



**Diseño e implementación de una estación meteorológica prototipo empleando tecnología IoT para la visualización y análisis de datos en el cultivo del arroz.**

**Sebastián Guarnizo Perdomo**

20441629283

**Lina María Osorio Silva**

20441614387

**Universidad Antonio Nariño**

**Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica**

**Neiva, Colombia**

**2021**

**Diseño e implementación de una estación meteorológica prototipo empleando tecnología IoT para la visualización y análisis de datos en el cultivo del arroz.**

**Sebastián Guarnizo Perdomo**

**Lina María Osorio Silva**

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Electrónico**

**Director (a):  
Ph.D. Francisco M. Fernández Periche**

**Línea de Investigación:  
Sistemas de Control**

**Universidad Antonio Nariño**

**Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica**

**Neiva, Colombia**

**2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

El trabajo de grado titulado  
Diseño e implementación de una estación meteorológica prototipo empleando tecnología  
IoT para la visualización y análisis de datos en el cultivo del arroz.

Cumple con los requisitos para optar  
Al título de Ingeniero Electrónico.



---

Firma del Tutor



Firma Jurado



---

Firma Jurado

## Contenido

<b>Introducción</b> .....	11
Planteamiento del Problema.....	13
Objetivo General .....	16
Objetivos Específicos.....	16
Justificación.....	17
<b>1. Marco Teórico</b> .....	19
1.1 Variables Meteorológicas en el Cultivo del Arroz.....	19
1.2 Sistema de comunicación .....	20
1.3 Visual Studio Code.....	22
1.4 Estado del Arte.....	23
<b>2. Diseño Metodológico</b> .....	26
2.1 Fase 1: Determinación de Parámetros .....	26
2.1.1 Sensores.....	27
2.1.2 Sistemas de comunicaciones .....	31
2.1.3 ThingSpeak.....	32
2.2 Fase 2: Diseño y construcción de la estación meteorológica. ....	34
2.3 Fase 3: Evaluación. ....	42
2.4 Fase 4: Validación envío de alertas.....	43
<b>3. Resultados y análisis de resultados</b> .....	44
<b>4. Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	53
<b>5. Referencia Bibliográfica</b> .....	56
<b>6. Anexos</b> .....	59

## Lista de Figuras

Figura 1. Etapas del Cultivo del Arroz.....	12
Figura 2. Red Estaciones Meteorológicas de Fedearroz.....	14
Figura 3. Captura de pantalla Visual Studio Code. ....	23
Figura 4. Modelos de Estaciones Meteorológicas. ....	24
Figura 5. Ubicación Geográfica de la finca “San Gabriel”. ....	26
Figura 6. Módulo UC20. ....	31
Figura 7. Comunicación ThingSpeak – Matlab.....	32
Figura 8. API KEYS.....	33
Figura 9. Conexiones de la estación del gabinete de potencia. ....	37
Figura 10. Configuración del DataLogger de la estación con los sensores.....	37
Figura 11. DataLogger.....	42
Figura 12. Datos de Fedearroz y Cenigaa.....	42
Figura 13. Envío de alertas. ....	43
Figura 14. Prototipo de estación meteorológica final.....	44
Figura 15. Diagrama de flujo del programa de la estación meteorológica.....	45
Figura 16. Campos de temperatura y humedad. ....	48
Figura 17. Campo de velocidad del viento. ....	49
Figura 18. Humedad vs Temperatura. ....	49
Figura 19. Histograma de temperatura y humedad.....	50
Figura 20. Comportamiento de las estaciones de Cenigaa, Fedearroz y prototipo. ....	51
Figura 21. Comportamiento de la radiación solar. ....	52

## Lista de tablas

Tabla 1. Comandos AT.....	21
Tabla 2. Comandos para módulos GSM.....	21
Tabla 3. Sensores de temperatura y humedad. ....	28
Tabla 4. Sensores de presión barométrica. ....	29
Tabla 5. Anemómetros y dirección del viento.....	30
Tabla 6. Componentes. ....	34
Tabla 7. Cálculos panel solar.....	36
Tabla 8. Función del Nano-arduino .....	59
Tabla 9. Lectura de los sensores. ....	60

## Dedicatoria

Durante el camino recorrido, descubrimos que hay cosas en las que innegablemente somos buenos, reconocimos habilidades y destrezas que jamás pensamos que existieran en nosotros, descubrimos la importancia del trabajo en equipo, que el otro si importa y que si se puede luchar por un ideal. Afrontamos un periodo inhóspito, catalogado como uno de los más difíciles de la humanidad, lleno de adversidades e incógnitas que por un instante nos hicieron pensar que no lo lograríamos e incluso que podríamos fallecer.

Dedicamos nuestro trabajo integral de grado primero a Dios, por permitirlo y estar siempre con nosotros, aun en los momentos más difíciles, nos dio la salud y la fuerza para culminar.

A Celeste, nuestra hija por convertimos en padres y darnos una razón muy poderosa para luchar, con su inocencia, amor y ternura nos motivaban cada día alcanzar este sueño.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional, sacrificio, amor, entrega y honradez.

A nuestros hermanos (as), por su importante compañía durante todos estos años.

A toda nuestra familia, por sus oraciones y ánimos constantes imprescindibles en este proceso

A nuestros docentes, por transmitirnos sin reserva alguna todos sus conocimientos, por inculcarnos valores que hoy nos convierte en excelentes ingenieros.

Finalmente, a nuestro Director Francisco M. Fernández Periche, quien con su gran ética y consejos nos permite culminar con esta historia con éxito.

## **Agradecimientos**

Queremos agradecer de todo corazón a Dios por regalarnos la salud y el don de la vida.

A nuestras familias por sus bendiciones, su ejemplo a seguir y su apoyo incondicional.

A nuestra hija porque nos une como familia, nos enseña a donarnos y nos inspira a crecer como personas.

A los funcionarios administrativos y docentes de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva, que con gran paciencia supieron dejarnos un poco de sus conocimientos para hacer realidad nuestra meta

A nuestro amigo e Ingeniero Francisco Maximiliano Fernández Periche, no solo por su aporte a la realización de esta tesis, sino por lo ofrecido durante nuestra carrera universitaria, por inculcarnos valores y formarnos con gran profesionalismo.

## Resumen

En Colombia el arroz es considerado un producto de gran importancia económica. De la producción nacional, el Departamento de Huila ocupa el 10% del área sembrada a través de cultivos mecanizados.

Se estima que alrededor de 15 mil hectáreas han sido afectadas por lluvias de una forma u otra, y por sequias que no fueron previstas a tiempo por la ausencia del conocimiento oportuno del comportamiento de ciertas variables meteorológicas tales como: la temperatura ambiente, humedad relativa, presión barométrica, temperatura del suelo y su conductividad por parte de los agricultores, generando significativas pérdidas por desconocimiento de las mismas.

En el presente trabajo se realizó un prototipo de estación meteorológica que permite monitorear las variables anteriormente mencionadas que influyen en el cultivo del arroz en la finca “San Gabriel” del corregimiento del Juncal.

Aprovechando las ventajas de los sistemas de comunicación digital y mediante la integración a un sistema IoT es posible la obtención, la visualización en la estación y análisis de variables en el ThingSpeak de dichas variables meteorológicas.

**PALABRAS CLAVES:** Estación meteorológica, arduino, energía solar, Internet de las cosas (IoT), ThingSpeak.

### **Abstract**

In Colombia rice is considered a product of great economic importance. Of the national production, the Department of Huila occupies 10% of the area planted through mechanized crops.

It is estimated that around 15 thousand hectares have been affected by rainfall in one form or another, and by droughts that were not foreseen in time by the lack of timely knowledge of the behavior of certain meteorological variables such as: ambient temperature, relative humidity, barometric pressure, soil temperature and its conductivity by farmers, generating significant losses due to ignorance of them.

In the present work the creation of a prototype weather station was carried out allowing to monitor the above mentioned variables that influence the rice cultivation in the farm "San Gabriel" of the municipality of Juncal.

Taking advantage of the advantages of digital communications systems and through the integration into an IoT system, it is possible to obtain, visualize in the station and analyze variables in the ThingSpeak of said meteorological variables.

The work was carried out in 4 stages, each linked to the fulfillment of the objectives of the work.

**KEYWORDS:** Weather station, arduino, solar power, internet of things (IoT), ThingSpeak.

## **Introducción**

El cambio climático ha generado grandes efectos en la agricultura, alcanzado una disminución hasta el 60% en la productividad, generando grandes pérdidas económicas para los agricultores. En el año 2018 el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) recomendó a los productores imponer acciones preventivas para hacerle frente a este fenómeno y así evitar un mayor impacto en la producción tanto agrícola como ganadera a nivel nacional (ICA, 2018).

Según (Ordaz, Mora, Acosta, Serna & Ramírez 2010), el cambio climático tiene un impacto importante en la agricultura de todo el mundo, por sus altas temperaturas, humedad relativa, presión barométrica. Debido a las altas temperaturas en el arroz, produce un menor peso y mala calidad en el grano, incrementando las plagas y enfermedades. Todo este problema lleva a un mayor costo en producción y que su rendimiento sea menor. Estos autores también afirman, cuando la temperatura se eleva en 4 °C, es decir para que la semilla germine requiere un mínimo de 10 a 13°C de temperatura, estimándose su temperatura óptima entre 30 y 35°C. Cuando supera los 40 °C, genera estrés en la planta y afecta la

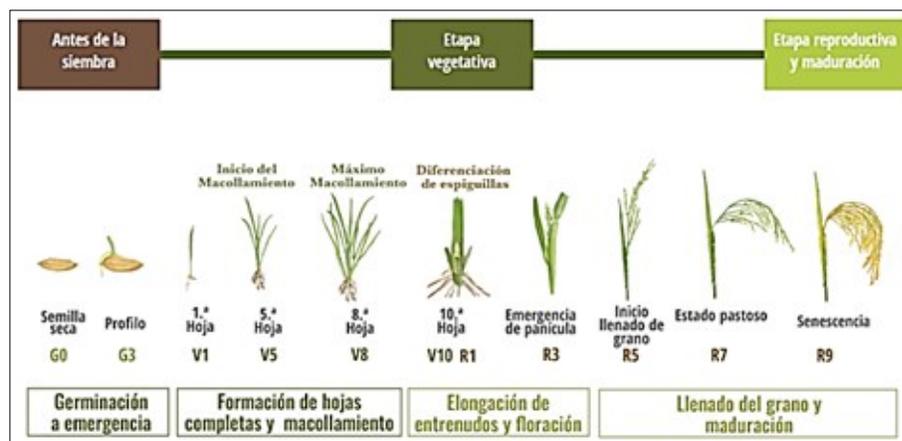
productividad y fertilidad de los suelos, ya que van a tener altas pérdidas de agua por evaporación originando sequías en los suelos, requiriendo una mayor eficiencia en el uso del agua de riego o lluvia. Otro parámetro que se ve afectado es la concentración de carbono en el suelo, por lo que es necesario de un manejo adecuado de fertilizantes en el agua y suelo.

