JS), Basic.	HT40 Bluetooth 4.2 y BLE 160 MHz	-

Tabla 2 – Comparativa entre distintas plataformas tecnológicas para soporte hardware.

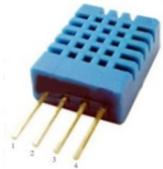
4.2. Sensores

4.2.1. DHT-11

Se trata de un sensor con la capacidad de medir temperatura y humedad relativa. En las especificaciones del dispositivo se establece que sus rangos de medición son en 20% y 90% para la humedad relativa, con un margen de error de $\pm 5\%$, y entre 0 y 50°C para el caso de la temperatura (Klerkx et al., 2019).

Un parámetro importante para los sensores que se utilizan en aplicaciones de tiempo real, en especial si van orientado a sistemas de alertas tempranas, es la rapidez de respuesta o tiempo de respuesta ante variaciones en la temperatura y humedad del ambiente. Para el DHT-11 este tiempo puede variar entre 6 y 30 segundos. La información técnica suministrada por el fabricante destaca algunos aspectos de calidad como la calibración de los sensores, la estabilidad y precisión, así como la característica de que la señal suministrada por el sensor es de tipo digital.

En la Figura 3 se presenta la distribución de pines del sensor. Se recomienda el uso de una resistencia de entre 5k y 10k entre los pines 1 y 2. Una presentación común de este módulo es una tarjeta que lo integra con la mencionada resistencia.



Pin	Nombre	Descripción
1	VDD	Alimentación de energía 3 – 5.5V DC
2	DATA	Datos de salida
3	NC	Sin conexión
4	GND	Conexión de tierra

Figura 3 – Distribución de pines del sensor DHT-11

El sensor DHT-11 es capaz de capturar muestras en tiempo real, lo cual dependerá de las condiciones del entorno. Por su parte, la temperatura se puede medir y gestionar en diferentes escalas (°C, °F, K, R, entre otros). La humedad relativa es medida en valores porcentuales

4.2.2. Pluviómetro RM52203

Se trata de un sensor que utiliza la tecnología de las cazoletas basculantes como principio de medición de la precipitación. La configuración física y el material en el que se fabrican las cazoletas permiten una evacuación total del agua recolectada con el objetivo de minimizar la contaminación ambiental y la ocurrencia de errores en la medición. Para el caso de esta referencia, el área destinada a la recogida de agua es un círculo de 200 cm², y cada giro corresponde a 0.1 mm de precipitación, como es señalado por la organización mundial de meteorología (WMO).

El material de fabricación de este sensor es un termoplástico molido, que presenta una alta resistencia a la corrosión debido al ambiente. Adicionalmente, este pluviómetro cuenta con tornillos para realizar la nivelación de la cazoleta. La salida de agua se puede acoplar a un tubo que permita recoger el total de la precipitación que circula por el sensor con fines de verificación final de la medición. El rango de medida es de 0 – 50 mm/h, con errores de entre ± 2 y ± 3 . En la Figura 4 se puede ver la configuración física del pluviómetro analizado.



Figura 4 – Pluviómetro RM52203

4.3. Tecnología software

Para poder hacer integraciones tecnológicas vinculadas con el IoT se requieren plataformas que permitan el acopio de datos en tiempo real y su visualización de forma amigable con los usuarios de las soluciones tecnológicas implementadas. En el mercado se pueden encontrar varias de estas plataformas, algunas de las cuales son de código abierto, y otras son propietarias. En algunos casos no es la sólo el software, sino que se puede encontrar todo un ecosistema que incluye también el hardware y todos los elementos necesarios para el desarrollo de la aplicación concreta. Cada una de estas plataformas proporciona unas características particulares, como puede ser el hardware más adecuado, los dominios de aplicación, así como el objetivo general buscado con la plataforma.

