



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**PROTOTIPO IOT PARA EL MONITOREO MICROCLIMÁTICO
EN EL CULTIVO DE BANANO EN LA FINCA "LOS TRES
HERMANOS" DEL CANTÓN NARANJAL**

AUTOR

VILLA MUÑOZ BRYAN EMILIANO

TUTORA

ING. DE LA A SALINAS LEONELA DEL ROCIO, MSc.

**NARANJAL, ECUADOR
2025**



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN

APROBACIÓN DEL TUTOR

La suscrita, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor/a, certifico que el presente trabajo de titulación: "PROTOTIPO IOT PARA EL MONITOREO MICROCLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE BANANO EN LA FINCA 'LOS TRES HERMANOS' DEL CANTÓN NARANJA," realizado por el estudiante VILLA MUÑOZ BRYAN EBELIANO, con cédula de identidad profesional de la carrera COMPUTACIÓN, Unidad Académica Programa Regional de Esmeraldas Naranja, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador, por lo tanto, se concluye la presentación del mismo.

Acertadamente

Ing. Dr. La A. Salinas Latorre Del Razo, MSc.

Mañana, 18 de mayo del 2024.



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA COMPUTACIÓN

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, doctores designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de tesis "PROTOTIPO IOT PARA EL MONITOREO MICROCLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE BANANO EN LA FINCA 'LOS TRES HERMANOS' DEL CANTÓN NARANJAL", realizada por el estudiante VILA MUÑOZ RYAN EMILIANO, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Averiguado,

Ing. Fluvia Ochoa Villar, MSc.

PRESIDENTE

Ing. Leonardo Morales Arana, MSc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Octavio Chacón Cordero, MSc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. De La A. Sarmat Lourdes, MSc.

EXAMINADOR SUPLENTE

Mañana, 10 de mayo del 2020

DEDICATORIA

Cuando giraba profunda por las oscuras y aprendidas, desde este trabajo a quienes han sido parte en mi camino.

A Dios, por brindarme la fortaleza momentánea para no rendirme y por acompañarme con su luz en los momentos más difíciles. Su guía ha sido el motor que me impulsó a seguir adelante con fe y determinación.

A mi familia, por su amor incondicional, por estar siempre presente con palabras de aliento, comprensión y sacrificio. Cada logro alcanzado refleja el esfuerzo y la entrega de todos. Gracias por enseñarme que los sueños se construyen con constancia, humildad y esperanza.

A mis amigos y maestros, por ser fuente de inspiración, por compartir sus conocimientos y motivarme a superar mis propios límites. A todos los que, con su apoyo y confianza, contribuyeron a que este camino se hiciera realidad. Los llevo con especial cariño en esta meta alcanzada.

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa, tan significativa de mi formación profesional, deseo expresar mi más sincera gratitud a todas las personas que fueron parte de este proceso.

A Dios, por concederme la fortaleza necesaria para mantenerme firme ante las adversidades, por darme la claridad para contribuir cuando los hechos requieren y por acompañarme en cada paso de este camino con su infinita bondad.

A mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por su comprensión, apoyo constante y por estar en mí incluso cuando las circunstancias parecen difíciles. Su amor, paciencia y confianza fueron el sustento que me permitió seguir adelante y alcanzar este objetivo.

A mis maestros, por su dedicación y compromiso, por compartir su experiencia y sabiduría, contribuyendo de manera esencial a mi crecimiento académico y personal. Sus enseñanzas dejaron una huella invaluable en mi formación.

Extiendo también mi reconocimiento a todas las personas que, de manera directa o indirecta, brindaron su colaboración, sus consejos y su motivación para que este proyecto llegara a concretarse. A cada uno de ustedes, mi más profunda gratitud por haber sido parte de esta miya alcanzada.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, VILLA MUÑOZ BRYAN ERILIANO, en calidad de autor del proyecto denominado "PRÓTOTIPO KIT PARA EL MONITOREO MICROCLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE BANANO EN LA FINCA "LOS TRES HERMANOS" DEL CANTÓN NARANJAL", para optar al título de INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todas las tecnologías que me pertenecen o parte de las que conforman esta obra, con fines exclusivamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 6, 8, 9, 10 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

El Lago, 19 de mayo del 2024.