Los arrozeros en Colombia, no cuentan con estaciones meteorológicas que les permita conocer las variables climáticas para mejorar la productividad de sus cultivos y poder determinar los efectos climáticos sobre los cultivos.

Las condiciones meteorológicas son importantes porque influyen, no solamente, en el crecimiento y desarrollo de la planta de arroz, si no también, en la ejecución y la efectividad de las labores agronómicas, es decir, influyen en la productividad del cultivo. Sin embargo, no siempre influyen de la misma manera, esto depende de la etapa del cultivo.

Figura 1.

*Etapas del Cultivo del Arroz*



Nota: La imagen se tomó de la página de Fedearroz sección Escoja su etapa.

Generalmente el desarrollo de la planta de arroz, se realiza de forma empírica por parte de los pequeños y medianos productores, debido a la poca tecnificación del agro

colombiano es muy limitado el acceso a herramientas tecnológicas como apoyo al desarrollo de estas labores. Las estaciones meteorológicas son una estrategia que comprende la producción, transformación, y transferencia de conocimiento e información meteorológica para apoyar la toma de decisiones en el manejo del cultivo del arroz.

En el presente proyecto se presenta el diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica empleando tecnología IoT (Internet of Things) la cual incorpora sensores, software y otras tecnologías que permite visualizar y analizar la información meteorológica en tiempo real en el cultivo del arroz de la finca “San Gabriel” del corregimiento del Juncal y poder tomar decisiones.

Colombia, a diferencia de otras partes del mundo, donde existen diferentes tipos de iniciativas relacionadas con información agroclimática, cuenta con una oferta limitada de este tipo de servicios climáticos.

Los pequeños y medianos productores de arroz realizan esta actividad de forma manual sin la intervención de dispositivos meteorológicos y/o electrónicos debido a los altos costos de los mismos, sin embargo, se han adelantado varios proyectos con el propósito de ayudar al arrocero a conocer las variables climáticas para mejorar la productividad de sus cultivos y poder determinar los efectos climáticos sobre el plantío; a continuación, se nombran algunos de estos.

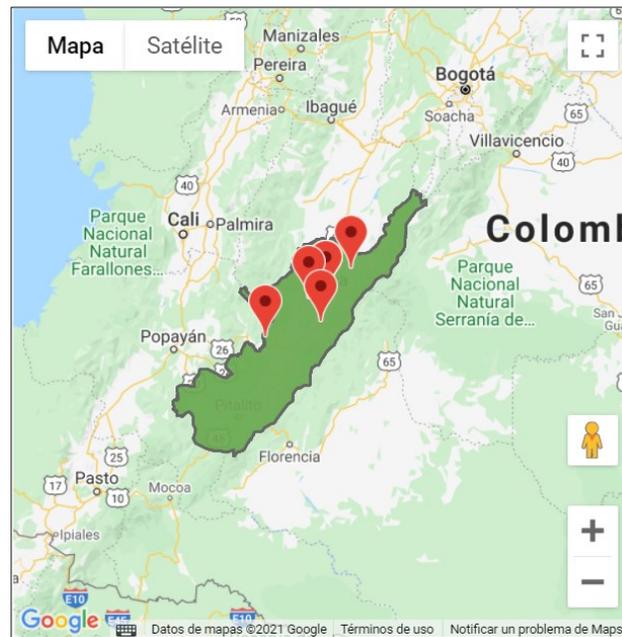
## **Planteamiento del Problema**

En Colombia, (Fedearroz, clima.fedearroz.com.co, 2021), cuenta con una red de estaciones meteorológicas de monitoreo, ubicadas en las diferentes zonas arroceras del país, las siembras de ensayo que se llevan a cabo en los centros experimentales, los monitoreos de

cosecha y áreas, y la red de estaciones meteorológicas de IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), cuya información es de libre acceso.

Figura 2.

*Red Estaciones Meteorológicas de Fedearroz.*



Nota: La imagen se tomó de la página de Fedearroz sección ¿Va a llover?

El servicio climático de Fedearroz estima las producciones del grano en función de la oferta ambiental prevista, de las posibles fechas de siembra y de las variedades de semilla. Estas proyecciones se obtienen mediante el modelo de cultivo de arroz “Oryza2000”, el cual fue ajustado para las diferentes variedades de Fedearroz.

Las estaciones meteorológicas que se encuentran instaladas para poder hacer seguimiento al comportamiento climático de la región del Huila mediante el IDEAM se consideran una iniciativa loable, pero con limitada efectividad, pues los agricultores no cuentan con estos datos debido a los altos costos de su implementación, y además las informaciones disponibles no ofrecen un análisis de previsión.

Por otra parte, aunque el acceso a otras soluciones del mercado, pudieran considerarse, sería necesario tener en cuenta también los diferentes gastos en los que obligatoriamente hay que incurrir, y la manera en cómo garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Para considerar un diseño propio, será necesario ajustarse a la realidad del lugar objeto de estudio. Un diseño que reúna determinadas características deberá estar relacionado con una actualización de las soluciones tecnologías mecánicas, eléctricas y electrónicas vinculadas a este tipo de equipamiento.

Dado que, en la revisión bibliográfica realizada, varias estaciones meteorológicas cuentan con comunicación WI-FI, pero carecen de tecnología IoT y viceversa (Savić & Radonjić, 2015), (Kusriyanto & Putra, 2018), una propuesta de integración de estas dos tecnologías permitiría tener información actualizada en tiempo real y con análisis de futuros comportamientos.

Considerando todos estos elementos, se plantea como problema de investigación la siguiente pregunta: ¿El diseño de una estación meteorológica integrada a la tecnología IoT permitiría el análisis de variables atmosféricas que impide a los agricultores del sur del Huila contar con un apoyo tecnológico para el desarrollo adecuado del cultivo de arroz?

## **Objetivo General**

Diseñar e implementar un prototipo de estación meteorológica empleando tecnología IoT permitiendo la visualización y el análisis de la información meteorológica en tiempo real en el cultivo del arroz de la finca “San Gabriel” del corregimiento del Juncal con el objetivo de poder tomar decisiones.

## **Objetivos Específicos**

1. Determinar los requerimientos necesarios en la construcción del prototipo de la estación meteorológica para medir las variables como temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, altitud y velocidad del viento.
2. Construir el prototipo de estación meteorológica que permita medir las variables establecidas en el cultivo del arroz.
3. Evaluar las mediciones de la estación meteorológica tomando como patrón las medidas proporcionadas de las variables de una estación meteorológica que opere en la región y/o de datos suministrados por Fedearroz.
4. Validar el funcionamiento del prototipo de la estación meteorológica en el envío de alertas surgidas del análisis de datos realizado con la tecnología IoT, ThingSpeak.

## **Justificación**

La importancia de este proyecto se debe a que las estaciones meteorológicas que se encuentran instaladas para poder hacer seguimiento al comportamiento climático de la región del Huila mediante el IDEAM y Fedearroz cuentan con limitada efectividad, pues los agricultores no tienen la información recopilada debido a los altos costos de su implementación. Además, la información disponible no ofrece análisis a la previsión frente a los posibles problemas que pueda afrontar como lo son: cambios de temperatura, cambios en el PH o plagas presentes en el mismo (Ashrafa, Loftisa & Hubbardb, 1997).

Diversos investigadores han intentado implementar sistemas capaces de obtener datos de condiciones climáticas específicos, eficientes y fiables con el mínimo esfuerzo humano y de manera libre. Estos dispositivos deben poder calibrarse para adaptarse a la latitud y altitud donde se colocan, ya que solo de esta forma pueden informar de datos fiables para la investigación o el diseño de aplicaciones industriales (Munandar, Fakhurroja, Rizqyawan, Pratama, Wibowo & Anto,2017).

Así mismo, existen plataformas tales como WeatherLink Live™ que requiere la suscripción a uno de los planes anuales disponibles para ver datos históricos y crear gráficos personalizados de forma online de tal manera que se convierte en un obstáculo dado que los agricultores no cuentan con la formación que le permita el manejo de esta herramienta.

Existen diferentes dispositivos comerciales y sensores industriales que se pueden utilizar para este fin: Controllinos, PLC Siemens©, transmisores inalámbricos de temperatura y humedad, anemómetros controlados por Wi-Fi, etc. Dado que es de vital importancia para

el gremio de los arroceros realizar un seguimiento de las variables de su cultivo en cada una de las etapas.

Las soluciones de IoT (Internet of Things o Internet de las Cosas) en el sector de la agricultura son de gran ayuda para su digitalización y mejora de la productividad agrícola, además de que supone un cambio en la manera de trabajar en los cultivos, con el objetivo de tecnificar procesos, optimizar recursos, reducir gastos y aumentar la rentabilidad y la producción (Mestre, Ruano, Duarte, Silva, Khosravani, Pesteh, Ferreira & Horta, 2019).

En este nuevo escenario los avances realizados hace 50 años ya no son suficientes. Los métodos tradicionales no permiten solucionar los problemas a los que se enfrenta la agricultura por eso es importante conocer los datos de las variables meteorológicas y debido a que la tecnología IoT le permite ayudar a los arroceros a tomar decisiones que beneficien sus cultivos (Izquierdo, 2017).

Dado que, en la revisión bibliográfica realizada, varias estaciones meteorológicas cuentan con comunicación 2G (Gaviria & Muñoz, 2018), y en la actualidad estas estaciones han entrado en falta de uso, por el desmonte de este tipo de tecnología, es de vital importancia el desarrollo a este tipo de estaciones con tecnología 3G.

