

**Reconocimiento de las Condiciones Ambientales Mediante el Uso de IoT y Nube
Pública en el Cultivo de Lechuga de la Zona Rural de Mosquera/Cundinamarca.**

Giovanni Iván Ramírez Rincón

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Programa de Ingeniería Electrónica

Mosquera / Cundinamarca

2021

**Reconocimiento de las Condiciones Ambientales Mediante el Uso de IoT y Nube
Pública en el Cultivo de Lechuga de la Zona Rural de Mosquera/Cundinamarca.**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Giovanni Iván Ramírez Rincón

Asesor

Manuel Enrique Wagner Mendivelso

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Programa de Ingeniería Electrónica

Mosquera / Cundinamarca

2021

PAGINA DE ACEPTACION

Nota de aceptación

Jurado
2021

Dedicatoria

Mi mayor agradecimiento a Dios creador de todo conocimiento y ciencia, por darme la fuerza, la motivación correcta, entereza y disciplina para concluir mis estudios profesionales; sin Él nada fuera posible. A Jennifer mi compañera, por su apoyo y cariño, porque nunca dejó que bajara los brazos. A mis hijos (Junpa y Ani) que son mi inspiración diaria y apoyo incondicional, con quién deseo crecer personal y profesionalmente, para compartir cada logro de mi camino en su compañía.

Agradecimientos

A mi director de grado (Manuel Wagner), por su guía en la construcción metodológica y consejos desde su amplia experiencia para el desarrollo del proyecto en mención.

A la coordinación académica de JAG (Diana Carolina Méndez), por el apoyo, orientación y gestión oportuna para lograr los objetivos personales académicos que me permitieron postular mi titulación de pregrado mediante un proyecto aplicado en este 2021.

A todo el equipo y red de tutores que me acompañaron en este proceso debido a que sus constantes retroalimentación y oportunidades de mejora me permitieron mejorar y aprender semestre tras semestre para lograr los objetivos académicos propuestos.

Una mención especial al equipo de profesionales de consejería académica que hace 3 años me aconsejó y motivo a retomar y concluir mis estudios académicos de pregrado.

Resumen

El presente proyecto aplicado tiene como propósito socializar académicamente como mediante el uso de las tecnologías nativas y disponibles a nivel de Nube Publica, es posible acelerar el proceso de construcción e integración de soluciones de código abierto que hagan uso de sistemas embebidos de bajo costo como microprocesadores y microcontroladores; lo que nos permite desarrollar el concepto de prototipos ágiles productivos al generar valor en reducir los tiempos de desarrollo, optimizando costos en construcción de prototipos y dar respuesta a los requerimientos identificados inicialmente de forma gradual y priorizada.

Para lograr lo anteriormente descrito el proyecto aplicado busca promover la utilización de sistemas embebidos basados en microprocesadores ARM como el proporcionado por RaspberryPi el cual nos permite tener un entorno de ejecución de sistema operativo de código abierto Linux, mediante el cual podemos realizar la interacción con los diferentes sensores, e integrarlos ágilmente con las capacidades de procesamiento, analítica y visualización de datos que ofrece la nube publica de Microsoft Azure, siendo este ultimo un beneficio que actualmente poseen los estudiantes la cual es aprovechado como parte del desarrollo y construcción del presente proyecto de grado aplicado.

Palabras clave: RaspberryPi, Microsoft Azure, Linux, ARM.

Abstract

The purpose of this applied project is to socialize academically and using native technologies available at the Public Cloud, it is possible to accelerate the process of construction and integration of open-source solutions that make use of low-cost embedded systems such as microprocessors and microcontrollers; This allows us to develop the concept of productive agile prototypes by generating value in reducing development times, optimizing costs in prototype construction and responding to the initially identified requirements in a gradual and prioritized manner.

To achieve the aforementioned, the applied project seeks to promote the use of embedded systems based on ARM microprocessors such as the one provided by RaspberryPi, which allows us to have an open source Linux operating system execution environment, through which we can interact with the different sensors, and agilely integrate them with the data processing, analytical and visualization capabilities offered by the Microsoft Azure public cloud, the latter being a benefit that students currently have, which is used as part of the development and construction of the present project of applied grade.

Keywords: RaspberryPi, Microsoft Azure, Linux, ARM

Tabla de Contenido

Introducción.....	13
Definición de términos	15
Descripción del problema.....	18
Árbol causa – efecto del problema	19
Definición del problema	20
Justificación	22
Marco conceptual	24
Objetivo General.....	28
Objetivos Específicos	28
Diseño propuesto de la solución.....	31
Etapa (Dispositivos IoT).....	31
Etapa (Componentes Nube).....	34
Esquema conexión física – Prototipo inicial (Microcontrolador RP2040).....	38
Protocolo I2C.....	39
Descripción conectividad I/O para el microcontrolador RP-2040	40
Descripción conectividad I/O para el sensor BME280	41
Algoritmo utilizado sistema embebido (Microcontrolador RP-2040).....	41
Código Fuente - utilizado sistema embebido (RP-2040) – Micro Python	42
Representación conexión electrónica – Sistema Embebido - RaspberryPi 4	43
Algoritmo utilizado sistema embebido (Microprocesador ARM - Open-Source)	44
Caracterización del cultivo de Hortalizas.....	47
Implementación de la solución para componentes nube en Microsoft Azure.....	52
Conectividad 4G registrada en la zona rural de Mosquera.....	55
Configuración del almacenamiento de datos mediante PowerBI.....	56
Visualización de datos mediante - Microsoft PowerBI.....	57
Plan de mejoras propuesto al prototipo y solución inicial.....	59
Recomendaciones de uso.....	62
Conclusiones.....	65
Referencias	67

Lista de tablas

Tabla 1 Cronograma de actividades de alto nivel.....	29
Tabla 2 Recursos requeridos.....	29
Tabla 3 Especificaciones técnicas – prototipo con microprocesador y sensor (IoT).	31
Tabla 4 Especificaciones técnicas – prototipo con microcontrolador	33
Tabla 5 Especificaciones técnicas de los componentes del diseño –nube.....	35
Tabla 6 Descripción de Conectividad I2C.....	40
Tabla 7 Caracterización del cultivo en la zona rula de Mosquera.....	47
Tabla 8 Plan de mejoras.....	59
Tabla 9 Recomendaciones de uso.....	62

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Diagrama Conceptual – Diseño Solución.....	31
Ilustración 2 Esquema de conectividad - prototipo con microcontrolador.....	38
Ilustración 3 Esquema conceptual I2C	39
Ilustración 4 Conectividad física (microcontrolador RP2040).....	40
Ilustración 5 Conectividad física (Sensor BME280).....	41
Ilustración 6 Implementación en Hardware (Prototipo con RP2040)	42
Ilustración 7 Representación conexión electrónica – Modelo IoT	43
Ilustración 8 Implementación en Hardware (Prototipo con RaspberryPi 4)	46
Ilustración 9 Ubicación geográfica del cultivo en interés	49
Ilustración 10 Preparación tierra para cultivo de Lechuga	50
Ilustración 11 Registro fotográfico de diferentes tipos de cultivos en la zona.....	51
Ilustración 12 Configuración del dispositivo IoT en Azure IoT Hub.....	53
Ilustración 13 Definición de estructura de datos	57

Lista de Esquemas

Esquema 1 Causa Efecto - Cultivo Lechuga	19
Esquema 2 Algoritmo, funcionamiento sensor BME280.....	41
Esquema 3 Algoritmo, Ejecución procesos – Modelo IoT.....	44

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Utilización y consumo disponible – Beneficio Estudiante.....	52
Gráfico 2 Tiempo de envío de datos hacia Azure desde la zona rural	56
Gráfico 3 Representación web de las condiciones ambientales	58
Gráfico 4 Representación móvil de las condiciones ambientales.....	58

Introducción

La propuesta de proyecto de grado aplicado que se abordara durante el presente documento, esta orientada en identificar problemáticas específicas del sector rural en el municipio de Mosquera – Cundinamarca, para los cultivos de hortalizas en general que hacen parte de la agricultura local pero con énfasis en el cultivo de lechuga debido a que es uno de los mas representativos de la región; a partir de esta connotación se realiza un proceso de reconocimiento de las condiciones del cultivo y métodos que actualmente son aplicados por el agricultor, con el objeto de aprovechar y acoplar tecnologías de bajo costo y servicios de nube publica para realizar un reconocimiento, registro y visualización de las condiciones ambientales del cultivo, información que a los agricultores les permitirá tomar decisiones y comprender como las condiciones ambientales puede favorecer o afectar el crecimiento y por ende la calidad del producto agrícola durante la siembra o cosecha.

Para este proceso de construcción y desarrollo continuo de tecnología aplicada se identifico a los alrededores de la zona urbana de la ciudad de Mosquera una serie de cultivos agrícolas como lo indica la (Alcaldia Municipal Mosquera, 2021) que son parte fundamental en la cadena de suministro de víveres para los habitantes de la ciudad y sus alrededores, esto genero en particular un interés de investigación de como las condiciones actuales del cultivo pueden ser mejoradas en términos de: calidad de los productos, tiempos de recolección y rentabilidad al agricultor a partir de la utilización de la tecnología de Internet de las Cosas o IoT, donde esta tecnología disruptiva juega un papel

fundamental en las tendencias de agricultura a nivel mundial como hace referencia (VMware, 2017) “En épocas pasadas, teníamos la tecnología como sensores del clima, pero ninguna de estas estaba integrada a internet y nuestros dispositivos móviles”, esto es particularmente el área de interés de este proyecto de grado, donde se busca analizar, comprender e identificar los requerimientos técnicos y funcionales en el cultivo de lechugas *Lactuca sativa* L. que es un cultivo significativo a nivel de desarrollo económico y en crecimiento constante según el (DANE, 2017) en la zona rural de Mosquera.

A partir de la idea anteriormente expuesta, surge la iniciativa y necesidad de construcción propia de un modelo tipo prototipo que involucre componentes tecnológicos asociados con IoT, haciendo uso de tecnologías Open Source y servicios de nube pública como Azure del fabricante Microsoft, el cual permitirá identificar las condiciones ambientales del cultivo y con la información recolectada realizar un proceso de alistamiento, análisis, y visualización mediante la integración de las capacidades de computo serverless y los diferentes servicios nativos de nube Azure recomendados para la utilización con IoT.

Definición de términos

IoT (Deloitte, 2019) indica: “Cualquier cosa que se pueda imaginar podría ser conectada a internet e interactuar sin necesidad de la intervención humana”.