VILLA MUÑOZ BRYAN ERILIANO

C.I. 09094854

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito diseñar e implementar un prototipo basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de variables microclimáticas en el cultivo de banano en la Finca Los Tres Hermanos, ubicada en el cantón Naranjal. El proyecto tiene como propósito desarrollar una herramienta tecnológica que permita recopilar, almacenar y visualizar información ambiental de manera continua, mejorando la toma de decisiones agrícolas. Para su desarrollo se emplearon sensores SHT10 y TSL2591, empacados de modo hermético, humedad y luminosidad, los cuales se integraron a un microcontrolador ESP8266 que transmite los datos hacia una base de datos para su análisis y control. La metodología aplicada se basó en el enfoque de prototipado que permitió el diseño, construcción y validación de un sistema funcional capaz de operar en condiciones reales de campo. Los resultados obtenidos demostraron la eficacia del prototipo para registrar y transmitir datos de manera estable y precisa, evidenciando variaciones ambientales que inciden directamente en la salud y productividad del cultivo. La implementación del sistema IoT contribuyó a la modernización de las prácticas agrícolas en la finca, optimizando el control de las condiciones climáticas y apoyando la prevención de enfermedades como la Sigatoka negra. Como resultado, el prototipo desarrollado representa una solución tecnológica eficiente, de bajo costo y adaptable, que impulsa una agricultura más sostenible y basada en datos reales.

Palabras clave: Humedad, Luminosidad, Temperatura, sensores microclimáticos.

ABSTRACT

The present study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based prototype to monitor microclimate variables in banana cultivation at Los Tres Hermanos Farm, located in the Nariño region. The project seeks to provide a technological tool that enables the continuous collection, storage, and visualization of environmental information, thereby improving agricultural decision-making. For its development, SHT20 and TSL2591 sensors were used to measure temperature, humidity, and luminosity. These sensors were integrated into an ESP32 microcontroller that transmits the data to a database for analysis and consultation. The applied methodology was based on a prototyping approach, enabling the design, construction, and validation of a functional system capable of operating under real field conditions. The results demonstrated the prototype's effectiveness in recording and transmitting data reliably and accurately, revealing environmental variations that directly affect crop health and productivity. The implementation of the IoT system contributed to the modernization of agricultural practices on the farm by optimizing climate monitoring and supporting disease prevention, such as Black Sigatoka. As a result, the developed prototype is an efficient, low-cost, and adaptable technological solution that promotes more sustainable agriculture using real environmental data.

Keywords: Humidity, luminosity, microclimate variables, temperature.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCION	13
1.1 Antecedentes del problema	13
1.2 Planteamiento y formulación del problema	14
1.3 Justificación de la investigación	16
1.4 Delimitación de la investigación	17
1.5 Objetivo general	17
1.6 Objetivos específicos	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Estado del arte	18
2.2 Bases científicas y técnicas de la tecnología	22
2.3 Marco legal	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Enfoque de la investigación	27
3.2 Metodología	27
4. RESULTADOS	32
4.1 Identificación de las variables interconectadas (temperatura, humedad y luminosidad) con el uso de sensores	32
4.2 Integración de las variables interconectadas en una plataforma digital	33
4.3 Aplicación del protocolo de monitoreo (IoT) e integración de los datos en la base de datos SQL	35
5. DISCUSIÓN	37
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
6.1 CONCLUSIONES	39
6.2 RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS	44
APÉNDICES	55

INDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Modelo de entrevista para el propietario.....	44
Anexo N° 2: Modelo de encuesta para los trabajadores.....	45
Anexo N° 3: Figura 1. Diagrama de Flujo del Prototipo de monitoreo multidireccional.....	45
Anexo N° 4: Figura 2. Finca "Los tres Hermanos" lugar donde se implementó el prototipo de monitoreo multidireccional.....	48
Anexo N° 5: Figura 3. Entrevista al propietario de la Finca "Los tres Hermanos".....	49
Anexo N° 6: Figura 4. Encuesta a los trabajadores de la Finca "Los tres Hermanos".....	49
Anexo N° 7: Figura 5. Entrevista realizada al propietario de la Finca "Los tres Hermanos".....	50
Anexo N° 8: Figura 6. Encuesta realizada a los trabajadores de la Finca "Los tres Hermanos".....	51
Anexo N° 9: Tabla 1. Elementos electrónicos para el prototipo de monitoreo.....	62
Anexo N° 10: Tabla 2. Recursos para prueba, monitoreo y validación del prototipo.....	62
Anexo N° 11: Tabla 3. Registro de variables microclimáticas obtenidas para prevenir la Sigatosa negra.....	62
Anexo N° 12: Tabla 4. Condiciones microclimáticas asociadas al riesgo de Sigatosa negra.....	63
Anexo N° 13: Figura 7. Lectura de la temperatura del sensor SHT20.....	67
Anexo N° 14: Figura 8. Lectura de la humedad del sensor SHT20.....	68
Anexo N° 15: Figura 9. Cálculo de la humedad con el sensor TSL2591.....	69
Anexo N° 16: Figura 10. Obtención de lecturas de temperatura, humedad y luminosidad.....	69
Anexo N° 17: Figura 11. Envío de datos de sesiones al servidor SQL mediante API.....	70
Anexo N° 18: Figura 12. Ejeck para la visualización y gestión de datos ambientales en tiempo real.....	70
Anexo N° 19: Figura 13. Visualización de temperatura, humedad y luminosidad en la plataforma Ejeck.....	71
Anexo N° 20: Figura 14. Registro histórico en Ejeck para analizar tendencias ambientales del cultivo.....	71