## **1. Marco Teórico**

En esta sección explica el significado de los conceptos principales, involucrados para desarrollar el tema de investigación actual.

### **1.1 Variables Meteorológicas en el Cultivo del Arroz**

El arroz es un alimento que en Colombia es de mucha importancia socioeconómica por ser uno de los alimentos básicos para los colombianos, por su alto índice proteico.

Para que el arroz tenga una muy buena efectividad necesita de suficiente agua durante todo su ciclo de desarrollo que varía de 3 a 5 meses. Aparte de esto los suelos deben de tener una buena retención de agua y con nutrientes para evitar las plagas y enfermedades del cultivo.

#### **Temperatura**

Para una buena germinación y crecimiento fuerte de las hojas y raíces, su temperatura debe de estar entre los 24°C a 32°C, una temperatura superior a 32°C hace crecer la planta

rápidamente con tejidos blandos, esto produce que la planta esté sensible a los ataques de enfermedades.

Con un clima lluvioso y temperaturas bajas ( $<20^{\circ}\text{C}$ ), se afecta la polinización y la esterilidad de las espiguillas, es decir una baja producción de grano.

## **1.2 Sistema de comunicación**

Es una infraestructura que permite el transporte de información de un lugar a otro, con el fin de proveer a sus usuarios diferentes servicios como: telefonía fija, móvil, transmisión de datos, localización de personas, roaming internacional, etcétera.

Un sistema de comunicaciones puede describirse fácilmente mediante tres elementos básicos; un transmisor, el cual se encarga de generar la señal que se desea y acoplarla de tal forma que pueda viajar a través del canal, mediante procedimientos como modulación, filtrado, codificación, etc.; un medio de transmisión, el cual será el canal mediante el cual la señal va a viajar, y puede ser desde fibras ópticas, cables coaxiales, hasta el mismo aire y finalmente un receptor, que realiza el procedimiento inverso del transmisor con la finalidad de reconstruir la señal y que esta sea lo más parecida a la original (Rodríguez, 2017).

### **Comandos AT**

Dennis Hayes diseñó un lenguaje de programación con comandos para su módem Smartmodem 300, el cual se basaba en comandos para establecer los parámetros de configuración y conexión, al ser un comando de fácil uso se implementó en varios sistemas más, hasta hoy en día.

Tabla 1.

*Comandos AT.*

Comando para <b>Probar</b>	AT+<x>=?	Este comando retorna la lista de parámetros y rangos de valores establecidos con el comando correspondiente para escribir o por procesos internos.
Comando para <b>Leer</b>	AT+<x>?	Este comando retorna el valor establecido actual del parámetro o parámetros.
Comando para <b>Escribir</b>	AT+<x>=<...>	Este comando establece los parámetros que se pueden definir por el usuario.
Comando para <b>Ejecutar</b>	AT+<x>	Este comando lee parámetros que no se pueden modificar, afectados únicamente por el dispositivo.

Nota: Quectel 2010.

Para combinar uno o más comandos AT en una sola línea, no se necesita añadir el prefijo «AT» cada vez que colocamos un comando, basta una sola vez al comienzo, pero es muy importante colocar el punto y coma «;» para hacer de delimitador de cada comando.

### **Comandos AT más utilizados para módulos GSM**

En la siguiente tabla se muestran los comandos más utilizados.

Tabla 2.

*Comandos para módulos GSM.*

Comando	Descripción
AT&F	Restablecer los parámetros de fábrica
AT&V	Mostrar la configuración actual

AT&W	Guardar los parámetros establecidos en el perfil del usuario
AT+GMI	Solicitar la información del fabricante
AT+GSN	Solicitar el número identificador IMEI del dispositivo (International Mobile Equipment Identity)
AT+GMM	Obtener el modelo del dispositivo
AT+GMR	Obtener la versión del firmware del dispositivo
A/	Repite el último comando
ATA	Responde la llamada entrante
ATD<<N>	Llama al número guardado en memoria
ATDL	Llama el último teléfono marcado
ATH	Se desconecta de la conexión actual
ATL	Establecer el volumen de la bocina monitor
ATT	Establecer la llamada de pulsos

Nota: Quectel 2010.

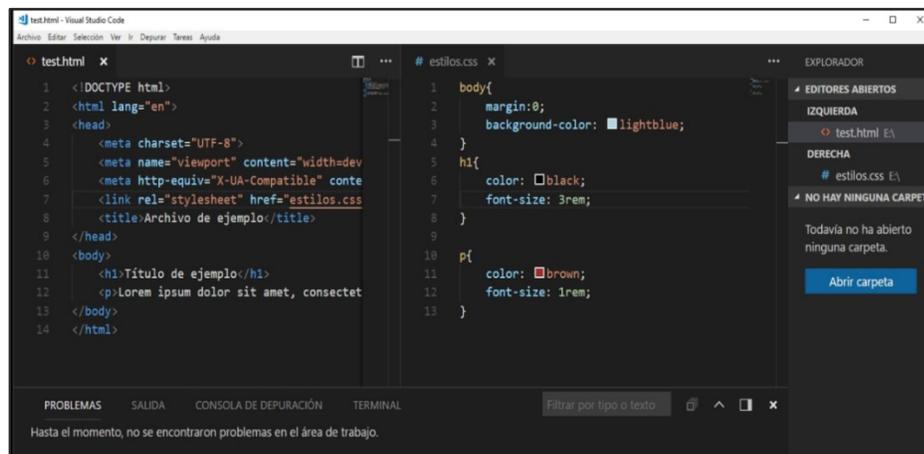
### 1.3 Visual Studio Code

Visual Studio Code se lanzó con la licencia MIT y su código fuente fue publicado en GitHub por Microsoft el 29 de abril de 2015.

El editor mezcla una optimización de un editor moderno, navegación enriquecida y experiencia de depuración incorporada, todo esto sin la obligación de un IDE completo. También cuenta con herramientas como Debug, opciones para actualización en tiempo real en la vista del navegador, se compila en vivo para cualquier lenguaje de programación que requiera. A parte de esto opta la opción de configurarlo a nuestro gusto.

Figura 3.

*Captura de pantalla Visual Studio Code.*



Nota: La imagen se tomó de una captura de pantalla.

## 1.4 Estado del Arte

En el 2013 en México D.F, (Rodríguez, 2013), realizó un sistema automático de monitoreo remoto de variables meteorológicas, en donde el autor determina variables meteorológicas por medio de sensores electrónicos diseñando un sistema de adquisición basado en microcontroladores PIC (Mandado, Menéndez, Ferreira & López, 2007), que a su vez procesa y envía los datos recolectados hacia un computador inalámbricamente, que a través de una interfaz gráfica (HMI) presenta los datos al usuario, por medio de redes de segunda generación (2G).

En la ciudad de Barranquilla se desarrolló una alternativa viable, funcional y de bajo presupuesto a las estaciones meteorológicas convencionales, donde se procesan las variables ambientales, tales como temperatura ambiente, humedad relativa, presión barométrica, temperatura del suelo y su conductividad, para la reducción de inundaciones en el área metropolitana (Acosta, 2013).

Figura 4.

*Modelos de Estaciones Meteorológicas.*



Nota: La imagen se tomó Google.

Se conoce que la mayoría de las estaciones meteorológicas convencionales poseen un tamaño considerado de medio a grande e incurren en un alto costo de instalación, que es un factor limitante para los países en desarrollo.

En el 2017, (Jiménez, García, Vera, Jiménez, Ruiz & Molina , 2017), diseñaron un sistema de monitoreo de variables meteorológicas compacto y de bajo costo para poder determinar la disponibilidad de agua de riego, debido a que es una de las principales preocupaciones de la agricultura mediterránea. Se desarrollaron controladores de software

tanto para realizar la adquisición de datos como para enviar las mediciones a través de una red móvil a una aplicación alojada en la nube (Parvez, Saha, Hossain, Hussain, Ghuri, Chowdhury, Rahman, Shuchi, Islam, Hasan & Paul, 2016). Este prototipo gestionó el almacenamiento de las variables en una base de datos relacional estructurada.

En el 2018, (Gómez, Valcuende, Matzarakis & Cárcel, 2018), exploraron la aplicación de los índices de confort biometeorológico PET y UTCI en microespacios urbanos, donde los parámetros ambientales generales de la ciudad no eran válidos y cada espacio debía medirse individualmente, por lo cual el desarrollo de las estaciones meteorológicas fue de vital importancia con características de portabilidad y compactas.

También en el 2018, se desarrolló un prototipo de estación meteorológica portable y económica asequible a los agricultores. Dado que la India es un país agrícola, la mayoría de los agricultores dependen en gran medida de los monzones y la producción agrícola depende del clima. El desarrollo de la estación meteorológica local tuvo problemas con el manejo de las variables en tiempo real basada en IoT para agricultura de precisión, aunque la idea era que proporcionará a los agricultores un medio para automatizar sus prácticas agrícolas (riego, fertilización, cosecha) en el momento adecuado (Math & Dharwadkar, 2018).

Como lo manifiesta, (Kapoor & Barbhuiya, 2019), desde el 2019, se han realizado varios trabajos de investigación sobre el diseño e implementación de estaciones meteorológicas portables y económicas donde se han propuesto diferentes soluciones técnicas para conocer determinados parámetros climáticos y transmitir los datos recolectados a las estaciones terrestres a través de determinados modos de comunicación. Sin embargo, no hay suficientes estudios que muestran las funcionalidades de monitoreo y análisis de datos utilizando las plataformas IoT desde la nube

## 2. Diseño Metodológico

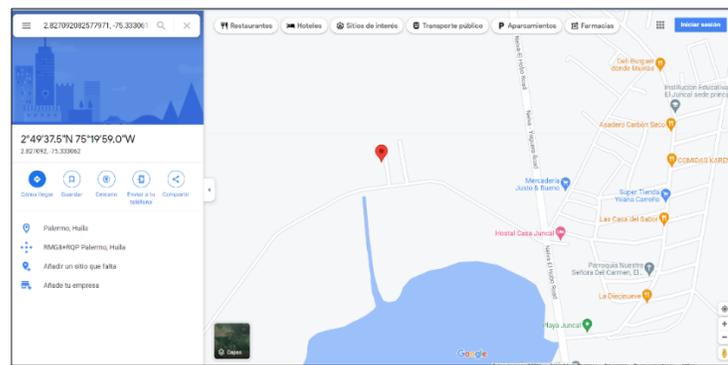
### 2.1 Fase 1: Determinación de Parámetros

#### Lugar

La finca “San Gabriel” se encuentra ubicada a 700 m de la vía principal del Corregimiento el Juncal en el Departamento del Huila. La finca cuenta con concesión de aguas con lo cual surte un terreno de arroz de aproximadamente de 16 hectáreas.