Open Source (Red Hat, 2015) lo define como: “El software open source es un código diseñado de manera que sea accesible al público: todos pueden ver, modificar y distribuir el código de la forma que consideren conveniente”.

Servicios de Nube Pública (Microsoft, 2018) lo define como: “Servicios informáticos que ofrecen proveedores externos a través de la Internet pública y que están disponibles para todo aquel que desee utilizarlos o comprarlos. Pueden ser gratuitos o venderse a petición”.

RaspberryPi según (Raspberry Pi Foundation, 2014) es: “Un equipo de computo del tamaño de una tarjeta de crédito que ofrece todas las capacidades de escritorio actual, el cual permite la construcción de código y proyectos electrónicos”.

Serverless para (RedHat, 2019) esta definido como: “se trata de un modelo de desarrollo nativo en la nube que permite a los desarrolladores diseñar y ejecutar aplicaciones sin tener que gestionar servidores tradicionales, únicamente programación lógica para su funcionamiento.”.

ARM según (ARM, 2020) es un: “procesador diseñado para la nueva generación de aplicaciones de industrial móvil y computación unificada”.

Suelo Franco Arcilloso según (FAO , 2015), es un tipo de suelo con una textura y mezcla proporcional entre arena 50% y arcilla 50%.

Sensor BME280 según (BOSCH, 2013): “Sensor de humedad relativa, presión barométrica y temperatura ambiente”.

GPIO de acuerdo con (RaspberryPi, 2020), acrónimo en ingles de “General Purpose Input/Output” son puertos físicos disponibles en los microcontroladores o microprocesadores del fabricante en mención que cumplen funciones generales de entrada o salida (Datos Digitales) o funciones especializadas para protocolos específicos como (SPI, I2C, UART, PWM, etc.).

I2C de acuerdo con (TEXAS, 2006): acrónimo en ingles de “Inter Integrated Circuits” es un protocolo de comunicación basado en 2 hilos (Datos y Reloj) que facilita la interacciona entre sistemas embebidos y múltiples sensores, mediante el uso ordenado de direcciones de memoria específicas.

LCD según (Sparkfun, 2007): acrónimo en ingles de “Liquid Digital Display” es un dispositivo electrónico que permite la visualización de caracteres ASCII mediante la utilización de filas y columnas definidas por el fabricante como es el caso del modelo 2(filas) x 16 (columnas).

WIFI según la (IEEE, 2009), es un protocolo inalámbrico de comunicaciones que maneja diferentes mecanismos de seguridad para la transmisión/recepción de datos.

Microcontrolador, de acuerdo con (Albayrak, A, 2017) es sistema de computación móvil de aplicación específica, con recursos muy limitados, de bajo costo y con interacción nula directa por parte de los usuarios.

Microprocesador, de acuerdo con (Albayrak, A, 2017) es sistema de computación móvil con altas capacidades de cómputo debido a que procesan un SO por ejemplo (Linux), de costos significativos, que permite la extensión de los servicios de nube pública y construir las soluciones basadas en IoT.

Plantillas ARM, de acuerdo con (Microsoft, 2021), es un método de despliegue mediante código que facilita y provee agilidad para entregar servicios en Microsoft.

Microsoft PowerBI, de acuerdo con (Microsoft, 2018), es una capacidad tecnológica que permite visualizar los datos de forma rápida, con propiedades autoservicio y fácilmente integrable con diferentes sistemas de información.

PaaS, de acuerdo con (Microsoft, 2016), es un entorno de desarrollo e implementación completo en la nube de servicios u aplicaciones que se acceden desde internet.

Descripción del problema

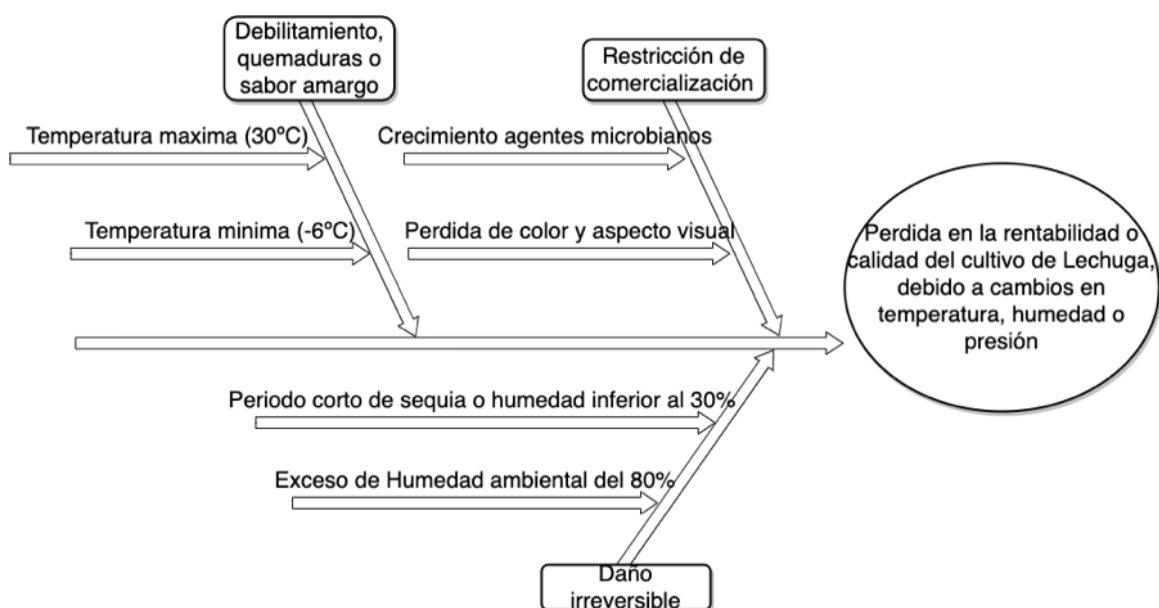
En la sabana de occidente de la ciudad de Bogotá en los municipios de (Funza, Mosquera, Madrid, Facatativá), se observa y se identifica según (Alcaldía Municipal Mosquera, 2021), frecuentemente el cultivo de diferentes tipos de hortalizas como (Lechuga, Zanahoria, Apio, Ajos, Espinacas) de forma muy tradicional lo que significa que es un proceso realizado de forma rudimentaria y que aprovecha de forma parcial las capacidades tecnológicas para mejorar la calidad del producto, tamaño de producción y rentabilidad de nuestros agricultores. La (Camara de Comercio de Bogotá, 2015) identifico al departamento de Cundinamarca como el principal productor de lechuga en el país, y debido a su alta adaptabilidad que requiere este producto a nivel tipo de suelo (franco, arcilloso), sus exigencias agroecológicas están relacionados principalmente con el manejo adecuado de temperatura entre (15° y 20°C), humedad relativa entre el (60 %y 70%), pero como lo expresa (Riquelme, 2012) la presión atmosférica juega un papel fundamental en el proceso de post-cosecha como parte de la conversación del producto en aire en la cadena de comercialización es decir el transporte y almacenaje del producto; esto en general para nuestros agricultores representa un desafío e inclusive en algunos casos desconocimiento de información en tiempo real disponible para la toma decisiones que permitan mantener las condiciones ambientales idóneas para que estos cultivos de lechuga representen un balance favorable frente a la inversión tiempo de comercialización y rentabilidad esperada por parte de nuestros agricultores.

Árbol causa – efecto del problema

De acuerdo con (Alcaldía Municipal Mosquera, 2021), al comprender las exigencias agroecológicas requeridas del cultivo de lechuga y las condiciones mínimas para optimizar y maximizar la rentabilidad del cultivo podemos evidenciar:

Esquema 1

Causa Efecto - Cultivo Lechuga



Fuente: (Elaboración propia)

El árbol del problema construido a partir de la información provista por (Alcaldía Municipal Mosquera, 2021) nos permitió identificar gráficamente, como las condiciones ambientales extremas afectan directamente el cultivo generando daños irreversibles en el producto agrícola, mala calidad del producto y restricción en las ventas al comercio mayorista; como resultado el agricultor pierde rentabilidad y oportunidades de venta de su cosecha.

Definición del problema

En el departamento de Cundinamarca según (DANE, 2017), en la actualidad se desarrolla la producción mas grande del país con un 63,34% y destaco a la ciudad de Mosquera con el principal productor de lechuga con un total de 7.740 toneladas , a su vez la (Alcaldía Municipal Mosquera, 2021) en conjunto con la (Camara de Comercio de Bogotá, 2015) vienen desarrollando estrategias que les permita a nuestros agricultores conocer las cualidades, recomendaciones y desafíos que manejan en particular el sector agrícola para la producción de hortalizas como la lechuga.

Debido a esto nuestros agricultores en la ciudad de Mosquera enfrentan desafíos relacionadas con condiciones ambientales que afectan significativamente la calidad de los cultivos, dificultan la comercialización de sus productos y minimizan la rentabilidad esperada de sus inversiones.

Una de las situaciones que se ha identificado esta relacionada principalmente con la humedad del ambiente, esta de acuerdo con (Riquelme, 2012) juega un papel crucial durante la pre-cosecha debido a que la no medición, análisis y no control de esta genera un daño irreversible del producto en pleno proceso de productivo que no le permite a la lechuga desarrollarse completamente o en su defecto detiene completamente el proceso de formación de la cabeza.

Adicionalmente como lo indica (Info Agro, 2014), es requerido proporcionar luz solar (12 Horas al día), garantizar unas condiciones plantación optimas en el suelo

franco-arcilloso y la temperatura durante la fase de crecimiento debe variar entre el día (14° y 18°C) y en la noche entre (5°Cy -8°C) respectivamente.

(Riquelme, 2012), hace mención específica acerca de la importancia en el proceso de post-cultivo acerca de las condiciones de presión atmosférica entre (1-2 Kpa), para garantizar que el tiempo de conservación aumente en 1 semana en promedio, la calidad visual se mantenga durante más tiempo y se evita la aparición de agentes microbianos que afectan directamente el cumplimiento de regulaciones sanitarias durante el proceso de comercialización del producto.

Justificación

El uso de IOT en la agricultura, de acuerdo con (Brewster, 2017), es un concepto de aplicación tecnológica que está siendo ampliamente usado en el mundo en los países industrializados; Latinoamérica no es ajeno a las problemáticas de desabastecimiento de alimentos, cambio climático, baja productividad de los cultivos y carencias en la predictibilidad del momento óptimo para realizar el proceso de siembra, cosecha y comercialización de los cultivos agrícolas.