Anexo N° 21: Figura 15. Sistema de alertas en la plataforma Blynk.	72
Anexo N° 22: Tabla 5. Temperatura promedio por periodo.	72
Anexo N° 23: Tabla 6. Humedad promedio por periodo.	73
Anexo N° 24: Tabla 7. Luminosidad promedio por periodo.	73
Anexo N° 25: Figura 16. Comparación de temperatura promedio.	74
Anexo N° 26: Figura 17. Comparación de humedad promedio.	74
Anexo N° 27: Figura 18. Comparación de luminosidad promedio.	75
Anexo N° 28: Figura 19. Configuración en Visual Studio Code (en) sentido de manifiestos microclimáticos.	76
Anexo N° 29: Figura 20. Conexión a la base de datos SQL.	77
Anexo N° 30: Figura 21. Inserción de datos en la tabla SQL.	77
Anexo N° 31: Figura 22. Datos de sensores del microclima microclimáticos en PowerBI.	78
Anexo N° 32: Figura 23. Visualización de datos de los sensores en SQL Server.	79
Anexo N° 33: Figura 24. Diagrama electrónico.	79
Anexo N° 34: Figura 25. Diseño de la estructura.	80
Anexo N° 35: Figura 26. Implementación del protocolo I2C para el monitoreo microclimático en la placa.	80
Anexo N° 36: Tabla 8. Comparativa del cable antes y después de la implementación del protocolo.	81
Anexo N° 37: Figura 27. Sensor BHT20.	89
Anexo N° 38: Figura 28: Sensores DHT2911.	90
Anexo N° 39: Figura 29: Código de lectura de sensores BHT20 y DHT2911.	91
Anexo N° 40: Figura 30. ESP32.	92
Anexo N° 41: Figura 31. Blynk.	92
Anexo N° 42: Figura 32. Microsoft SQL Server Management Studio.	93
Anexo N° 43: Figura 33. Descarga de Arduino IDE.	95
Anexo N° 44: Figura 34. Instalación de Arduino IDE.	96
Anexo N° 45: Figura 35. Pantalla de inicio de sesión de la plataforma Blynk.	96
Anexo N° 46: Figura 36. Acceso a la plataforma Blynk.	97
Anexo N° 47: Figura 37. Panel principal del sistema.	97
Anexo N° 48: Figura 38. Visualización de temperatura.	98
Anexo N° 49: Figura 39. Visualización de humedad.	98
Anexo N° 50: Figura 40. Visualización de luminosidad.	99

INDICE DE APENDICES

Apêndice N° 1: Manual técnico	35
Apêndice N° 2: Manual de usuário	94

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Vigilar de cerca las condiciones del entorno inmediato es determinante para afinar los márgenes de producción y lograr una mayor eficiencia de insumos. La llegada de sensores y equipos interconectados ha abierto la puerta a que los trabajadores del campo puedan monitorear en tiempo real aquello que influye en sus sembradíos, permitiéndoles a decidir con mayor acierto cómo cuidar sus cultivos. En Ecuador, se ha fomentado el empleo de esta clase de innovaciones a través de soluciones de bajo costo, orientadas a nombrar aquellos factores del clima que repercuten directamente en el campo, tal es el caso de la humedad, un desafío para que las plantas se desarrollen vigorosas (Ramírez, 2023, pp. 15-19).

La automatización de sistemas IoT ha transformado la recolección y gestión de datos ambientales, especialmente en agricultura, permitiendo la monitorización continua de variables críticas. Además, el acceso remoto a información en tiempo real facilita la toma de decisiones rápidas y precisas, lo que es esencial para manejar cultivos sensibles a enfermedades como la Sigatoka negra. La combinación de tecnologías drónicas e IoT mejora la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos en campo (Squallone, 2020, p. 6).