Figura 5.

*Ubicación Geográfica de la finca “San Gabriel”.*



Nota: La imagen se tomó de Google Maps a través de una captura de pantalla.

## **Determinación de parámetros**

Analizada la literatura sobre el cultivo de arroz se determinó que las siguientes variables meteorológicas son las más importantes: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, altitud y velocidad del viento (Khumairoh, Lantinga, Schulte, Suprayogo & Groot, 2018), (Xiaoguang & Shuai 2018), (Bonilla, 2018).

El arroz necesita para lograr una buena germinación un mínimo de 10 a 13°C, considerándose su óptimo entre 30 y 35 °C. Por encima de los 40°C no se produce la germinación (Ruiz, Muñoz, Dell'Amico & Polón 2016). Los porcentajes de humedad relativa deben de estar por encima del 50% (Tovar, Trujillo, Muñoz, Torres & Zárate, 2017).

El arroz puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 2500 metros de altitud, esto quiere decir que puede crecer en áreas donde la temperatura, la longitud del día y la disponibilidad del agua son muy variadas. Cuando el viento sopla con poca velocidad, el rendimiento de la planta aumenta por la turbulencia que se crea en medio de la comunidad de plantas (Degiovanni, Martínez & Motta, 2010).

### **2.1.1 Sensores**

Después de hacer una intensiva revisión bibliografía se optó por escoger los siguientes sensores:

El sensor de temperatura/humedad DHT11, se escogió por tener un rango de medición de temperatura de 0 a 50°C con precisión de  $\pm 2.0$  °C y un rango de humedad de 20% a 90% RH con precisión de 4% H, por ser un sensor digital, con una implementación fácil para cualquier microcontrolador y a su vez por su economía.

- **Sensor temperatura/humedad**

Tabla 3.

*Sensores de temperatura y humedad.*

Nombre	Descripción	Características
HR202	Posee un sensor resistivo lo que permite una alta linealidad y bajo consumo. A su vez posee una salida digital.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3.3 V a 5 V dc.</li> <li>• Potenciómetro para el ajuste de disparo.</li> <li>• Led indicador de alimentación.</li> </ul>
DS18B20	Proporciona mediciones de temperatura en °C de 9 – 12 bits, Su comunicación es a través de un bus de un hilo, es decir solo requiere una línea de datos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3 V a 5 V dc.</li> <li>• Rango de medición: - 55°C a + 100°C.</li> <li>• Precisión: <math>\pm 0.5^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>
LM35DZ	Ofrece una precisión de $\pm \frac{3}{4}$ de grados a escala completa. Gracias a su baja impedancia de salida y linealidad facilita el desarrollo de lectura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 4 V a 30 V dc.</li> <li>• Rango de medición: - 55 °C a +150°C.</li> <li>• Precisión: <math>\pm 0.5^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>
DHT11	Es un sensor integrado de temperatura y humedad. Cuenta con un sensor resistivo de humedad y un componente NTC para la medición de temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3 V a 5.5 V dc.</li> <li>• Rango de medición: 0° a 50 °C de temperatura y de 20% a 90% de humedad relativa.</li> </ul>
AM2301	Monitorea la temperatura y humedad en tiempo real para hogares o espacios al aire libre, puede transmitir datos de formar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3.3 V a 5.2 V dc.</li> </ul>

	inalámbrica a través de aplicación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medición: 40°C a 80°C de temperatura y de 0 a 99.9% pct RH.</li> </ul>
--	-------------------------------------	--

Nota: La tabla es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

- **Sensor de presión barométrica**

Tabla 4.

*Sensores de presión barométrica.*

Nombre	Descripción	Características
BMP180	Se basa en la relación entre presión del aire y la altitud. Posee alta precisión y de bajo consumo de energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3.3 V a 5 V dc.</li> <li>• Rango de precisión: 0.3 a 1.1 bar.</li> </ul>
HD9908T	Se cuenta con un sensor de presión absoluta al rango de presión atmosférica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3 V a 10 V dc.</li> <li>• Protección IP68 para condiciones extremas.</li> <li>• Precisión: <math>\pm 0.01\%</math></li> </ul>
SMP580	Se optimiza la mezcla de aire-combustible, permitiendo reducir el consumo de carburante y emisiones de CO <sub>2</sub> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3 V a 5.5 V dc.</li> <li>• Rango de medición: 40 a 115 kPa.</li> </ul>

Nota: La tabla es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

El sensor de presión barométrica BMP180, se escogió porque mide la altura con relación al nivel del mar, trabaja con la relación entre la presión del aire y la altitud, esto nos

permite el manejo de dos variables con un solo sensor, las cuales son: Presión y Altitud. El sensor nos proporciona una medición desde 300 a 1100 hPa (Hecto Pascal), con una precisión absoluta de hasta 0,03 hPa.

- **Anemómetro y dirección del viento**

Tabla 5.

*Anemómetros y dirección del viento.*

Nombre	Descripción	Características
CV7-V-USB	Está montado sobre un brazo vertical. Es alimentado por un convertidor de tensión via al puerto USB.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 5V y corriente de 0.25 m A.</li> <li>• Rango de transmisión: 4800 Baudios.</li> <li>• Rango: 0.25 a 80 nudos.</li> </ul>
David-7911	Sus componentes soportan 175 millas por hora, pero son sensibles a la brisa ligera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 5V y corrientes de 0.25 m A.</li> <li>• Rango de medición: 1 a 200 mph.</li> <li>• Exactitud: <math>\pm 5\%</math>.</li> </ul>
PCE-WS P	Tiene un sensor de viento robusto, extremadamente resistente y flexible. Está construido con materiales de alta calidad, el cuerpo y las palas son de plástico y los rodamientos de acero inoxidable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de operación: 3 a 24 v y corriente 15 m A.</li> <li>• Rango de medición: 3 a 180 Km/h.</li> <li>• Exactitud: 3% (15 – 180 Km/h).</li> </ul>

Nota: La tabla es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

El sensor anemómetro para medir la velocidad del viento y su dirección es el David-7911, se escogió porque está fabricado con componentes de alta calidad garantizándonos su

buen funcionamiento, para prueba de ellos, estos sensores han sido testeados en un túnel de viento con velocidades mayores a los 200 Km/h.

### 2.1.2 Sistemas de comunicaciones

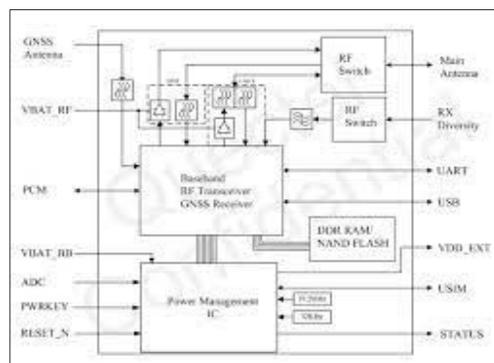
- **Módulo de comunicación UC20**

El Módulo UC20 de QUECTEL trabaja en las redes 3G y 2G, está diseñado para ofrecer cobertura global en redes HSPA+/WCDMA. También es compatible con redes EDGE y GSM/GPRS a través de combinación de múltiples bandas: Dual-Band WCDMA y Quad-Band GSM. Así mismo incluye funciones GPS y GLONASS, que permiten la ubicación del dispositivo de manera satelital logrando mayor rapidez y precisión.

El módulo UC20 tolera un tráfico de datos de hasta 14.4Mbps en descarga y 5.76Mbps en subida. Y una de sus grandes ventajas es que soporta un amplio set de protocolos de internet: PPP, TCP-UDP, FTP, HTTP y así mismo una gran cantidad de interfaces: USB, UART, PCM, ADC.

Figura 6.

*Módulo UC20.*



Nota: Imagen tomada de Manual Uc20 por Sigma Electrónica.

### 2.1.3 ThingSpeak

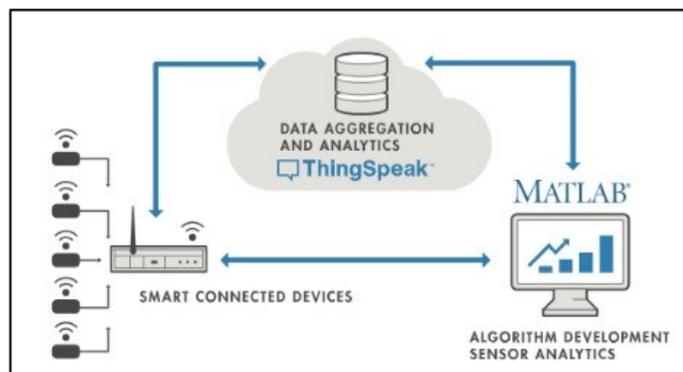
El uso de la tecnología IoT permite recopilar información de varios receptores del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) conectados a Internet, brindando una oportunidad única para obtener información sobre la distribución espacial y temporal. En este proyecto, el sistema de monitoreo de variables climatológicas se realiza mediante una estación meteorológica utilizando ThingSpeak (IoT) (Pasha, 2016).

Las características de ThingSpeak incluyen recopilación de datos en tiempo real, procesamiento de datos, visualización, aplicaciones y complementos.

El corazón de ThingSpeak es el canal ThingSpeak. El canal se utiliza para enviar datos y se almacenará en el propio canal en términos de campos. Cada canal tiene ocho campos para cualquier tipo de datos, tres campos de ubicación y un campo de estado. Si tiene un canal ThingSpeak, puede recorrer los datos del canal y extraer datos del canal.

Figura 7.