Más allá de la tendencia global y el auge de dispositivos de bajo costo que permiten desarrollar capacidades tecnológicas basadas en IOT, nuestros agricultores la ciudad de Mosquera en los diferentes niveles de producción agrícola sí pueden beneficiarse de la incorporación de estas tecnologías emergentes en sus cultivos, que les permita ayudar en el proceso de toma de decisiones a partir de la información en tiempo real suministrada por estas innovaciones tecnológicas.

Las soluciones construidas y desarrolladas en breves periodos de tiempo que hagan uso de capacidades de computo de bajo costo como: RaspberryPi, sensores de humedad relativa, presión barométrica y temperatura ambiental como lo es el sensor BME280 descrito por (BOSCH, 2013) interconectado en tiempo real mediante internet con servicios de nube pública como Microsoft Azure va a permitir que los productores agrícolas puedan conocer las condiciones ambientales actuales e históricas de sus cultivos y puedan tomar decisiones desde sus dispositivos móviles al ajustar sus cadenas de

producción manual de cultivo o mediante la integración de componentes que automaticen el proceso de irrigación, control de humedad, temperatura ambiental y condiciones de transporte que maximicen el retorno de inversión esperado por nuestros agricultores en la ciudad de Mosquera.

El presente proyecto de grado pretende dar una óptica y solución a los requerimientos de IoT mediante el uso de microprocesadores de tipo ARM basados en plataforma RaspberryPi en lugar de microcontroladores de tipo Arduino o el uso de procesadores de arquitectura Intel, la razón principal es permitir y hacer extensivo el aprovechamiento de las características de procesamiento de aplicaciones de propósito general que se encuentran disponibles en los sistemas de software libre basados en Linux y claramente su integración con las arquitecturas serverless que ofrece los servicios de nube publica como Microsoft Azure.

Marco conceptual

Partiendo de la definición práctica asociado con el término (Internet of Things) o IoT (Deloitte, 2019) lo describe como: “Cualquier cosa que se pueda imaginar podría ser conectada a internet e interactuar sin necesidad de la intervención humana”; esto es justamente la tendencia global que venimos experimentando en la última década que permite mediante internet inter-conectar, dispositivos, maquinaria, sensores de pequeña escala al hacer uso de equipos de bajo costo, sacar provecho de estas capacidades para analizar, optimizar y automatizar muchos procesos en las diferentes industrias que permiten minimizar los tiempos de construcción y entrega de productos maximizando la inversión por parte de las organizaciones tal como lo describe (Brewster, 2017);

Sin embargo, al profundizar en el término internet debemos ser conscientes lo que realmente representa este concepto tan ampliamente usado, partimos de la definición propuesta por (Internet Society, 2016) que lo describe como: Un sistema de información global que provee, usa o da accesibilidad de manera pública o privada a servicios superpuestos en las comunicaciones o en las infraestructuras relacionadas. Esto es fundamental de resaltar porque al ser un sistema de global de información que provee de manera pública servicios es la razón por la cual compañías como Amazon desde el 2006 mediante su servicio denominado (AWS) potencializó el propósito de proveer servicios de manera rápida y ágil como lo al habilitar sus centros de cómputo con capacidades específicas definidas en un catálogo y de venta al público orientado a páginas web; este cambio fue disruptivo en la industria, en el comercio global y en el desarrollo global de

soluciones, la razón principal se centra en la posibilidad que los clientes a nivel mundial lograron pagar mes a mes los gastos operacionales asociados al consumo real de sus soluciones de negocio, en lugar de realizar inversiones directas y obligatorias a nivel de infraestructura (almacenamiento, capacidad de computo y comunicaciones) requeridos para lograr un objetivo de negocio como el lanzamiento de un sitio web orientado al e-commerce como menciona (Amazon, 2013).

Lo importante a resaltar es que con esa nueva tendencia de consumo global en la industria y comercio mundial múltiples fabricantes de tecnología como lo es Microsoft en el 2008, también realizó un lanzamiento de escala global de sus servicios de nube pública o cloud computing que define (Microsoft, 2018) el término como: “Servicios informáticos que ofrecen proveedores externos a través de la Internet pública y que están disponibles para todo aquel que desee utilizarlos o comprarlos, pueden ser gratuitos o venderse a petición”, ha permitido a diferentes tipos de organizaciones sean de ámbito empresarial o académico desarrollar y aprovechar esta plataforma de uso público para construir nuevas soluciones de mercado que maximicen la utilización de las nuevas tecnologías nativas de nube como lo son las capacidades de tipo serverless que nos va a permitir utilizar capacidades de procesamiento sin depender directamente del uso de sistemas tradicionales como lo son sistemas operativos, aplicaciones de uso específico, o procesadores de información de uso específico; en este caso en particular utilizaremos el procesamiento de datos directamente sobre los servicios de nube en línea mediante la

utilización de funciones programadas según la necesidad particular de procesamiento y/o transformación de datos.

Otro aspecto muy importante que debemos tener presente es la utilización de software de tipo libre como lo define (Red Hat, 2015), que permitirá el desarrollo de código, construcción de prototipos, pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de la solución propuesta sin necesidad de incurrir en costos iniciales por el derecho de uso del software propietario comercial en caso de utilizarse, esto es una cualidad que se debe resaltar debido a que el interés particular de la propuesta es minimizar los costos de implementación de estas soluciones que integran diferentes componentes para facilitar la adopción de estas tecnologías.

Claramente para poder procesar información, utilizar las capacidades de nube y desarrollar prototipos basados en los principios de IoT, se requiere tecnología que interactúe con el mundo real y extraiga las variables de interés de procesamiento y es en este punto donde los micro-procesadores o microcontroladores de bajo costo como lo describe (Raspberry Pi Foundation, 2014), son fundamentales para cargar en memoria el sistema operativo basado en software de tipo libre, realizar la conexión física con un sensor de condiciones ambientales tipo BME280 descrito por (BOSCH, 2013; Amazon, 2013) capturar la información de las variables de interés (Temperatura, Humedad y Presión) y a partir de esa información inicial el microprocesador realizara el cargue y transporte de la información recopilada hacia la nube publica de Microsoft Azure para su

posterior análisis, consolidación y visualización de las condiciones ambientales del cultivo.

Objetivos

Objetivo General

Aplicar los conocimientos de tecnologías de acceso fácil, bajo costo y desarrollo ágil como IoT, integrado con servicios de nube pública que facilite la obtención de las condiciones ambientales en los cultivos de hortaliza tales como la lechuga para la toma de decisiones oportunas que maximicen la rentabilidad del producto en los ámbitos de producción agrícola.

Objetivos Específicos

Desarrollar el uso y apropiación de tecnologías de bajo costo como IoT y servicios de nube pública que permita conocer las condiciones ambientales (Humedad, Temperatura y Presión) en diferentes horarios en los cuales se desarrolla el cultivo de lechuga en la sabana de occidente.

Utilizar las tecnologías basadas en serverless en nube, opensource y microprocesadores de bajo costo, que permita aplicar construcción de prototipos modulares de forma ágil, basado en requerimientos técnicos y funcionales específicos que representan los desafíos actuales del cultivo.

Socializar, presentar la información recolectada, analizada y procesada mediante la utilización de visualizadores web o paneles de información de forma nativa en dispositivos de cómputo tradicional y/o dispositivos móviles según preferencia del administrador o propietario del cultivo.

Tabla 1
Cronograma de actividades de alto nivel

Objetivos	Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3
General	Reconocimiento de cualidades de cultivo	X		
	Identificación de requerimientos técnicos	X		
	Construcción y pruebas del Prototipo		X	X
	Socialización resultados			X
Específico 1	Levantamiento de información del cultivo	X		
	Definición de software libre a usar	X		
	Identificación componentes base de nube publica	X		
Específico 2	Identificación de tecnologías de bajo costo para cuantificación de variables de cultivo	X		
Específico 3	Habilitación de servicios base de nube		X	
	Habilitación de componentes de open source requeridos		X	
	Construcción de prototipo e integración con nube y socialización de resultados.		X	X

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 2
Recursos requeridos

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	80 horas de Desarrollo y construcción de prototipo basado en serverless	(Inversión Propia) – Fase Inicial

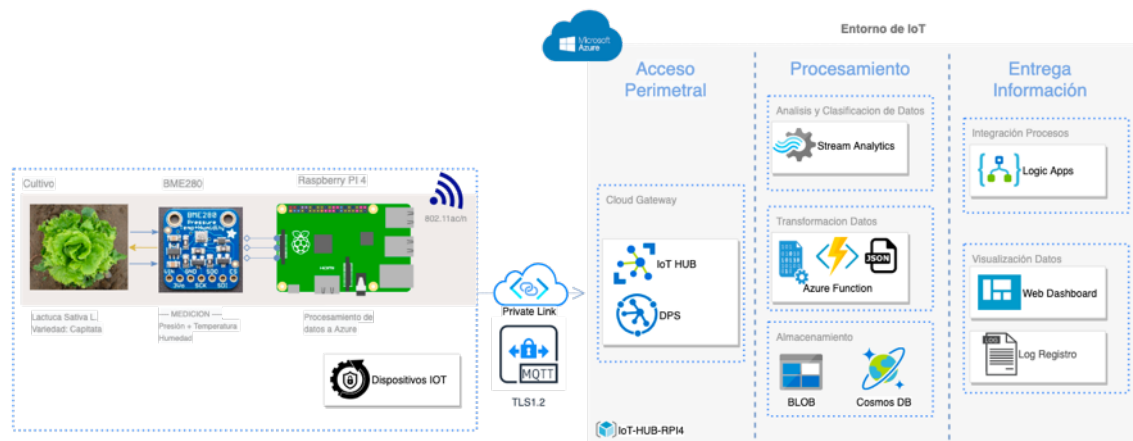
	Azure y RaspberryPi. Pruebas de funcionamiento Documentación	
Equipos y Software	Debían (Open Source); RaspberryPi Pi 3 B+ o 4 Modelo (1 Gb); Sensor (Humedad, Presión, Temperatura) Equipo de computo (Desarrollo y Documentación)	\$500.000 (RaspberryPi 4 y Sensor) \$900.000 (Equipo Computo) (Inversión Propia)
Viajes y Salidas de Campo	3-5 salidas a campo (Mosquera-Rural) para realizar el proceso de reconocimiento, habilitación de prototipo y socialización de resultados	\$100.000 (Inversión Propia)
Materiales y suministros	Microsoft Azure Suscripción (Estudiante)	\$350.000 (Beneficio Microsoft-UNAD)
Bibliografía		
TOTAL		\$1.750.000

Fuente: (Elaboración propia)

Diseño propuesto de la solución

Ilustración 1

Diagrama Conceptual – Diseño Solución



Fuente: (Elaboración propia)

De acuerdo con el diagrama conceptual el diseño la solución se divide en (2) grandes etapas:

Etapa (Dispositivos IoT)

Esta etapa representa los dispositivos que permitirán realizar el reconocimiento de las condiciones ambientales e integración con el sistema embebido que realizara un reenvió de los datos directamente hacia la capa de procesamiento, analítica y visualización en Microsoft Azure.