Dentro de las muchas que hay en el mercado, en este proyecto se seleccionó Ubidots, al ofrecer una mayor facilidad de integración con dispositivos IoT, tarjetas programables como ESP32 y Arduino. También ofrece una disposición bastante amigable del dashboard para el despliegue de los datos en pantalla. Ubidots es una de esas plataformas de analítica de datos que permite el establecimiento de rangos arbitrarios para las fechas, el cálculo de cifras estadísticas para cualquier período de captura de datos, como la media, la varianza, entre otros. Ubidots ofrece seguridad en todos los procesos de intercambio de datos, mediante el uso de protocolos de cifrado y robustos métodos de autenticación.

5. Configuración del sistema

El sensor DHT-11 y el pluviómetro RM52203 se integran a la placa ESP32 mediante la conexión a sus pines de entrada configurados durante la programación del dispositivo.

El ESP32 se configuró de tal manera que utilizara su módulo WiFi para la conexión con un punto de acceso instalado en una sala de un hogar doméstico, toda vez que el prototipo se probó midiendo variables climatológicas en el patio de un hogar ubicado en la ciudad de Barranquilla. El punto de acceso con conexión a Internet tiene la capacidad de enviar los datos a la plataforma Ubidots donde son presentados para que el usuario los observe. El módulo ESP32 se programó mediante el IDE de Arduino, para lo cual fue necesaria la instalación de un complemento en la aplicación, que le permite a la IDE trabajar con el hardware seleccionado. Para llevar a cabo las pruebas se estuvieron enviando los datos medidos por los sensores a la plataforma Ubidots, donde fueron desplegados en un dashboard para que el usuario tenga acceso a ellos. En la Figura 5 se presenta el diagrama general con la integración de las plataformas.



Figura 5 – Integración de las plataformas

6. Resultados

La programación en la ESP32 se implementó por medio del entorno de desarrollo de Arduino IDE, el cual tiene una interfaz de desarrollo para ingresar por medio de la consola el ingreso del código fuente que realizar la conexión con servidor en la nube.

```
/* Variables de Temperatura y Humedad a
```

```
Ubidots a través del protocolo HTTP..*/
```

```
/******
```

```
*Libreria de ubidots para ESP8266
```

```
*****/
```

```
#include "Ubidots.h"
```

```
/******
```

```
* Definir instancias y constantes
```

```
*****/
```

```
const char* UBIDOTS_TOKEN = "-----"; //Ingresa aquí tu Ubidots TOKEN
```

```

const char* WIFI_SSID = "----"; //Ingresa aquí tu SSID de tu Wi-Fi
const char* WIFI_PASS = "----"; //Ingresa aquí tu contraseña de Wi-Fi
Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN, UBI_HTTP);
/*****
* Define instancias del DHT11
*****/
#include <DHT.h> //Cargamos la librería DHT
#define DHTTYPE DHT11 //Definimos el modelo DHT11
#define DHTPIN 2 //Se define el pin para conectar el sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE, 11);
/*****
*Funciones principales
*****/
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Se inicia la comunicación serial
  dht.begin();
  ubidots.wifiConnect(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
}
void loop()
{
  float hum = dht.readHumidity(); //Se lee la humedad
  float tem = dht.readTemperature(); //Se lee la temperatura
  //Se imprimen las variables
  Serial.println(hum);
  Serial.println(tem);
  //Añade las variables para ubidots con la lectura de "Temperatura" y "Humedad"
  ubidots.add("Temperatura", tem);
  ubidots.add("Humedad", hum);
  // Enviará datos a una etiqueta de dispositivo que coincida con el ID del dispositivo
  ubidots.send();

```

```
delay(2000);  
}
```

A continuación, en la Figura 6 se presentan algunas de las imágenes obtenidas del dashboard con la información climatológica medida con los sensores seleccionados para el caso de la temperatura y las precipitaciones.