*Comunicación ThingSpeak – Matlab.*

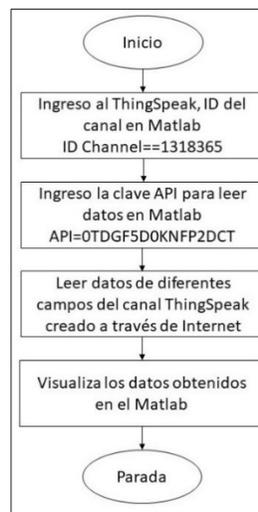


Nota: Imagen tomada de internet Google.

ThingSpeak es un servicio web y un servicio abierto de interfaz de programación de aplicaciones (API) que actúa como una serie de diferentes sensores para controlar los datos basados en la nube, utilizando funciones de transferencia de datos específicas de MATLAB, como la identificación del canal y la clave API del canal (Fig.3 ). Los datos procesados se cargan en la nube mediante el uso de la clave de escritura API “NUUQBICOFFMKDLXT” con la identificación archivada y los intervalos de las entidades archivadas (<https://thingspeak.com/channels/1318365>). Usando la clave de lectura API “0TDGF5D0KNFP2DCT”, los datos del canal se pueden acceder desde cualquier parte del mundo con Internet. Esto reduce no solo el costo del equipo, sino también los costos de energía, además de tener que contratar empleados adicionales para monitorear y mantener esa infraestructura. La Figura 8 muestra el ID de canal único y lee la clave API utilizada en este documento.

Figura 8.

*API KEYS.*



Nota: Imagen tomada de nuestro ThingSpeak.

## 2.2 Fase 2: Diseño y construcción de la estación meteorológica.

Tabla 6.

*Componentes.*

COMPONENTE	VOLTAJE (V)	AMPERIOS (A)	DESCRIPCIÓN
ARDUINO NANO	3.3V	800 mA	Microcontrolador
DHT11	3.5V	2.5 mA	Sensor de temperatura y humedad
BMP180	3,3V	10mA	Sensor de presión atmosférica
Anemómetro	3,3V	3,3 mA	Sensor velocidad del viento
Veleta	3,3V	3.8 mA	Sensor dirección de viento
Pantalla OLED	5V - 3.3V	20mA	Módulo de pantalla OLED Azul de 0,96 pulgadas 128X64
Módulo SD	5V - 3.3V	200A-200mA	Módulo SD para almacenamiento de las variables meteorológicas
UC20	4.3V - 3.3V	610mA	Módulo QUECTEL comunicación 3G/2G
Total corriente		1,649.6 mA	

Nota: La tabla es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

De la información obtenida de los datasheet de los dispositivos a implementar se encontró que los sensores trabajan a 5VDC, con una corriente total de 2 Amperios se puede garantizar su correcto funcionamiento. Con estos valores se pudo determinar el sistema fotovoltaico necesario para la implementación de la estación. Estos consumos son los máximos cuando el sistema está operando. Es decir, que la potencia

es de 4.783W por hora. Es decir, unos 114,8W por día. Al respecto, se puede seleccionar un panel fotovoltaico de 30W. Se calcula el número de paneles solares necesarios para la estación meteorológica, utilizando la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ de paneles solares} = \frac{\text{Energía diaria total demanda por la estación meteorológica}}{\text{Energía diaria generada por un panel}} \quad (2.2.1)$$

La energía diaria generada por un panel solar de 30W durante el día según las especificaciones técnicas, teniendo en cuenta que de noche no se va a poder cargar, se calcula tomando en cuenta la radiación solar del peor mes del año en una ubicación geográfica determinada. La energía diaria generada por la placa se define con la siguiente expresión:

$$E_{panel} = I_{max} * V_{max} * HSP * \eta \quad (2.2.2)$$

Donde:

$E_{panel}$ : Energía diaria producida por un panel  $[\frac{Wh}{dia}]$

$I_{max}$ : Corriente máxima potencia [A]

$V_{max}$ : Voltaje a máxima potencia [V]

$HSP$ : Horas sol pico  $[\frac{KWh}{m^2}]$

$\eta$ : Rendimiento [%]

Tabla 7.

*Cálculos panel solar.*

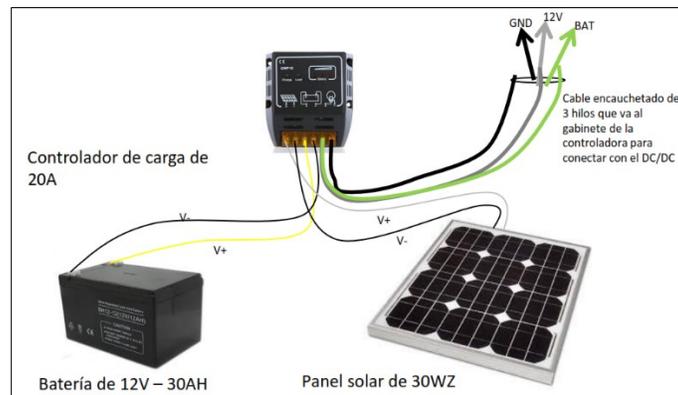
Cálculo del panel solar de 30W	
Corriente a máxima potencia [A]	1,5
Voltaje a máxima potencia [V]	18
H.S.P. [KWh/m <sup>2</sup> ]	4,7
Rendimiento [%]	0,9
Energía diaria producida por el panel [Wh/día]	114,21
No de paneles solares	1,005

Nota: La tabla es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

En total es necesario un panel solar de potencia de 30W y tensión de trabajo de 12V para sostener la demanda eléctrica de la estación meteorológica. Por tal razón se adquiere el panel de marca Tycon Power Systems de 30W. Se decidió que el mejor controlador a utilizar para la realización de este proyecto sería el controlador VizGiz BSV20A, el cual opera en los dos rangos: 12V o 24V, manejando corrientes de hasta 20A, cuenta con regulador de batería de control contra sobrecarga. Con estos datos y teniendo en cuenta los valores obtenidos de la carga, el controlador y el panel solar utilizado se selecciona la batería de 12v de 30Ah, de ciclo profundo, de marca Netion. En la siguiente figura podemos observar la distribución de los dispositivos que entregan la potencia de la estación meteorológica.

Figura 9.

*Conexiones de la estación del gabinete de potencia.*

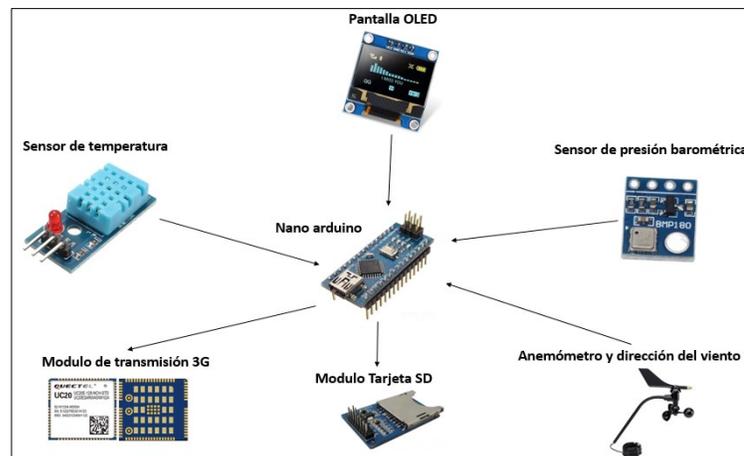


Nota: La imagen es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

Las conexiones del datalogger se pueden ver en la siguiente figura 10. Como se puede observar el corazón del datalogger es una tarjeta nano arduino. La estación está conformada de la siguiente manera:

Figura 10.

*Configuración del DataLogger de la estación con los sensores.*



Nota: La imagen es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

El microcontrolador utilizado es el arduino nano. Este es una placa de desarrollo de tamaño compacta, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P. Este cuenta con 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usados con PWM), 6 entradas analógicas para ser usados como CAD, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo. Trabaja en un rango de voltaje de 5V-3.3V y consume una corriente de 800mA (Nano, 2018).

Las pantallas OLED (Organic light-emitting diode) son uno de los tipos de pantallas disponibles es un tipo de LED en el que la capa emisiva está formada por un compuesto orgánico que emite luz en respuesta a la electricidad. Al igual que el resto de tipos de pantallas, las OLED necesitan un controlador específico que convierte los datos recibidos en señales electrónicas para controlar la pantalla. Operan con voltajes de entre 5.5V a 3V, cuentan con interfaz I2C, con el driver SH1106. Cuenta con una resolución de 128x64 píxeles, un ángulo de visión mayor a 160°, unas dimensiones de 35mm x 33mm x 3mm y un rango de temperatura de trabajo de -30°C hasta 70°C (Huang, Hsiang, Deng & Wu, 2020).

El sensor DHT11 es un sensor de temperatura que me permite obtener también la medida de la humedad relativa. Tiene un rango de medición de humedad: 20%-95% (rango 0 grados a 50 grados) y error de medición de la humedad: +-5%. El rango de medición de temperatura es de: 0 grados a 50 grados y error de medición de temperatura: +-2 grados. Presenta un voltaje de funcionamiento: 3.3v-5 v. Se debe conectar una resistencia pull-up y un LED que nos informa de su funcionamiento (Gay, 2018).

$$R_p = \frac{V_{cc} - V_D}{I_D} = \frac{5V - 0.7V}{2.5mA} \quad (2.2.3)$$

$$R_p = 1.720\Omega$$

El sensor BPM180 es un sensor de presión barométrica ofrece un rango de medición de 300 a 1100 hPa (Hecto Pascal), con una precisión absoluta de hasta 0,03 hPa. Este dispositivo nos permite obtener las mediciones tanto de presión barométrica como de altitud de la estación meteorológica. Este dispositivo se basa en la tecnología piezo-resistiva con robustez EMC, alta precisión y linealidad, así como con estabilidad a largo plazo. Este sensor es compatible con un voltaje entre 1,8 y 3.6VDC. Se ha diseñado para ser conectado directamente a un microcontrolador a través de I2C. Esto permite tener una gran cantidad de dispositivos conectados a través de esta tecnología de comunicación. Se pueden tener hasta 128 dispositivos en el bus I<sup>2</sup>C, ya que un número de 7 bit puede estar de 0 a 127 (Sensortec, 2013).