Tabla 3

Especificaciones técnicas – prototipo con microprocesador y sensor (IoT).

Componente	Características	Descripción
------------	-----------------	-------------

Sensor BME280 (BOSCH, 2013)	Rango de Operación	Presión 300 – 1100 hPa Temperatura -40C° hasta 85°C
	Recolección de información	
	Voltaje Alimentación	1.2V hasta 3.6V
	Protocolo de Comunicaciones	I ² C y SPI
	Consumo de Corriente	3.6 uA a 1 Hz al medir (Humedad, Presión y Temperatura)
	Respuesta sensor humedad	1 segundo
	Precisión sensor humedad	±3% humedad relativa
	Ruido RMS sensor presión	0.2 Pa
	Precisión de sensor presión	±0.25%
	Precisión de sensor temperatura	±1.5Pa/K registra un cambio adicional de 1°C
	Velocidad Procesador	1500 MHz
	Memoria de Acceso Aleatorio (RAM)	4 Gb
	Puertos USB	4 total (2 USB 2.0 + 2 USB 3.0)
RaspberryPi 4 (Raspberry Pi Foundation, 2014)	Voltaje de Alimentación	5V DC a 3A DC (USB-C) Power Over Ethernet - Disponible

Procesamiento de datos previo a envío a Nube	Suministro de corriente GPIO	16mA por Puerto GPIO
	Suministro de voltaje GPIO	3.3V o 5V
	Conectividad	40 Pins (GPIO) WIFI 802.11ac/n Bluetooth 5.0
	Protocolos	I2C y SPI UART TLS MQTT (Message Queue Telemetry Transfer)

Fuente: (Elaboración propia)

El uso del prototipo -rápido- basado en el sistema embebido tipo microcontrolador RP2040, nos permite realizar la identificación y aprendizaje del funcionamiento del sensor BME280 de acuerdo con las especificaciones funcionales y técnicas descritas por el fabricante, de esta forma nos aseguramos que la información que muestra el sensor es coherente con los resultados esperados.

Tabla 4

Especificaciones técnicas – prototipo con microcontrolador

Componente	Características	Descripción
	Velocidad Procesador	133 MHz
	Memoria de Acceso Aleatorio (RAM)	2 Mb
	Puertos USB	1 total Micro-USB 2.0

RaspberryPi PICO RP2040 (RaspberryPi, 2020) Procesamiento de datos	Voltaje de Alimentación	5V DC a 1A DC (
	Suministro de corriente GPIO	16mA por puerto
	Suministro de voltaje GPIO	3.3V o 5V
	Conectividad	40 Pins (GPIO) Wifi 802.11ac/n
	Protocolos	I2C y SPI UART
	Conectividad	16 Pins (compatible I2C)
LCD 2x16 (Sparkfun, 2007)	Dirección de memoria default I2C	0x76
Visualización datos LCD	Voltaje de alimentación	5V DC
	Corriente requerida	2.5mA
	Corriente requerida backlight (ON)	16 mA

Fuente: (Elaboración propia)

Etapa (Componentes Nube)

Esta etapa del diseño propuesto es la pieza central del mismo, debido a que con la información suministrada por los sistemas embebidos, se realiza la interconexión de las diferentes capacidades nativas con el objetivo de obtener de una forma ágil y sencilla la información de interés resultante mediante la visualización web o móvil de acuerdo con las capacidades propias de la plataforma de nube publica.

Tabla 5
Especificaciones técnicas de los componentes del diseño –nube

Componente	Características	Descripción
IoT HUB (Microsoft, 2017) Conexión lógica del dispositivo de IoT	Tipo Servicio	Plataforma como Servicio (PaaS)
	Niveles de Uso	Basic: Unidireccional Estándar: Bidireccional
	Velocidad de Envío	B1, S1 =111 Kb / min B2, S2 =16 Mb / min B3, S3 =814 Mb /min
	Capacidad de Procesamiento	B1, S1 =278 Mensajes / min B2, S2 =4167 Mensajes / min B3, S3 =208333 Mensajes/min
	Protocolos	MQTT (Message Queue Telemetry Transfer) TLS 1.2
	Tamaño mensaje	4 Kb
	Región Azure cercano	EAST US 2 EAST US
	Tipo Servicio	Plataforma como Servicio (PaaS)
	Programación	Stream Analytics Query Language
	Modelo Precio	Unidades de procesamiento

Stream Analytics (Microsoft, 2019) Procesamiento de datos recibidos desde el dispositivo en tierra	Entradas	Event Hub IoT Hub Blob Storage	
	Almacenamiento Datos	Azure Data SQL Database EventHub PowerBI Cosmos DB	
	Procesamiento Temporal	Si	
	Formatos Soportados	Avro JSON CSV UTF-8	
	Escalabilidad	Particiones de consulta	
	Azure Function (Microsoft, 2019) Transformación de datos	Tipo de Servicio	Plataforma como Servicio (PaaS)
	Programación	C#, F#, Java, Node.js, Python	
	Modelo Precio	Por función ejecutada y consumo de recurso asociado	
	Entradas	Blob Storage Azure Cosmos DB	
	Almacenamiento Datos	Blob Storage Azure Cosmos DB Table Storage	

Cosmos DB (Microsoft, 2019) Almacenamiento de datos recopilados	Procesamiento Temporal	No
	Formatos Soportados	Código personalizado
	Escalabilidad	Según tipo de plan
	Tipo de Servicio	Plataforma como Servicio (PaaS)
	Modelo Precio	Plataforma Aprovisionada Auto escalamiento Standard (Manual) Reserva Serverless
	Copia de seguridad	2 copias gratis/Mes
	Unidad de procesamiento (Pago)	RU/s (Request Units / Segundo)
	SLA	99.999 a nivel mundial.
	Tipo de Servicio	Plataforma como Servicio (PaaS)
	Logic Apps (Microsoft, 2019) Integración de procesos para visualización de datos.	Conectores
Integración		100+ Conectores (PaaS) Azure Function B2B
Procesamiento		XML CSV

Unidad de Procesamiento (Pago)	Tiempo ejecución (App)
SLA	99.999 a nivel mundial

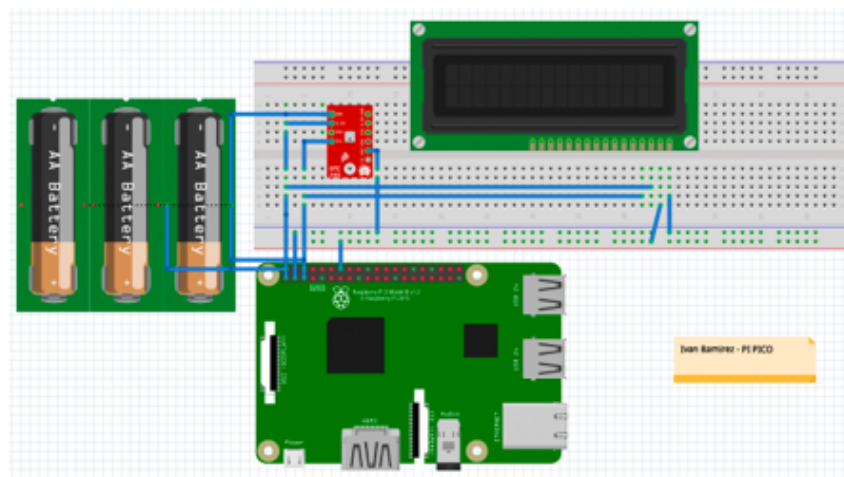
Fuente: (Elaboración propia)

Esquema conexión física – Prototipo inicial (Microcontrolador RP2040)

Para garantizar el correcto funcionamiento del sensor BME280 a nivel de conexión vía I2C, configuraciones mínimas requeridas y obtención de los datos de interés, previo a la utilización y consumo de recursos (créditos) de Microsoft Azure, debido a que es utilizado como capa de recepción, analítica, procesamiento de datos y visualización de estos, se realiza la construcción de un prototipo rápido previo al proceso de integración con Azure IoT Hub, se realiza la construcción del mismo mediante un microcontrolador RP2040, como se evidencia en la imagen.

Ilustración 2

Esquema de conectividad - prototipo con microcontrolador



Fuente: (Elaboración propia)

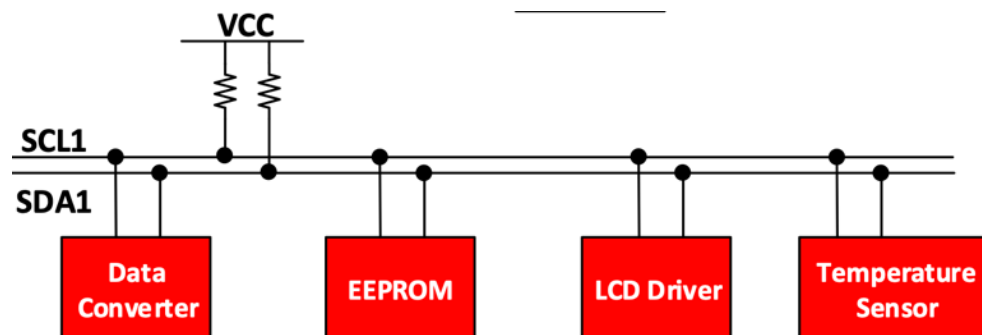
La ilustración de conectividad física nos permite evidenciar las condiciones iniciales que requiere el prototipo -ágil- del sistema embebido RaspberryPi PICO propuesto para su correcto funcionamiento, en términos de alimentación de voltaje portátil ($4.5V \pm 5V$ DC), conectividad con el sensor de condiciones ambientales y un LCD de tamaño 2x16 que indica la recolección correcta de datos del cultivo de interés como lo son la temperatura ambiente y humedad relativa.

Protocolo I2C

El funcionamiento del protocolo es requerido la utilización de un dispositivo maestro quien gobierna (mediante el uso de direcciones de memoria) las operaciones de entrada/salida de datos entre los esclavos interconectados por los pines SCL (Reloj) y SDA Datos).