Figura 5 – Dashboard Monitoreo climático

7. Conclusión

El tema de la agricultura de precisión, importante en los países en vía de desarrollo para conseguir superar condiciones de pobreza, aumentando su productividad agraria, es un tema de reciente figuración en el campo de la investigación científica y tecnológica. Las primeras publicaciones datan de finales de los años 90s, y sólo superado el año 2010 se evidencio un incremento apreciable de trabajos de investigación relacionados con el tema. Se ha visto a lo largo de esta revisión las necesidades que tiene el sector agrícola de vincular tecnología en la realización de sus actividades, permitiendo una mejor gestión de los procesos productivos del campo, soportando las decisiones de los productores en criterios más objetivos que la mera experiencia, como sucedía hasta hace pocos años. El sistema de monitoreo se logró hacer en un ambiente simulado dentro de la Universidad de la Costa en el Laboratorio de redes del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, toda esta implementación termino en la visualización de las variables en tiempo real, lo que permitirá a los usuarios finales saber sobre las condiciones climáticas.

Referencias

- Abd El-Kader, S. M. (2020). Laying the foundations for an IoT reference architecture for agricultural application domain. *IEEE Access*, 8, 190194-190230. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3031634>
- Aguilar, J., García, R., Toro, M., Pinto, A., & Rodríguez, P. (2020). A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826>
- Alfred, R., Obit, J. H., Chin, C. P. Y., Havaluddin, H., & Lim, Y. (2021). Towards paddy rice smart farming: A review on big data, machine learning, and rice production tasks. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069449>
- Ali, J. (2012). Factors affecting the adoption of information and communication technologies (ICTs) for farming decisions. *Journal of Agricultural and Food Information*, 13(1), 78–96. <https://doi.org/10.1080/10496505.2012.636980>
- Amanullah, M. A., Habeeb, R. A. A., Nasaruddin, F. H., Gani, A., Ahmed, E., Nainar, A. S. M., Akim, N. M., & Imran, M. (2020). Deep learning and big data technologies for IoT security. *Computer Communications*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.01.016>
- Arsovski, Z., Lula, P., & Đorđević, A. (2016). Impact of ICT on quality of life.
- Bankole, F. O., Shirazi, F., & Brown, I. (2011). Investigating the impact of ICT investments on human development. In *EJISDC* (Vol. 48). <http://www.ejisdc.org>
- Bhatia, G., Joshi, N., Iyengar, S., Rajpal, S., & Mahadevan, K. (2021). Crop Prediction Based on Environmental Conditions and Disease Prediction. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 195. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7078-0_31
- Biradar, H. B., & Shabadi, L. (2017). Review on IOT based multidisciplinary models for smart farming. *RTEICT 2017 - 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, Proceedings*, 2018-Janua, 1923–1926. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256932>
- Bouachir, W., Ihou, K. E., Gueziri, H. E., Bouguila, N., & Belanger, N. (2019). Computer Vision System for Automatic Counting of Planting Microsites Using UAV Imagery. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2923765>
- Bula, A. (2020). Importancia de la Agricultura en el Desarrollo.
- Cecinati, F., Moreno-Ródenas, A. M., Rico-Ramirez, M. A., ten Veldhuis, M. C., & Langeveld, J. G. (2018). Considering rain gauge uncertainty using kriging for uncertain data. *Atmosphere*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/atmos9110446>
- de la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Martínez, J., Díaz, G., & Miranda, C. (2018). Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.10.018>