El sensor anemómetro para medir la velocidad del viento y su dirección es el David-7911 tiene un rango de operación entre 1 a 200 mph, 1 a 173 nudos, 0.5 a 89 m/s, 1 a 322 km/h presentando una exactitud de  $\pm 2$  mph (2 kts, 3 km/h, 1 m/s) o  $\pm 5\%$ . Una herramienta útil para determinar la dirección del viento con un rango de 0° a 360° o 16 puntos de brújula, tiene una exactitud de  $\pm 7^\circ$ . La veleta y el cabezal de control están contruidos de ABS resistentes a la luz ultravioleta. Tiene las siguientes dimensiones 470 mm x 191 mm x 121 mm y pesa 1,3 Kg. Trabajo con voltajes de DC de 5v y corrientes de 0,25 mA. Es decir, que requiere un potenciómetro de calibración de 20K. En la fórmula del Datasheet se tiene:

$$R_c = \frac{V_{cc} - V_D}{I_D} = \frac{5V - 0,7V}{0,25mA} \quad (2.2.4)$$

$$R_c = 11.200\Omega$$

El módulo UC-20 fabricado por Quectel funciona en las redes 3G y 2G proporcionando comunicación por medio de GSM y GPRS, y que incluye las funciones de GPS y GLONASS, permitiendo la ubicación mediante los satélites. Este módulo soporta un tráfico de datos de hasta 14.4Mbps en bajada (downlink) y 5.76Mbps en subida (uplink). El módulo UC-20 está diseñado para ofrecer cobertura global en redes HSPA+/WCDMA. También es completamente compatible con redes EDGE y GSM/GPRS a través de combinación de múltiples bandas: Dual-Band WCDMA y Quad-Band GSM. Soporta un amplio set de protocolos como: el protocolo punto a punto (PPP) (en inglés Point-to-Point Protocol), el protocolo TCP que significa Protocolo de Control de Transmisión y el protocolo UD, que significa Protocolo de datagramas de usuario: un datagrama es lo mismo que un paquete de información. El protocolo UDP funciona de manera similar a TCP, pero elimina todas las cosas de comprobación de errores. Toda la comunicación de ida y vuelta y la capacidad de entrega garantizan la lentitud de las cosas, el protocolo FTP de las siglas de File Transfer Protocol (protocolo de transferencia de archivos). FTP es el conjunto de reglas que los dispositivos de una red TCP/IP (Internet) utilizan para transferir archivos. Cuando usas Internet, en realidad utilizamos una variedad de diferentes protocolos. El protocolo HTTP o protocolo de transferencia de hipertexto (en inglés, Hypertext Transfer Protocol, abreviado HTTP) que es el protocolo de comunicación

que permite las transferencias de información a través de archivos XHML, HTML en la World Wide Web.

Cuenta con interfaces USB, UART, PCM y ADC, lo cual hacen del UC20 apto para casi cualquier aplicación, tales como: sistemas de rastreo, soluciones en seguridad, dispositivos móviles, lectura remota de sensores, etc. El proceso implicado al utilizar el módulo de comunicación UC-20 es que se debe registrar el equipo que fabrique con este módulo en el operador celular que le venda la SIM Card. Si pasados 15 días de uso el cliente final no hace el registro, el operador bloqueará su IMEI y el módulo no podrá conectarse a la red celular. El IMEI viene impreso en la superficie del módulo para su registro.

La estación meteorológica cuenta con un módulo Micro SD. Este nos permite insertar una memoria Micro SD que son las más comunes en el mercado, el módulo se puede alimentar con 3.3V o 5V usando los pines respectivos. La comunicación de la memoria es por SPI pero trabajan con 3.3V, para utilizarlo con Arduino se necesitan módulos externos que aparte de tener el socket traen los componentes necesarios para adaptar los voltajes a TTL y poder conectarlo de forma fácil a nuestro Arduino. Una vez establecido los elementos que componen la estación se realizó el diseño del DataLogger en el software Eagle. A continuación, en la siguiente figura se puede ver el resultado del diseño de la estación en este programa (Gutiérrez, 2021).



## 2.4 Fase 4: Validación envío de alertas.

En la fase de validación se realizó el envío de alertas a los agricultores por medio de mensajes de textos y por mensajes en las redes sociales (Twitter), utilizando el Modem UC20 y la aplicación Thingspeak.

Figura 13.

*Envío de alertas.*



Nota: Se tomó captura de pantalla de los mensajes de texto.

### 3. Resultados y análisis de resultados

El prototipo se desarrolló para proporcionar las variables meteorológicas precisas que prevalecen en los campos arroceros del municipio de Palermo, en especial del corregimiento del Juncal. Este prototipo servirá para ser una parte integral de cualquier sistema de agricultura de precisión donde los parámetros climáticos deben ser medidos y monitoreados con precisión, en la figura 14 se puede observar la estructura final de la estación meteorológica.

Figura 14.

*Prototipo de estación meteorológica final.*

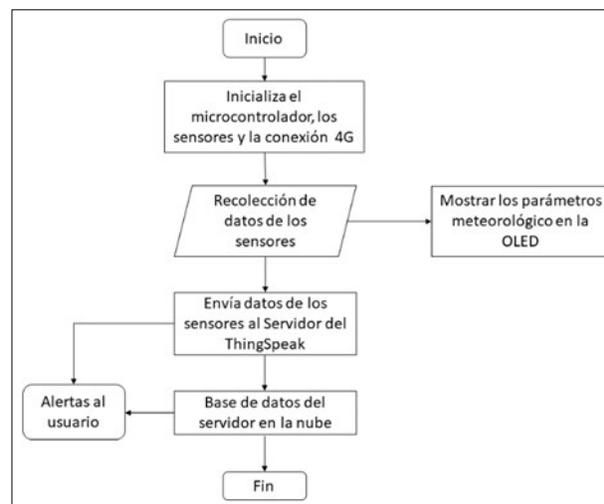


Nota: La imagen se tomó en la finca “San Gabriel”.

La configuración experimental del prototipo incluía componentes de hardware y software. El componente de hardware como se analizó en el capítulo anterior consistía en el microcontrolador nanoarduino y los respectivos sensores, mientras que los componentes de software consistían en el VS Code y el entorno de desarrollo PlatformIO utilizado para codificar y programar el microcontrolador.

Figura 15.

*Diagrama de flujo del programa de la estación meteorológica.*



Nota: La imagen es elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

El sistema consta principalmente de tres partes; la primera parte consiste en la recopilación de datos, la segunda parte es el almacenamiento de datos y la tercera parte es el análisis y la predicción de datos. Los datos meteorológicos se recopilan de los sensores: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, altitud y velocidad del viento. Una vez que se recopilan los datos del sensor, el microcontrolador los somete a un procesamiento local donde los datos sin procesar se convierten en datos significativos. Después del procesamiento local, los datos se pueden almacenar opcionalmente mediante el uso de un módulo de tarjeta SD. Luego, los datos se

envían al servidor en la nube de ThingSpeak mediante comandos AT con un módulo de comunicación 4G/3G para su visualización y análisis. Así mismo, desde la estación se pueden enviar alertas al usuario por determinados rangos en las variables. Considerando de que esta es una función principal del funcionamiento del prototipo se muestra una parte del código desarrollado.

```

void config_uc20()
{ //Función para configurar el modulo de transmision UC20

Serial.println("Configurando Modulo UC20");
Serial.println("");
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT", "OK", 2000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+CMEE=2", "OK", 2000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+CPIN?", "+CPIN: READY", 1000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+CREG?", "+CREG: 0,1", 3000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+CGREG?", "+CGREG: 0,1", 3000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+COPS?", "OK", 3000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+CGATT=1", "OK", 3000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+QHTTPCFG=\"contextid\",1", "OK", 2000) == 0)
{
}
delay(1000);
while (send_ATcommand("AT+QICSGP=1,1,\"internet.movistar.com.co\", \"\", \"\", 1", "OK", 3000) ==
0)
{
}
delay(1000);
}
}

```

ThingSpeak ayuda a enviar las notificaciones en forma de Tweet o correo electrónico a los usuarios siempre que los parámetros antes mencionados cruzan los

niveles de umbral. ThingSpeak además de proporcionar visualización, ayuda a almacenar los datos en el servidor mediante la creación de un canal que puede almacenar hasta ocho campos de datos. En este sistema meteorológico, se utilizaron ocho campos para almacenar datos. La otra funcionalidad proporcionada por el servidor en la nube ThingSpeak es el análisis de datos, estos se desarrollan en forma de análisis y visualizaciones de MATLAB. La Figura 15 muestra el diagrama de flujo del sistema meteorológico propuesto. Una vez que se enciende el sistema, se inicializan el microcontrolador y los sensores conectados a él.

```

void Send_thingspeak(float *pressure, float *tempBMP, float *altitude, float *tempDHT, float
*humedad)
{ //Función para enviar los datos de las variables a la Api del ThingSpeak

    if (send_ATcommand("AT+QIACT?\r", "+QIACT: 1,1,1", 5000) == 1)
    {

        str = "http://api.thingspeak.com/update?api_key=SF11JBV4N5HBMUNK&field1=" +
String(*pressure, 1) + "&field2=" + String(*altitude, 1) + "&field3=" + String(*tempBMP, 1) + "&field4=" +
String(*humedad, 1)+"\n";

        unsigned int lenurl = str.length()+1;
        String tamURL = (String)lenurl;
        delay(1000);

        if (send_ATcommand("AT+QHTTPURL=" + tamURL + ",80", "CONNECT", 2000) == 1)
        {
            UC20.println(str);
            Serial.println(str);
        }
        delay(3000);

        if (send_ATcommand("AT+QHTTPGET=80", "OK", 5000) == 1)
        {
            Serial.println("Trama Enviada!!!");
        }

        delay(3000);

    } else if (send_ATcommand("AT+QIACT?\r", "ERROR", 5000) == 1)
    {
        send_ATcommand("AT+QIDEACT=1", "OK", 5000);
    } else if (send_ATcommand("AT+QIACT?\r", "OK", 5000) == 1)
    {
        send_ATcommand("AT+QIACT=1", "OK", 5000);
    }

    delay(10000);
}

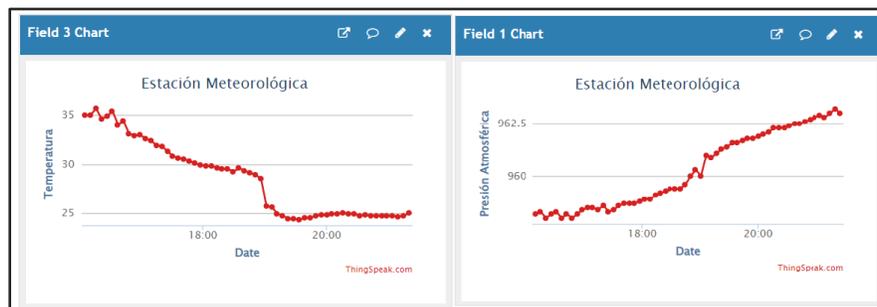
```

Las plantillas utilizadas para las visualizaciones de MATLAB para el prototipo desarrollado se utilizaron para visualizar los ocho parámetros de campo, gráfico de histograma de humedad y temperatura para comprender la variación de datos, gráficos correlacionados o de dispersión de (temperatura y humedad, presiones absolutas y relativas, humedad y punto de rocío y finalmente temperatura y punto de rocío).