Ilustración 3

Esquema conceptual I2C



Fuente: (TEXAS, 2006)

La conectividad mediante el uso del protocolo I2C esta definida por los siguientes (4) pines de forma general:

Tabla 6
Descripción de Conectividad I2C

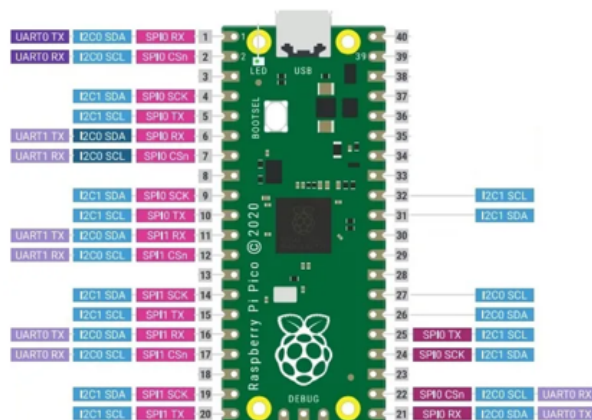
<i>VCC</i>	<i>Pin utilizado para la alimentación de voltaje y corriente de los sistemas requeridos, (3.3V o 5V)</i>
<i>GND</i>	<i>Tierra del circuito</i>
<i>SDA</i>	<i>Pin utilizado para la transmisión/recepción de datos</i>
<i>SCL</i>	<i>Pin utilizado para sincronización de proceso mediante el uso el envío de señal tipo reloj.</i>

Fuente: (TEXAS, 2006)

La alimentación del LCD (Visualización de Datos) y Sensor de condiciones ambientales BME280 se realiza al hacer uso 5V debido a es requerido para el correcto funcionamiento del sensor LCD (Back Light) y de acuerdo con las hojas de especificaciones técnicas del fabricante el sensor BME280 soporta como alimentación de entrada desde 3.3V DC hasta 5V DC.

Descripción conectividad I/O para el microcontrolador RP-2040

Ilustración 4
Conectividad física (microcontrolador RP2040)



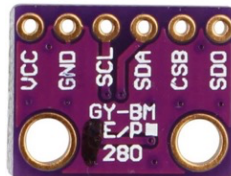
Fuente: (RaspberryPi, 2020)

Para efectos de la conectividad y el uso óptimo y mínimo de los puertos físicos del sistema embebido con respecto al sensor BME280 y el componente de visualización LCD se utilizará el protocolo de comunicaciones I2C utilizando el canal 0 en los puertos de propósito general GPIO (1,2), de esta forma la conectividad esta limitada a la alimentación del sistema (VCC, GND) y los puertos requeridos por I2C (SDA y SCL).

Descripción conectividad I/O para el sensor BME280

Ilustración 5

Conectividad física (Sensor BME280)



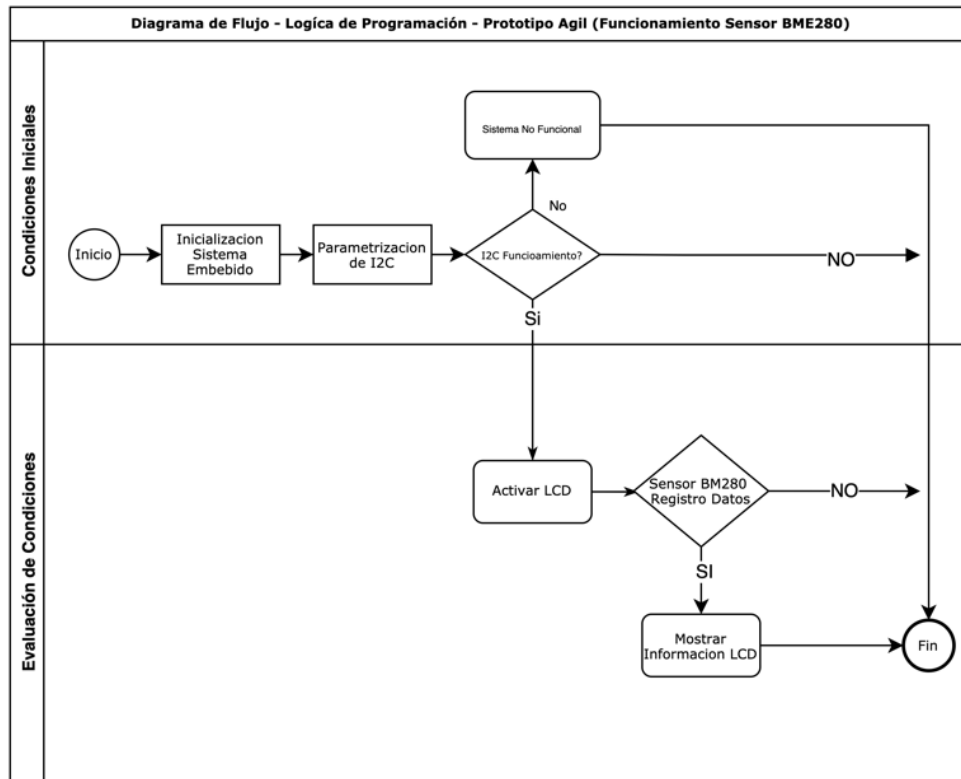
Fuente: (BOSCH, 2013)

Debido a que la conectividad lógica del sistema embebido con el sensor es vía I2C según (BOSCH, 2013), se hace utilización de la dirección de memoria 0x77, la cual es configurada al momento de inicializar el funcionamiento del prototipo.

Algoritmo utilizado sistema embebido (Microcontrolador RP-2040)

Esquema 2

Algoritmo, funcionamiento sensor BME280



Fuente: (Elaboración propia)

Código Fuente - utilizado sistema embebido (RP-2040) – Micro Python

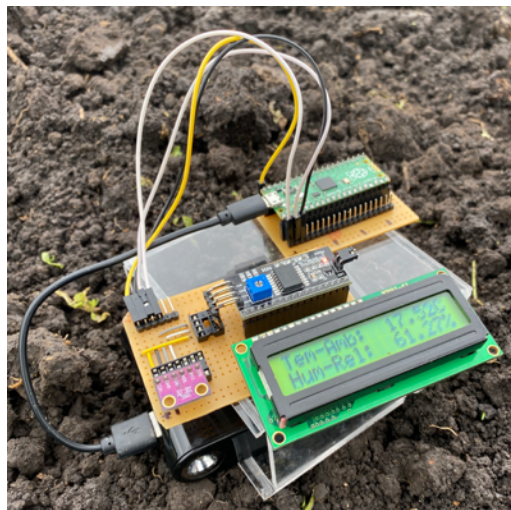
Ilustración 6

Implementación en Hardware (Prototipo con RP2040)

```

from machine import Pin, I2C
from time import sleep
import utime, BME_280
from lcd import Lcd_Api_reg
from picoi2c import I2c_picolcd

i2c = I2C(SCL(1), SDA(0), freq=200000)
I2C_ADDR = 0x76
I2C_NUM_ROWS = 2
I2C_NUM_COLS = 16
while True:
  
```



```

bme = BME280.BME280(i2c=i2c)
temp = bme.temperatura
hum = bme.humedad
lcd.putstr(Temp-Amb)
lcd.putstr('\n')
lcd.putstr(Hum-Rel)
lcd.putstr('\n')
sleep(1)

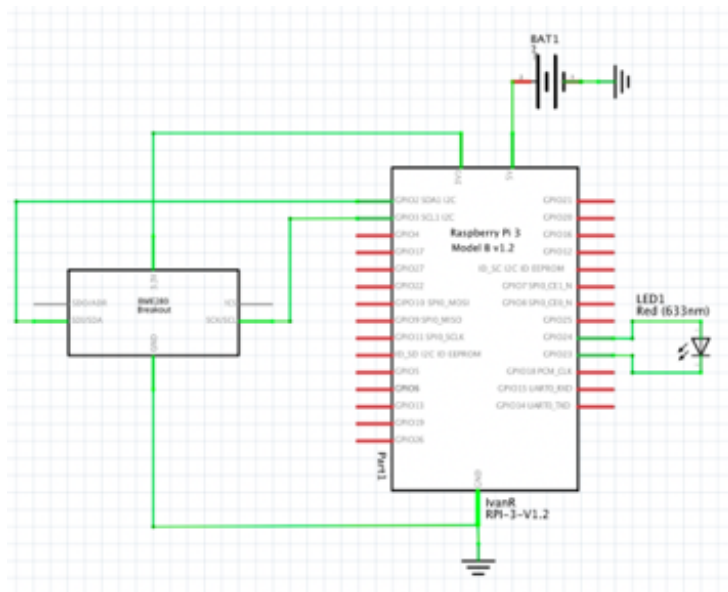
```

Fuente: (Elaboración propia)

Representación conexión electrónica – Sistema Embebido - Raspberry Pi 4

Ilustración 7

Representación conexión electrónica – Modelo IoT



Fuente: (Elaboración propia)

El diagrama lógico de conectividad compartido, nos permite identificar particularmente como mediante el protocolo de comunicaciones I2C y el uso de (2) hilos de conexión se realizar la interconexión del sistema embebido RaspberryPi el cual ejecuta un SO Open-Source tipo (Linux) el cual interactúa con el sensor BME280 y de esta

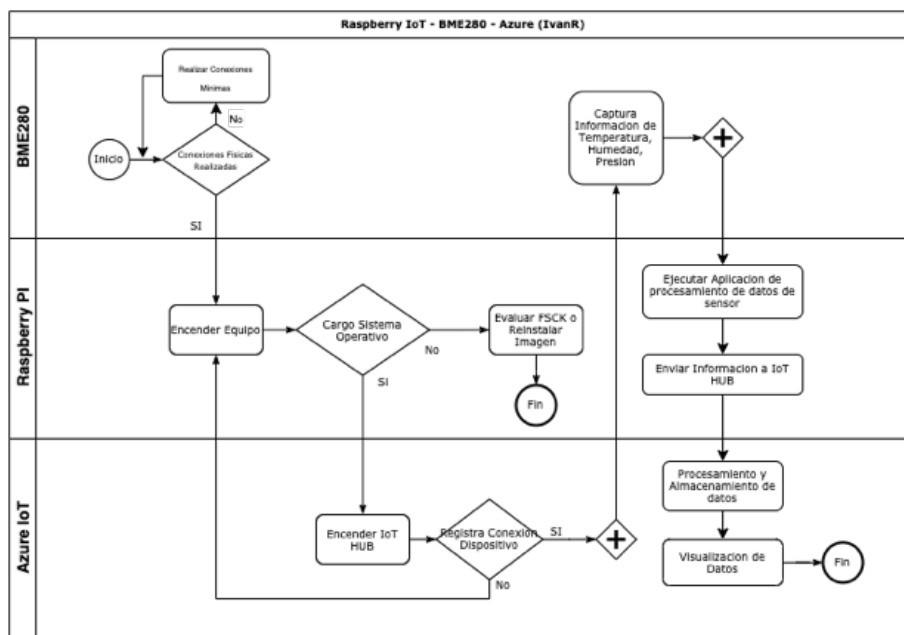
forma realizar la captura de las condiciones ambientales de (Humedad, Presión, Temperatura) y mediante el procesamiento de datos en memoria realizar el envío a través de WIFI al sistema de información de Azure IoT Hub, previamente configurado para dicho fin.