- Dobrescu, R., Merezeanu, D., & Mocanu, S. (2019). Context-aware control and monitoring system with IoT and cloud support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.005>
- Gašparović, S. (2019). Impact of ICT on some segments of everyday life of highschool population of the city of Zagreb. *IJRAR- International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(2), 62–65.
- Ge, X. Y., Ding, J. L., Wang, J. Z., Sun, H. L., & Zhu, Z. Q. (2020). A New Method for Predicting Soil Moisture Based on UAV Hyperspectral Image. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi/Spectroscopy and Spectral Analysis*, 40(2). [https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2020\)02-0602-08](https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2020)02-0602-08)
- Gopinath, R. (2023). Perception of ICT in farming practices with special reference to e-commerce in agriculture. *IJRAR-International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6. <http://ijrar.com/>
- Hernandez, R. M. (2017). Impact of ICT on education: Challenges and perspectives. *Propósitos y Representaciones*, 5(1), 325–347. <https://doi.org/10.20511/pyr2017.v5n1.149>
- Khan, M. A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.022>
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91(October), 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Kocian, A., & Incrocci, L. (2020). Learning from Data to Optimize Control in Precision Farming. *Stats*, 3(3). <https://doi.org/10.3390/stats3030018>
- Marwa, M. E., Mburu, J., Oburu, R. E. J., Mwai, O., & Kahumbu, S. (2020). Impact of ICT based extension services on dairy production and household welfare: The case of iCow service in Kenya. *Journal of Agricultural Science*, 12(3), 141. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n3p141>
- Miller, G. A., Hyslop, J. J., Barclay, D., Edwards, A., Thomson, W., & Duthie, C. A. (2019). Using 3D Imaging and Machine Learning to Predict Liveweight and Carcass Characteristics of Live Finishing Beef Cattle. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00030>
- Minagricultura. (2018). *Un Campo para la Equidad: Política Agropecuaria y de Desarrollo Rural*.
- Mohammad El-Basioni, B. M., & Abd El-Kader, S. M. (2020). Laying the foundations for an IoT reference architecture for agricultural application domain. *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3031634>

- Mohamad Noor, M. B., & Hassan, W. H. (2019). Current research on Internet of Things (IoT) security: A survey. *Computer Networks*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.11.025>
- Newase, A. D., Sheetlani, J., Sai, S., & Patil, R. D. (2017). A literature review on impact of information and communication technology tools on rural society of India. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 8(3), 235–240.
- Oussous, A., Benjelloun, F. Z., Ait Lahcen, A., & Belfkih, S. (2018). Big Data technologies: A survey. In *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30, (4). <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.06.001>
- Panesar, G. S., Venkatesh, D., Rakhra, M., Jairath, K., & Shabaz, M. (2021). Agile software and business development using artificial intelligence. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(2).
- Parra-Peña, R., Puyana, R., & Yepes-Chica, F. (2021). Análisis de la productividad del sector agropecuario en Colombia y su impacto en temas como: encadenamientos productivos, sostenibilidad e internacionalización, en el marco del programa Colombia más competitiva.
- Punchihewa, D. J., & Wimalaratne, P. (2010). Towards an ICT enabled farming community. *E-Governance in Practice, India* (pp. 201–207). <https://www.icta.lk>
- Sidhu, S., Mohd, B. J., & Hayajneh, T. (2019). Hardware security in IoT devices with emphasis on hardware trojans. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/jsan8030042>
- Thangaraju, G., Agnes, X., & Rani, K. (2016). A study to improve the organic farming and the impact of ICT in organic agriculture with special reference to Perambalur district in Tamilnadu (Data analysis with K-means clustering algorithm in datamining). *International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics*, 20.
- UNGRD. (2021). Sistema de Alerta Temprana. Retrieved from <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/SAT.aspx>
- Unal, Z. (2020). Smart farming becomes even smarter with deep learning - A bibliographical analysis. *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000175>
- Vergara-Díaz, O., Kefauver, S., Araus, J. L., & Aranjuelo, I. (2020). Development of novel technological approaches for a reliable crop characterization under changing environmental conditions. *NIR News*, 31(7–8). <https://doi.org/10.1177/096033602097874>
- Wei, H. E., Grafton, M., Bretherton, M., Irwin, M., & Sandoval, E. (2021). Evaluation of point hyperspectral reflectance and multivariate regression models for grapevine water status estimation. *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163198>