El gráfico del campo 1 corresponde a la temperatura, mientras que el gráfico del campo 3 representa la presión atmosférica. Como se ve en la primera gráfica de la Figura 16, con el tiempo, se puede ver un aumento en la temperatura hasta las 2:00 p.m. por la tarde, mientras que la temperatura baja lentamente a partir de entonces. Se hizo una observación similar con el segundo gráfico del campo 2, donde se observa un aumento constante.

Figura 16.

*Campos de temperatura y presión.*

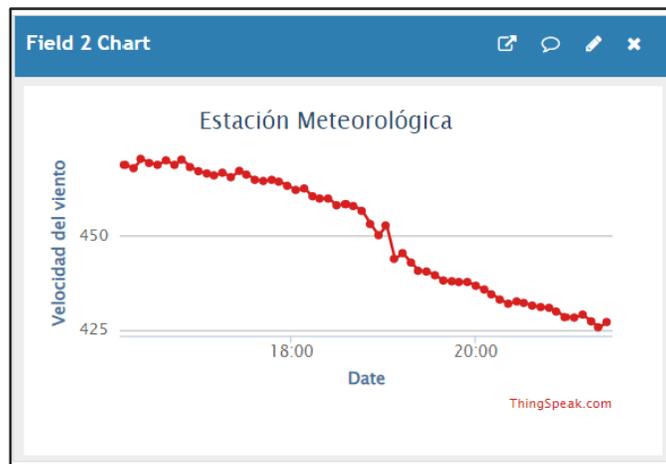


Nota: La imagen se tomó de los campos del ThingSpeak.

En la figura 17, corresponden al campo de la velocidad del viento. Se puede observar en la gráfica que la velocidad disminuye de las 6:00 a 8:00 pm.

Figura 17.

*Campo de Velocidad del viento.*

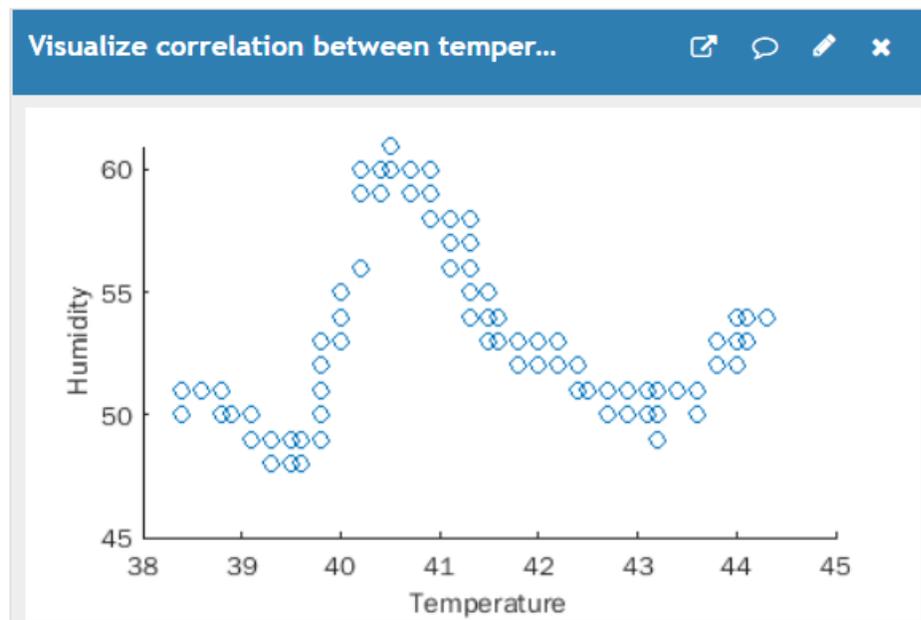


Nota: La imagen se tomó de los campos del ThingSpeak.

La Figura 18, nos muestra la relación entre la humedad relativa vs la temperatura relativa con respecto al tiempo.

Figura 18.

*Humedad vs Temperatura.*



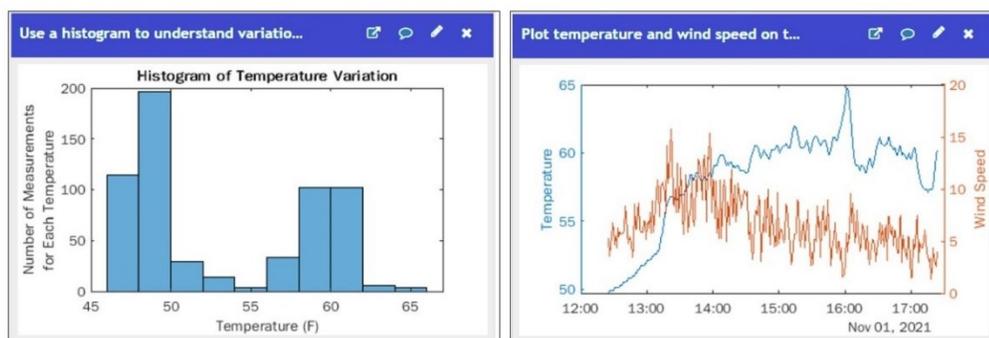
Nota: La imagen se tomó de los campos del ThingSpeak.

La Figura 19, representa los gráficos del histograma de temperatura y humedad, respectivamente. Los gráficos de histograma proporcionan información importante sobre la frecuencia de aparición de los datos. Estos gráficos son útiles para crear los conjuntos de datos correspondientes a diferentes frecuencias de aparición de datos.

El análisis de datos ayuda a estudiar el comportamiento actual del clima atmosférico, su pasado y cómo puede comportarse en el futuro, esa es su predicción. Los datos recopilados se agrupan en conjuntos y se someten a análisis. La analítica se llevó a cabo mediante el análisis y la visualización de MATLAB proporcionados por ThingSpeak. Las plantillas utilizadas para MATLAB Analysis para el prototipo desarrollado fueron para calcular y mostrar la humedad y temperatura promedio, calcular y mostrar el promedio presiones absolutas y relativas, calcular y mostrar el punto de rocío promedio calcular temperaturas altas y bajas. De manera similar, se puede obtener la variación promedio de cualquier parámetro de campo durante cualquier lapso de tiempo y estos campos se pueden actualizar en un nuevo canal en tiempo real.

Figura 19.

*Histograma de temperatura y humedad.*

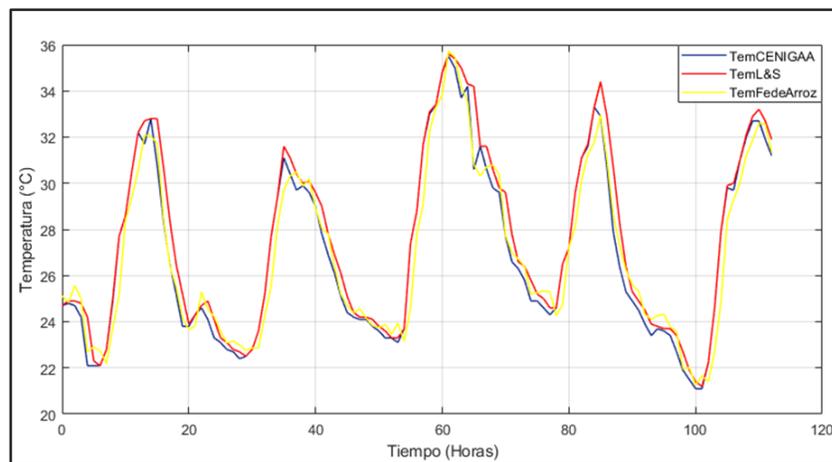


Nota: La imagen se tomó de los campos del ThingSpeak.

En la figura 20 se puede observar el comportamiento de la temperatura mostrada por las estaciones de Cenigaa, la de Fedearroz y el prototipo. De los datos obtenidos se encuentra que presentan una moda de 24,9, una media de 27,47, una mediana de 26,5, una desviación típica de 3,45, una desviación estándar de 3,91, una varianza de 15,22 y un coeficiente de 0,3614. Estos datos permiten concluir que el prototipo entrega valores muy cercanos a los entregados por las otras dos estaciones disponibles.

Figura 20.

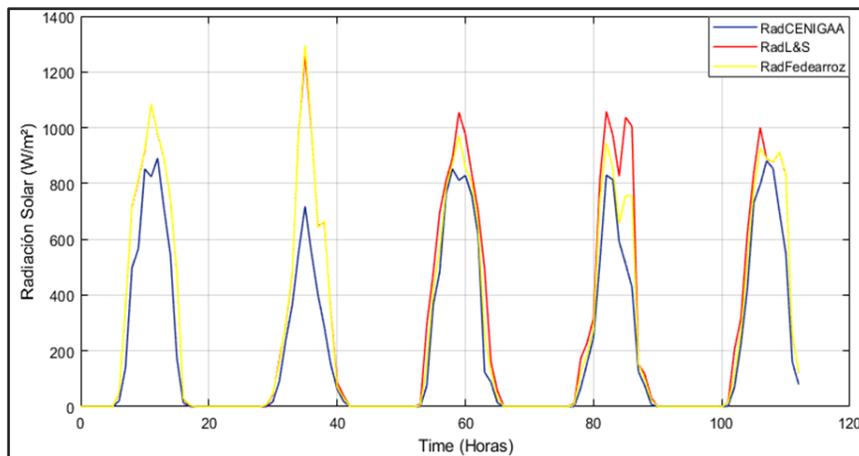
*Comportamiento de las estaciones de Cenigaa, Fedearroz y prototipo.*



Nota: Imagen tomada de Matlab.