La correcta ubicación de sensores en espacios agrícolas es clave para asegurar la calidad de los datos recolectados por sistemas IoT. Factores como el tipo de suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la orientación del lote influyen en la representatividad de las mediciones. En cultivos como el banano, esta disposición estratégica permite captar con mayor precisión variables microclimáticas como la temperatura, la humedad y la luminosidad. Al distribuir los sensores estratégicamente, se optimiza el funcionamiento del sistema y se mejora la interpretación de los datos. Esto permite ajustar prácticas de manejo agrícola con base en información contextual y localizada (Fiori y Jirveit, 2020, p. 23).

En Ecuador, la implementación de protocolos IoT para monitoreo de variables microclimáticas ha demostrado ser eficaz para mejorar el manejo de cultivos agrícolas. Sensores que miden temperatura, humedad, luminosidad permiten identificar cambios en las condiciones ambientales, facilitando acciones tempranas para prevenir enfermedades como la Sigatoka negra. Esta integración tecnológica favorece la sostenibilidad agrícola al reducir pérdidas y mejorar el rendimiento.

adaptando las prácticas agrícolas con base en datos en tiempo real (Añel et al., 2024, pp. 54-60).

El cambio climático afecta significativamente las condiciones ambientales para el cultivo en la región Costa del Ecuador. Estudios recientes indican tendencias importantes en las precipitaciones y variaciones menos marcadas en la temperatura, lo que influye en la planificación agrícola. Estos hallazgos demuestran la necesidad de análisis estadísticos avanzados, resalta la importancia de contar con sistemas de monitoreo (redes que permitan detectar cambios y adaptar las prácticas de cultivo para aumentar la resiliencia frente a condiciones climáticas cambiantes (Yalderrama et al., 2021, pp. 1-23).

En ciertas fincas agrícolas, aunque se recolectan datos básicos como la precipitación, no se utilizan metodologías IoT ni análisis avanzado de datos para optimizar la prevención y manejo de enfermedades. La falta de estas herramientas limita la capacidad para generar pronósticos precisos y ejecutar la toma de decisiones. La integración de tecnologías modernas, como sensores IoT y bases de datos para análisis, es fundamental para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en el manejo de cultivos, superando la dependencia exclusiva de conocimientos tradicionales (Yandún y Montenegro, 2023, pp. 230-241).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El clima influye de forma determinante en la agricultura, ya que factores como la temperatura, humedad y luminosidad pueden afectar directamente el crecimiento, la sanidad y el rendimiento del cultivo de tomate.

Condiciones como la temperatura y la humedad influyen directamente en la aparición y avance de la Sigatoka negra, esta enfermedad que se propaga rápida cuando la temperatura está entre 25°C y 30°C y la humedad es mayor al 80 %. Estos valores crean un ambiente ideal para que el hongo que la causa afecte las hojas y deteriore el desarrollo del cultivo de tomate. Si no se controlan estas condiciones, la enfermedad puede avanzar y afectar la producción. Por eso, es importante realizar constantemente para evitar daños y tomar decisiones a tiempo.

En la Finca Las Tres Hermanas, ubicada en el cantón Naranjal, las agriculturas no cuentan con un sistema que les permita medir estas condiciones de manera precisa y continua. Esto hace que muchas decisiones sobre el cuidado del cultivo de tomate se tomen basándose en la experiencia o en datos generales que

no siempre reflejan la realidad del terreno, lo que puede favorecer la proliferación de enfermedades como la Sigatoka negra y afectar negativamente la producción.

No todas las fincas disponen de tecnologías que proporcionen información sobre las condiciones ambientales de las plantas. En el cultivo de banano todavía se trabaja de forma manual y no se aplican sensores que ayuden a monitorear la temperatura, humedad y luminosidad.

La luminosidad es un factor clave que influye en el crecimiento de la planta. Esta falta de control dificulta saber si el cultivo se encuentra en un ambiente óptimo y en condiciones saludables, lo que aumenta la prevalencia de enfermedades y reduce la productividad. La falta de datos sobre temperatura, humedad y luminosidad dificulta la planificación de acciones preventivas y el control oportuno de la Sigatoka negra.