La alimentación del sistema embebido se realiza mediante la utilización de un Adaptador de 2A (recomendado por el fabricante) sin embargo, como parte del proceso de optimización del consumo de corriente para efectos de la zona rural se recomienda reducir los recursos de computo disponibles mediante la utilización de un sistema embebido optimo para dicho fin como lo es RaspberryPi Zero W (1,2A).

Algoritmo utilizado sistema embebido (Microprocesador ARM - Open-Source)

Esquema 3

Algoritmo, Ejecución procesos – Modelo IoT



Fuente: (Elaboración propia)

Código base utilizado para interconexión de sistema de simulación de IoT

```

const wiringpi = require('wiring-pi');
const ClientIoT = require('azure-IoT-device').Client;
const Data = require('azure-IoT-device').Message;
const Protocol_Initialized = require('azure-IoT-device-mqtt').Mqtt;
const BME280_Driver = require('bme280-sensor');

const BME280_OPTION = {
  i2cBusNo: 0, // default es 1
  i2cAddress: BME280.BME280_DEFAULT_I2C_ADDRESS() // defecto es 0x77
};

const Azure_connectionString_IoT = 'HostName=IoT-HUB-RPi4-BME580.azure-
devices.net;DeviceId=RPi4_IvanR;SharedAccessKey=n5oMJDIZTzlsS/E+gnlpTYwTyYHLFuw9W0vLNuc=';

var Message = false;
var messageId_data = 1;
var client, sensor;

function getMessage_BME280(cb) {
  messageId++;
  sensor.readSensorData()
    .then(function (data) {
      cb(JSON.stringify({
        messageId_data: messageId_data,
        deviceId: 'Raspberry Pi-IoT Cultivo Lechuga,
        temperature: data.temperature_C,
        humidity: data.humidity
      }), data.temperature_C > 30);
    })
    .catch(function (err) {
      console.error('Fallo al evaluar condicion del sensor: ' + err);
    });
}

```

```

function sendMessage() {
  if (!sendingMessage) { return; }

  getMessage(function (content, temperatureAlert) {
    var message = new Message(content);
    message.properties.add('temperatureAlert', temperatureAlert.toString());
    console.log('Sending message: ' + content);
    client.sendEvent(message, function (err) {
      if (err) {
        console.error('Fallo al enviar el mensaje al IoT Hub');
      } else {
        console.log(Mensaje Enviado a Azure - IoT Hub);
      }
    });
  });
}

```

Ilustración 8

Implementación en Hardware (Prototipo con RaspberryPi 4)



Fuente: (Elaboración propia)

El dispositivo RaspberryPi 4, posee capacidades de tecnología inalámbrica vía Bluetooth, WIFI lo que permite realizar uso de redes domésticas para cultivos de pequeña escala, para obtener el tratamiento, procesamiento y envío de datos de forma segura vía HTTPS con TLS hacia la nube pública de Azure mediante WIFI, haciendo uso de las

capacidades de seguridad nativas del protocolo IEEE 802.11i-2004 definidas por IEEE (2009); la conectividad del sensor BME280 (Medición de Tres Variables (Humedad, Presión, Temperatura)), está basado en el protocolo I2C, con un consumo de corriente mínimo (3.6uA) (BOSCH, 2013), para lo cual se puede transmitir los datos mediante utilización de un enlace físico de tipo (cable) o en su defecto en una fase de diseño posterior utilizar un modelo PICO de RaspberryPi (Nodo de Borde), que permitirá interactuar con el sensor vía I2C y transmitir hacia (Nodo de Propagación) mediante un módulo de RF (LoRa) Sx1278, la información emitida por el sensor del cultivo para su posterior envío a Microsoft Azure IoT Hub.

Caracterización del cultivo de Hortalizas

La caracterización se realiza mediante la utilización de un formulario electrónico provisto por Microsoft Forms, el cual se encuentra disponible en el siguiente enlace <https://forms.office.com/r/HAd7C3yvgn>, este formulario electrónico permite identificar los siguientes aspectos del cultivo:

Tabla 7

Caracterización del cultivo en la zona rula de Mosquera

Pregunta	Tipo Respuesta	Respuesta
Nombre de la Finca	Abierta	Teresa – Parcelas
Propietario de la finca	Si / No	No
Antigüedad de residencia	1 – 3 años 3 – 7 años 7 -15 años	7 -15 años

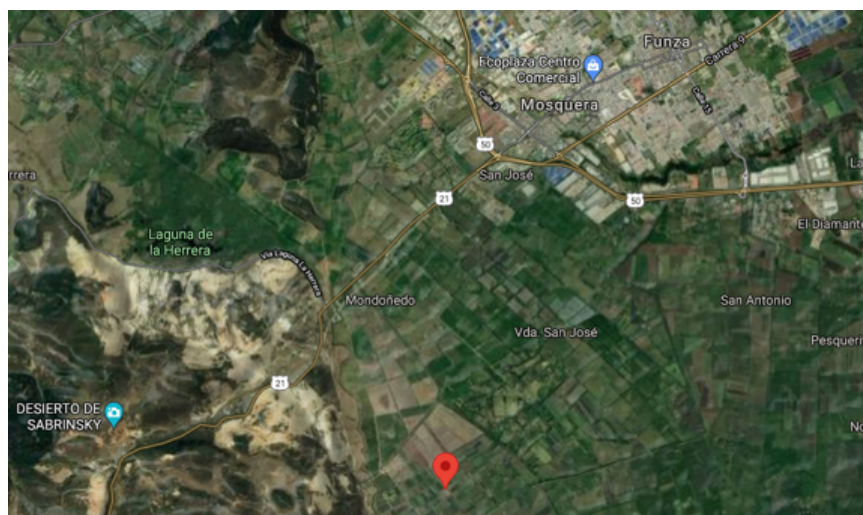
	Mas de 15 años	
Área de la finca	1000m – 3000m	6000m – 10000m
	3000m – 6000m	
	6000m – 10000m	
	Mas de 10000m	
Conoce actualmente las condiciones optimas de siembre del cultivo.	Si / No	No
El área cultivada es compartida con otro tipo de Hortalizas	Si / No	Si
Que área (metros cuadrados) actualmente representa el cultivo de Lechuga	10m – 100m	Mas de 500m
	100m – 250m	
	250m – 500m	
	Mas de 500m	
Con que frecuencia realiza la siembra/cultivo de Lechuga por año	1	2
	2	
	3 o mas	
Que tipo de Lechuga actualmente Cultiva	Crespa	Lisa
	Lisa	
	Ambas	
El cultivo se desarrolla al nivel del suelo	Si / No	
Cuantas Unidades (Plántulas) aproximadamente siembra en cada cosecha	Menos de 250	250-2500
	250 – 2500	
	750 – 1500	
	Mas de 1500	
Actualmente cuenta con sistemas de medición electrónicos y/o supervisión profesional asistida del cultivo.	Si / No	No

Posee actualmente mecanismos de control y manejo del (Sistema Riego).	Si / No	No
Posee actualmente mecanismos de medición de temperatura optima del cultivo.	Si / No	No
El cultivo de Lechuga esta bajo Poli sombra	Si / No	No
Cuántas Unidades por Canastilla regularmente cosecha	Abierta	
Cuántos Kilos por cultivo se obtiene aproximadamente por cada cosecha.	Abierta	
Precio en (pesos colombianos) regularmente por Unidad.	\$700 \$900 \$1100 \$1300	\$900
Tiene conocimiento de como las condiciones ambientales del cultivo pueden mejorar la calidad del producto que se comercializa.	Si / No	No

Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 9

Ubicación geográfica del cultivo en interés



Fuente: (Elaboración propia)

Ilustración 10*Preparación tierra para cultivo de Lechuga*

Fuente: (Elaboración propia)

Las condiciones actuales de siembra y de cosecha de hortalizas están sujetos a la oferta y demanda del mercado de comercialización y a discreción completamente por parte del propietario del cultivo donde se identifico que adicionalmente a la siembra de lechugas, se realiza el cultivo de (Apio, Cebolla Puerro, Brócoli, etc.), sin embargo es importante aclarar que el control de humedad es de tipo tradicional (sin control o automatización) por los agricultores de la zona.

Ilustración 11

Registro fotográfico de diferentes tipos de cultivos en la zona



Cultivo de brócoli



Cultivo de Apio



Suministro de riego (no automatizado)



Control de humedad (manual-aspersor)

Fuente: (Elaboración propia)

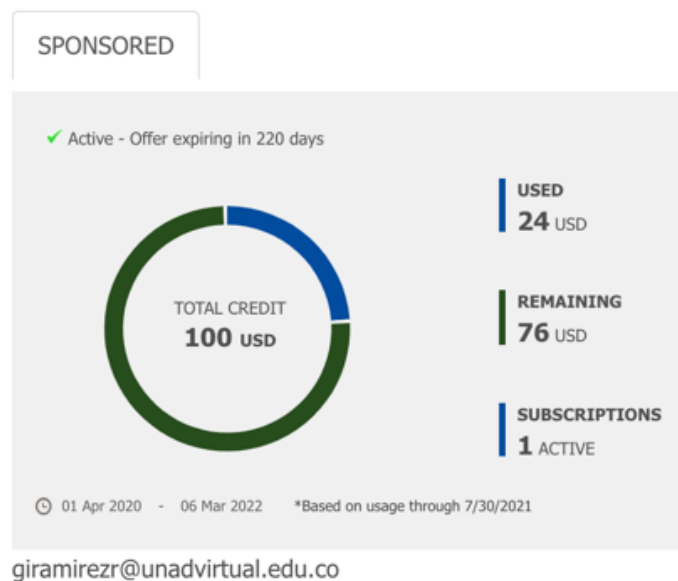
Implementación de la solución para componentes nube en Microsoft Azure.