Figura 21.

*Comportamiento de la radiación solar.*



Nota: Imagen tomada de Matlab.

En la figura 21 se puede observar el comportamiento de la radiación solar mostrada por las estaciones de Cenigaa, la de Fedearroz y el prototipo. De los datos obtenidos se encuentran que presentan una moda de 0, una media de 302,47, una mediana de 32, una desviación típica de 393,18, una desviación estándar de 345,60, una varianza de 153227,41 y un coeficiente de 0,8820. Estos datos permiten concluir que el prototipo entrega valores muy dispersos, lo cual se puede observar en la varianza en este tipo de variable con respecto a los entregados por las otras dos estaciones disponibles.

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

1. El prototipo de estación meteorológica desarrollado permite conocer el comportamiento en tiempo real de las variables climáticas más importantes que influyen en el cultivo del arroz de la finca “San Gabriel” representando una alternativa a los altos costos que implica utilizar equipos del mercado.
2. Como resultado del análisis realizado se pudo determinar que la temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica, altitud y velocidad del viento son las principales variables de interés en el cultivo del arroz
3. Los módulos de medición, procesamiento y comunicación de datos desarrollados con Arduino permiten obtener los datos de 5 variables identificadas cada 5 minutos a partir de sensores físicos.
4. Con la implementación del sistema propuesto, se logró utilizar el lenguaje de cálculo técnico Matlab desarrollado en MathWorks como entorno de programación para el desarrollo de los algoritmos que permiten el análisis del comportamiento de los datos obtenidos (Moda, Media, Mediana, Desviación típica, Desviación estándar,

varianza y coeficiente), integrados en 4 canales de la plataforma IoT ThingSpeak como interface de visualización.

5. La validación de los datos medidos por el prototipo se muestra con un error del 5%, valor aceptable por este tipo de cultivo. Las mediciones fueron comparadas por un tiempo de 24 horas, equivalentes a 8640 valores de mediciones.

## **Recomendaciones**

Pensar a futuro aspectos como ofrecen compatibilidad con asistentes de voz como Alexa, Google Assistant y Siri (HomeKit), así como a las rutinas de IFTTT, lo que nos permite introducirlas dentro del ecosistema domótico a los arroceros.

Las siglas de IFTTT significan "IF This, Then That", lo que traducido al español significaría "Si esto, entonces aquello". Con este nombre, se refiere a que es una página con la que puedes crear y programar acciones entre diferentes aplicaciones o dispositivos, de manera que si haces o pasa determinada cosa con una aplicación, entonces automáticamente realiza una acción con ella.

## 5. Referencia Bibliográfica

- Acosta, M. (2013). Sistemas de Alerta Temprana (S.A.T) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla . *Scientia et Technica Año XVIII, Vol. 18*, 303 - 308.
- Aris Munandar, H. F. (2017). Design of Real-time Weather Monitoring System Based on Mobile Application using Automatic Weather Station. *2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT)*, 44 - 47 .
- Bonilla, C. S. (2018). *Sistema de comunicación mediante WSN para detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra*. Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- C. Jiménez, A. G. (2017). Cloud-based monitoring system for lysimetric and agroclimatic data. *Precision Agriculture volume 18*, 1069 - 1084.
- Dharwadkar, R. K. (2018). IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India. *018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 81 - 86.
- Electrónica, S. (25 de 10 de 2021). *www.sigmaelectronica.net*. Obtenido de <https://www.sigmaelectronica.net/producto/uc20-g/>
- Enrique Mandado, L. M. (2007). *Microcontroladores PIC: sistema integrado para el autoaprendizaje*. Barcelona (España): Marcombo.
- Fedearroz. (13 de 10 de 2021). *clima.fedearroz.com.co*. Obtenido de <http://clima.fedearroz.com.co/>
- Fedearroz. (13 de 10 de 2021). *clima.fedearroz.com.co*. Obtenido de <http://clima.fedearroz.com.co/>
- Francisco Gómez, M. V. (2018). Design of natural elements in open spaces of cities with a Mediterranean climate, conditions for comfort and urban ecology. *Environmental Science and Pollution Research volume 25*, 26643 - 26652.
- Gay, W. (2018). DHT11 sensor. *In Advanced Raspberry Pi*, 399-418.
- Gonçalo Mestre, A. R. (2019). An Intelligent Weather Station. *Sensors, 15(12)*, 31005 - 31022.
- Gutiérrez, A. G. (2021). Estudio del módulo Heltec Cubecell-GPS para aplicaciones de localización y monitorización remota de sensores.
- ICA. (03 de 01 de 2018). *www.ica.gov.co*. Obtenido de <https://noticias/el-ica-alerta-a-agricultores-ante-cambios-bruscos>

- Izquierdo, J. C. (2017). *Diseño e implementación de un dispositivo IoT de bajo coste para entornos agrícolas*. Granada: Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación.
- Juan L. Ordaz, J. M. (2010). *Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México D.F: México, D.F.: CEPAL, 2010.
- Kapoor, P., & Barbhuiya, F. A. (2019). Cloud Based Weather Station using IoT Devices. *TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2357 - 2362.
- Michel Ruiz, Y. M. (2016). Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 178 - 186.
- Muhammad Ashrafa, J. C. (1997). Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks. *Agricultural and Forest Meteorology Volume 84*, 255 - 271.
- Muñoz, R. G. (2018). *PROTOTIPO FUNCIONAL ESTACIÓN METEOROLÓGICA PORTABLE CON DISPOSITIVOS DE BAJO COSTO (ARDUINO)*. Pereira: UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA.
- Naisly Tovar, J. T. (2017). Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica. *Orinoquia*, 21(1), 52 - 63 .
- Nano, A. (2018). Arduino Nano.
- Pasha, S. (2016). Thingspeak Based Sensing and Monitoring System. *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, 19-23.
- Putra, M. K. (2018). Weather Station Design Using IoT Platform Based On Arduino Mega. *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 1 - 4.
- Quectel. (2010). M10 Quectel Cellular Engine. *M10\_ATC\_V1.04*, 1 - 200.
- Radonjić, T. S. (2015). One approach to weather station design based on Raspberry Pi platform. *23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, 623 - 626.
- Rodriguez, B. (2017). *Desarrollo de un sistema de comunicaciones punto a punto con ns3*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Rodríguez, C. (2013). *SISTEMA AUTOMÁTICO DE MONITOREO REMOTO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS*. México D.F: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA .
- S. PARVEZ, J. S. (2016). A Novel Design and Implementation of Electronic Weather Station and Weather Data Transmission System Using GSM Network. *WSEAS TRANSACTIONS on CIRCUITS and SYSTEMS*, 21 - 34.
- Sensortec, B. (2013). Data sheet BMP180 Digital pressure sensor. *Np: Bosch Sensortec*, 1-29.

- Shuai, C. X. (2018). China feels the heat: negative impacts of high temperatures on China's rice sector. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 576 - 588.
- Uma Khumairoh, E. L. (2018). Complex rice systems to improve rice yield and yield stability in the face of variable weather conditions. *Scientific reports*, 1 - 7.
- Victor Degiovanni, C. M. (2010). *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina*. Cali : Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Yuge Huang, E.-L. H.-Y.-T. (2020). Mini-LED, Micro-LED and OLED displays: Present status and future perspectives. *Light: Science & Applications*, 1-16.

## 6. Anexos

Tabla 8.

*Función del Nano-arduino*

Función del Nano-arduino	
Diagrama de Flujo	Programación
<pre> graph TD     Inicio([Inicio]) --&gt; Enciende[Enciende el modulo UC20]     Enciende --&gt; Realiza[Realiza la lectura de las variables]     Realiza --&gt; Visualiza[Visualiza la lectura de las variables]     Visualiza --&gt; Envio[Envio de datos al ThingSpeak]     Envio --&gt; Delay[Delay 10 segundos]     Delay --&gt; Parada([Parada])   </pre>	<pre> void loop() { // Funcion principal que realiza el Nano-arduino    uc20State =   digitalRead(statKey);    if (uc20State == HIGH)   {     power_on();   }    SensorRead(&amp;pressure, &amp;tempBMP, &amp;altitude, &amp;tempDHT, &amp;humedad); // Lectura de los sensores delay(1000);    DisplayPresTemp(&amp;pressure, &amp;tempBMP, &amp;altitude, &amp;tempDHT, &amp;humedad); // Visaulizacion de las variables delay(1000);    Send_thingspeak(&amp;pressure, &amp;tempBMP, &amp;altitude, &amp;tempDHT, &amp;humedad); // Enviar los datos al ThingSpeak delay(20000);   enviar_mensaje(&amp;pressure, &amp;tempBMP, &amp;altitude, &amp;tempDHT, &amp;humedad); // Envio de mensajes de textos delay(10000);}   </pre>

Nota: La tabla es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.

Tabla 9.

*Lectura de los sensores.*

<b>Lectura de los sensores</b>	
<b>Diagrama de Flujo</b>	<b>Programación</b>
<pre> graph TD     Inicio([Inicio]) --&gt; A[Realiza la lectura de la variable "pressure"]     A --&gt; B[Realiza la lectura de la variable "altitude"]     B --&gt; C[Realiza la lectura de la variable "tempBMP"]     C --&gt; D[Realiza la lectura de la variable "tempDHT"]     D --&gt; E[Realiza la lectura de la variable "humidity"]     E --&gt; Parada([Parada])           </pre>	<pre> void SensorRead(float *pressure, float *tempBMP, float *altitude, float *tempDHT, float *humedad) { //Función para leer los sensores utilizados en la estacion Meteorologica  *pressure = bmp.readPressure() / 100.0; *altitude = bmp.readAltitude(); *tempBMP = bmp.readTemperature(); *tempDHT = dht.readTemperature(); *humedad = dht.readHumidity();}           </pre>

Nota: La tabla es de elaboración propia, soportado por el datasheet del fabricante.