Para obtener el beneficio de 100 USD anuales, se realizó la activación del beneficio de Azure para estudiantes cual nos permitirá habilitar los servicios de Azure IoT Hub requeridos para el procesamiento y analítica de datos.

Este beneficio permite el desarrollo y construcción de prototipos, que requieran interactuar con los servicios de tipo serverless de Microsoft Azure, para el caso del proyecto se utilizan los servicios de Azure Stream Processing, Azure Logic App y un modelo de datos mediante PowerBI; es importante aclarar que la suscripción habilitada y el beneficio en mención estará vigente hasta el próximo 06 de marzo de 2022.

Gráfico 1

Utilización y consumo disponible – Beneficio Estudiante

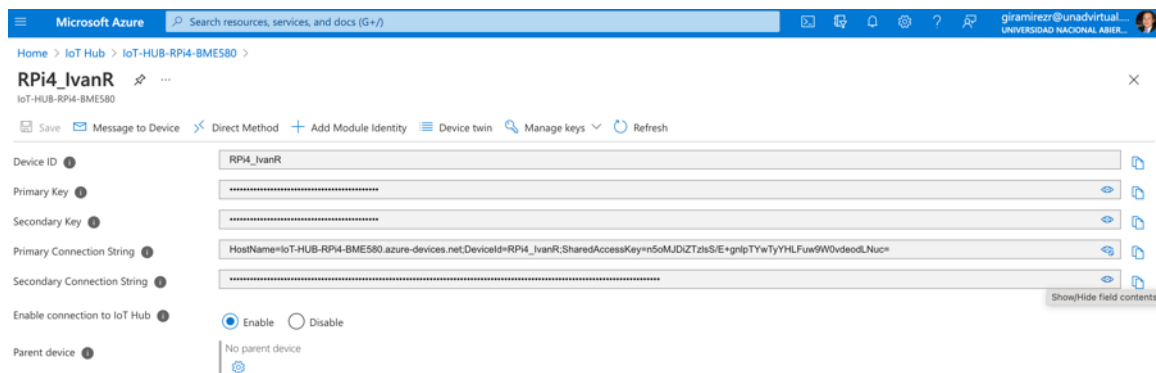


Fuente: (Elaboración propia)

Posteriormente se realiza la habilitación y pre-registro de dispositivo de IoT mediante el uso de la capacidad de Azure IoT Hub, como se observa en la siguiente imagen.

Ilustración 12

Configuración del dispositivo IoT en Azure IoT Hub



Fuente: (Elaboración propia)

La creación de las tareas automatizadas de procesamiento de datos en Azure Stream Analytics mediante el uso de ARM (Microsoft, 2021), permite reutilizar el redespigie para procesos de implementación ágil y reutilización de configuraciones para etapas posteriores.

```
{
  "$schema": "http://schema.management.azure.com/schemas/2015-01-01/deploymentTemplate.json",
  "contentVersion": "1.5.0.0",
  "parameters": {
    "name": {
      "type": "RPi4-IoT-HuB-StreamJobAnalitycs"
    },
    "location": {
      "type": "East-U2"
    }
  }
}
```

```

    },
    "jobType": {
      "defaultValue": "Cloud",
      "type": "String"
    },
    "contentStoragePolicy": {
      "defaultValue": "SystemAccount",
      "type": "String"
    },
    "compatibilityLevel": {
      "type": "String"
    },
    "identity": {
      "defaultValue": {
        "type": "SystemAssigned"
      },
      "type": "Object"
    }
  },
  "resources": [
    {
      "type": "Microsoft.StreamAnalytics/StreamingJobs",
      "apiVersion": "[parameters('apiVersion')]",
      "name": "[parameters('name')]",
      "location": "[parameters('location')]",
      "identity": "[if(parameters('enableMsi'), parameters('identity'),
json('null'))]",
      "properties": {
        "sku": {
          "name": "[parameters('sku')]"
        },
      },
    }
  ]
}

```

```

"outputErrorPolicy": "stop",
"eventsOutOfOrderPolicy": "adjust",
"eventsOutOfOrderMaxDelayInSeconds": 0,
"eventsLateArrivalMaxDelayInSeconds": 5,
"contentStoragePolicy": "[parameters('contentStoragePolicy')]",
"jobType": "[parameters('jobType')]",
"dataLocale": "en-US",
"transformation": "[if(parameters('enableMsi'), json('null'),
parameters('transformation'))]",
"jobStorageAccount": "[if(equals(parameters('contentStoragePolicy'),
'SystemAccount'), json('null'), parameters('jobStorageAccount'))]",
"compatibilityLevel": "[parameters('compatibilityLevel')]
}
}
]
}

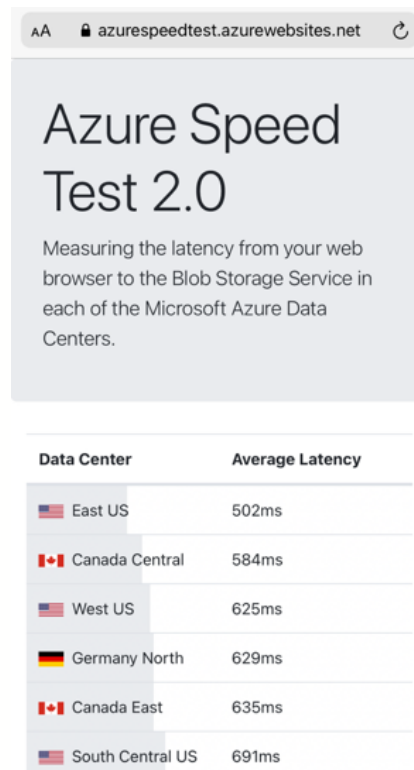
```

Conectividad 4G registrada en la zona rural de Mosquera.

Como parte del proceso de validación de conectividad requerido para el envío de datos recolectados hacia Microsoft Azure, se realizó una validación directa sobre el cultivo para identificar los tiempos de respuesta que se obtienen a nivel de transmisión de datos.

Gráfico 2

Tiempo de envío de datos hacia Azure desde la zona rural



Fuente: (Microsoft, 2021)

Debido a lo anteriormente evidenciado, se realizó un ajuste de envío de datos hacia Azure en ventanas de mínimo 15 segundos, donde el muestreo de las condiciones ambientales con el sensor BME280 se realiza cada 5 segundos y el envío de los datos se realiza cada 5 segundos, de esta forma se garantiza que el sistema tenga tiempo de envío por internet y respuesta de recepción de datos de forma satisfactoria.

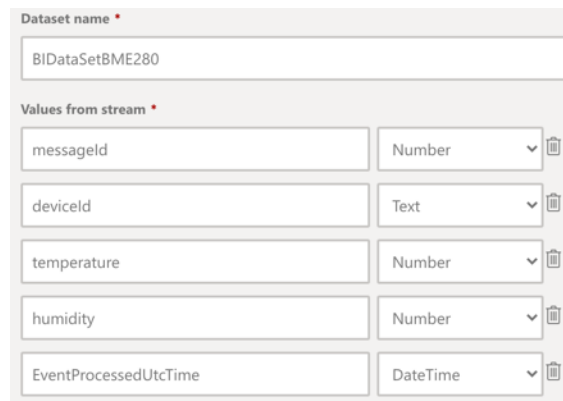
Configuración del almacenamiento de datos mediante PowerBI

La estructura propuesta es de tipo tradicional estructurada mediante la definición de valores con diferentes tipos de datos, (Número, Texto, Fecha), esto permite almacenar

de forma ordenada y organizada los datos obtenidos por parte del sensor BME280 y que fueron transmitidos por el sistema embebido RaspberryPi 4.

Ilustración 13

Definición de estructura de datos



Dataset name *	
BIDataSetBME280	
Values from stream *	
messageld	Number
deviceld	Text
temperature	Number
humidity	Number
EventProcessedUtcTime	DateTime

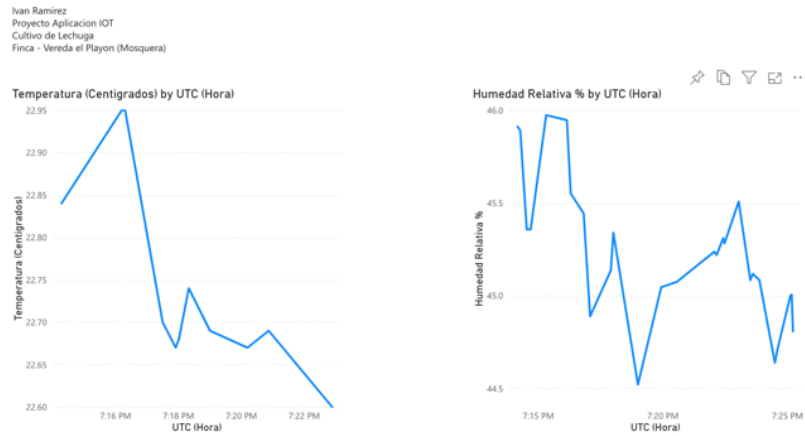
Fuente: (Elaboración propia)

Visualización de datos mediante - Microsoft PowerBI.

Los datos que han sido almacenados previamente en la estructura tradicional son visualizados de forma web por el desarrollador del prototipo y agricultor, la velocidad de refresco se configura cada 30 segundos para observar el comportamiento del cultivo en un tiempo de 15 minutos como parte de la socialización de resultados con el agricultor.

Gráfico 3

Representación web de las condiciones ambientales

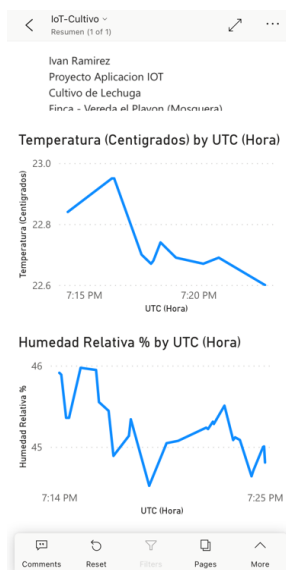


Fuente: (Elaboración propia)

Microsoft PowerBI, provee las capacidades de forma nativa si desarrollo extensivo o complejo que permite que la información también pueda ser visualizada rápidamente desde un dispositivo móvil como se muestra a continuación.

Gráfico 4

Representación móvil de las condiciones ambientales



Fuente: (Elaboración propia)

Con lo anterior se concluye, como es posible obtener las condiciones ambientales de un cultivo y mediante el uso de sistemas embebidos, Linux, código abierto y Microsoft Azure la visualización de los datos de interés de forma ágil, minimizando los tiempos de desarrollo, construcción y pruebas de las soluciones propuestas para escenarios de requerimientos reales.

Plan de mejoras propuesto al prototipo y solución inicial.

Como parte del proceso de mejora continua que se evidencia durante las etapas de construcción y pruebas de las soluciones propuestas, se comparte a continuación oportunidades de mejoras al planteamiento inicialmente propuesto.

Tabla 8

Plan de mejoras

Prioridad	Descripción	Tecnología Adicional
Alta	Gestión de Alertas de funcionamiento de Sensor BME280, debido a que solo se valida durante la conexión y envío inicial, posteriormente la desconexión o mal funcionamiento, solo se observa por la pérdida de datos vía Azure. Pero no de forma preventiva.	Programar envío de notificación de alertas vía correo electrónico en Azure.
Alta	Alimentación del sistema, debería tener un componente de respaldo de alimentación, que	Manejo de FSCK (Preventivo)

	<p>soporte carga de 1,25A-2A, debido a que una desconexión abrupta y encendido sin control, puede generar una falla en el sistema de archivos Ext3 y provocar una falla irrecuperable del sistema de arranque.</p>	<p>UPS – Portable mínimo 4000 mA</p>
Media	<p>Manejo de Impedancia, Línea de transmisión, la impedancia (resistencia) de los cables, puede afectar los datos transmitidos debido a que por defecto el protocolo I2C no maneja funciones de corrección de errores de transmisión como CRC.</p>	<p>Programación CRC sobre I2C. Modulo LORA (Opcional) – con I2C para Sensor BME280</p>
Media	<p>Debido a que actualmente se utiliza uno autogenerado y genérico es recomendado la gestión de acceso vía SSH (Internet), con certificado digital publico y clave simétrica asociada individual por dispositivo IoT, mediante uso de Bóveda de almacenamiento de Llaves, con el objetivo de administrar de forma segura el</p>	<p>Adquisición de Azure Key Vault.</p>

dispositivo en entornos no regulados (Redes Publicas).

Media	Mediante Azure Functions, generar alertas tempranas de comportamiento de cultivo, a partir de la comparación de los rangos críticos de medición del cultivo (Temperatura, Humedad, Presión).	Programación adicional alertas condiciones criticas cultivo Azure Functions.
Baja	Conectividad de Internet, es fundamental para el correcto funcionamiento de la solución para garantizar la transmisión de datos hacia Azure, aunque existe una cache de almacenamiento esta depende directamente del tamaño de la tarjeta SD, la cual debe ser como mínimo 8 Gb , para un cache de 256Mb de datos alrededor de 14 días, con mediciones cada 4 horas por sensor.	Aumento de cache local. Modulo SIMCARD - Móvil (Opcional)
Baja	Cifrado de los datos en reposo local, en caso de ser requerido por la regulación local, o requerimientos del propietario.	Utilización de la función DM-Crypt de Debian Linux.

Baja	<p>Documentación, (Hoja de Vida) de cada uno de los dispositivos IoT asociados, por cultivo y llave de IoT HUB en Azure para mantener la trazabilidad e histórico del cultivo sin importar el dispositivo IoT utilizado (Ante falla irrecuperable).</p>	<p>Base de datos (Excel, SQL Server)</p>
------	---	--

Fuente: (Elaboración propia)

Recomendaciones de uso

A continuación, se describen las condiciones mínimas y periodicidad (diaria o cada 2 meses) requeridas para el correcto funcionamiento de la solución propuesta en términos de extender la vida útil de los componentes electrónicos y estabilidad del sistema operativo utilizado en el sistema embebido, adicionalmente se realizan recomendaciones de gestión de costos sobre Microsoft Azure:

Tabla 9

Recomendaciones de uso

Periodicidad	Descripción Actividad	Acción recomendada (Si Falla)
--------------	-----------------------	-------------------------------

Diario	Validación conectividad y transmisión de datos de dispositivo IoT con Azure. (Revisión desde Azure) vía Web.	Validar se encuentre encendido el dispositivo y con conectividad a internet mediante SSH.
Diario	Temperatura máxima de funcionamiento de RaspberryPi 4, con uso correcto del disipador de calor y ventilador del procesador acoplado al sistema.	Validar mediante SSH o alertas de Azure que no supere 40° C, y que el disipador/ventilador de calor del procesador se encuentre correctamente instalado.
Diario	Revisar las condiciones de alimentación del sistema de 5V DC, y 3A	Se valida automáticamente mediante las variables del sistema operativo.
Bimensual	Ejecutar de forma programada en horario no hábil una validación del sistema de archivos para evitar errores de lecto/escritura	FSCK programado mediante CRON acordado con el propietario del cultivo, en franjas de no medición del cultivo.

Bimensual	Depuración de archivos de cache locales y temporales del sistema.	Ejecución de rutina automática de mantenimiento propia de EXTFS3 y Debian.
Mensual	Validación de data histórica y costos asociados a los servicios de Azure Serverless requeridos para el procesamiento y visualización de datos del cultivo.	Actividad de gestión propia de servicios de nube publica (Azure), con las credenciales de administrador global del servicio.

Fuente: (Elaboración propia)

Conclusiones

Se realizó las definiciones de los conceptos claves que permitan identificar la terminología requerida para comprender la descripción, definición y planteamiento del problema correspondiente.

Se logró identificar técnica y funcionalmente las condiciones ambientales óptimas requeridas para el cultivo de lechuga.

Se analizó las capacidades tecnológicas de IoT al utilizar capacidad de cómputo de bajo costo y su integración correspondiente a nivel de sensores como y computación de tipo serverless que permitan dar solución tecnológica a la problemática previamente descrita.

Se conceptualizó como a partir de las tecnologías de bajo costo tipo IoT se puede impactar significativamente la calidad y los procesos actuales de los cultivos de lechugas y hortalizas en la ciudad de Mosquera.

Se definió los objetivos propuestos a desarrollar en el presente trabajo de grado y su relación a nivel de tiempos requeridos de implementación y recursos asociados para la obtención de estos.

Se identificó conceptualmente los elementos involucrados en la solución propuesta de IoT, así como sus características técnicas para el desarrollo de este.

Se realizó la construcción de los esquemas de conectividad física y planos electrónicos, asociados con la integración de RaspberryPi y Azure IoT.

Se desarrollo la construcción del prototipo de interconectividad del sistema de IoT con serverless de Azure.

Se identifico todos los prerequisites de uso de protocolos (I²C, SSH) entre otros necesarios para garantizar el correcto despliegue de la solución.

Se realizo la construcción del prototipo mediante el uso de tarjeta de uso universal con el objetivo de minimizar el error a nivel de conectividad y/o interrupción del envío de datos debido a falencias a nivel de cableado como ocurrió inicialmente en la fase de construcción previa.

Se desarrollo el algoritmo de ejecución por bloques de los diferentes componentes relacionados con el funcionamiento de la solución IoT.

Se realizo la identificación y construcción de los diferentes elementos y condiciones que se deben evaluar periódicamente para garantizar el correcto funcionamiento de la solución.

Referencias

- Albayrak, A. (2017). IoT-based Real-Time Telemetry System Design. En *International Conference on Future Internet of things and Cloud* (págs. 99-104). Prague: IEEE.
- Alcaldía Municipal Mosquera. (2021). *Geografía, Ecología y Economía de Mosquera*.
Obtenido de
<https://mosqueracundinamarca.micolombiadigital.gov.co/municipio/geografia--y-economia-de-mosquera>
- Amazon. (2013). *Acerca de AWS*. Obtenido de <https://aws.amazon.com/es/about-aws/>
- ARM. (2020). *Cortex A72*. Obtenido de <https://www.arm.com/products/silicon-ip-cpu/cortex-a/cortex-a72>
- BOSCH. (2013). *Humidity Sensor 3in1* . Obtenido de <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>
- Brewster, C. (2017). *IoT in Agriculture, Designing a Europe-Wide Large-Scale Pilot*.
Obtenido de http://cbrewster.com/papers/Brewster_CM17.pdf
- Camara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual Lechuga*. Obtenido de
<https://www.ccb.org.co/content/download/13923/176629/.../Lechuga.pdf>
- DANE. (2017). *El cultivo de lechuga y un estudio de caso de los costos de producción en el municipio de Mosquera*. Obtenido de
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_sep_2017.pdf

- Deloitte. (2019). *IOT - Internet Of Things*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>
- FAO . (2015). *Textura Suelo*. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s06.htm
- IEEE. (2009). *Survey on Wireless Security Protocols (WEP, WPA, WPA2)*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/5234856>
- Info Agro. (2014). *Requerimientos Edafoclimaticos*. Obtenido de <https://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>
- Internet Society. (2016). *Breve Historia de Internet*. Obtenido de <https://www.internetsociety.org/es/internet/history-internet/brief-history-internet/>
- Microsoft. (2016). *Que es PaaS*. Obtenido de <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-is-paas/>
- Microsoft. (2017). *Azure IoT Hub*. Obtenido de <https://azure.microsoft.com/es-es/services/iot-hub/>
- Microsoft. (2018). *Que es una nube pública?* Obtenido de <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-is-a-public-cloud/>
- Microsoft. (2018). *Que es PowerBI*. Obtenido de <https://powerbi.microsoft.com/es-es/what-is-power-bi/>

- Microsoft. (2019). *Stream Procesing*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/data-guide/technology-choices/stream-processing>
- Microsoft. (2019). *Modelo Precios Cosmos DB*. Obtenido de <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/cosmos-db/>
- Microsoft. (2019). *Que es Logic App*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/logic-apps/logic-apps-overview>
- Microsoft. (2021). *Uso de Plantillas ARM*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/azure-resource-manager/templates/overview>
- Raspberry Pi Foundation. (2014). *Frequently Asked Question*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#introduction>
- RaspberryPi. (2020). *Especificaciones tecnicas, RaspberryPi Pico*. Obtenido de <https://datasheets.raspberrypi.org/pico/pico-datasheet.pdf>
- Red Hat. (2015). *Que es el Open Source?* Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/open-source/what-is-open-source>
- RedHat. (2019). *Que es Serverless*. Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/cloud-native-apps/what-is-serverless>
- Riquelme, M. C. (2012). *Influencia de los factores pre y postcosecha en la calidad de la lechuga IV Gama*. Murcia: Universidad de Murcia.

Sparkfun. (2007). *LCD Datasheet*. Obtenido de

<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>

TEXAS. (2006). *Características y funcionamiento I2C*. Obtenido de

<https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1627442755801>

VMware. (2017). *The Internet of Growing Things*. Obtenido de

<https://www.theatlantic.com/sponsored/vmware-2017/iogt/1811/>