Cuando no se cuenta con una herramienta automática que entregue información fresca sobre el estado del terreno en la plantación, se vuelve más complicado descubrir a tiempo la llegada de plagas o enfermedades. El no tener un registro continuo de lo que sucede en el campo impide reaccionar con rapidez para frenar el avance de la Sigatoka negra, uno de los problemas que más impacta el rendimiento del banano. Al conocer de cinco días, las producciones no logran crecer cuando están dadas las condiciones para que el mango se extienda, y eso es difícil medir la forma en que trabajan la tierra para reducir sus efectos.

Hoy en día, la tecnología permite monitorear la humedad, temperatura y luminosidad, ahorrando las condiciones climáticas y del cultivo mediante sensores que envían datos en tiempo real a plataformas IoT. En conjunto, en la Finca Las Tres Hermanas se ha implementado un sistema que permite aprovechar estas ventajas. Contar con un predictor ayuda a los agricultores a conocer con exactitud las condiciones ambientales del cultivo, facilitando la toma de decisiones más acertadas para su manejo, mejorando la eficiencia en la producción y reduciendo el impacto de enfermedades como la Sigatoka negra.

El cultivo de banano requiere condiciones ambientales adecuadas para desarrollarse correctamente y mantenerse saludable. La temperatura ideal oscila entre los 26°C y 30°C, mientras que la humedad debe mantenerse entre el 75% y 85% para evitar el estrés de la planta. La luz es un factor clave para un desarrollo óptimo, niveles de radiación solar cercanos a 10.000-25.000 lux favorecen el crecimiento adecuado del cultivo. Cuando estos parámetros no se controlan bien,

la planta se vuelve más propensa a problemas que afectan su salud y producción. Haciéndose más vulnerable a enfermedades como la Sigatoka negra.

1.2.2 Formulación del problema

De qué manera la implementación de un sistema basado en IoT para el monitoreo de variables meteorológicas mejoró la prevención de la Sigatoka negra en el cultivo de banano en la Finca Los Tres Hermanos del cantón Narual, provincia del Guayas?

1.3 Justificación de la investigación

Para mejorar la calidad del cultivo de banano es fundamental controlar las variables meteorológicas como temperatura, humedad y luminosidad desde el lugar de siembra, manteniendo condiciones óptimas que favorecen el desarrollo de la planta y la prevención de enfermedades como la Sigatoka negra. Cada variable aporta al buen crecimiento del cultivo; por ejemplo, temperaturas elevadas provocan estrés térmico mientras que una humedad excesiva aumenta la probabilidad de aparición de hongos y plagas. El monitoreo constante de la luminosidad permite asegurar que las plantas reciban niveles adecuados de luz favoreciendo su desarrollo y ayudando a mantener condiciones que disminuyan el riesgo de enfermedades.

Está claro que la luz juega un papel fundamental para que la planta de banano crezca en buena forma, si la intensidad no es la correcta, el desarrollo se puede ver afectado y además se generan ambientes propicios para que enfermedades como la Sigatoka negra fugan de las hojas, perjudicando así a la producción. Por eso, llevar un control permanente de cómo va la luminosidad ayuda a prevenir y a reducir esos problemas, ajustando el trabajo en el campo para hacer una actividad más rentable y que pueda mantenerse en el tiempo.

Hay en día contar con sensores que miden la temperatura, la humedad y la luz se ha vuelto casi indispensable para quienes buscan trabajar el campo con mayor precisión, sobre todo en el cultivo de banano, porque estos factores representan realmente cómo crece y se desarrolla la planta. Llevar un registro constante de esas condiciones permite a los productores decidir con fundamentos más sólidos, prevenir pérdidas grandes y avanzar hacia una forma de producir que sea más amigable con el ambiente y a la vez más productiva.

La integración de sensores de temperatura, humedad y luminosidad con plataformas digitales permitió la recopilación y análisis en tiempo real de datos

microclimáticas, facilitando la prevención oportuna de enfermedades como la Sigatoka negra. La implementación de este tipo de tecnologías en la Finca Las Tres Hermanas brindó información precisa que apoyó el manejo técnico y sustentable del cultivo, incrementando la rentabilidad y reduciendo el impacto ambiental.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Este trabajo se llevó a cabo en la Finca Las Tres Hermanas ubicada en el Cantón Naranjal, Provincia del Guayas. El área de implementación fue un espacio adecuado de 50 m² dentro de la finca donde se instaló el prototipo IoT para el monitoreo microclimático enfocado en la prevención de la Sigatoka negra en el cultivo de banano.
- **Tiempo:** La investigación tuvo una duración de 7 meses, periodo en el cual se diseñó, desarrolló e implementó el prototipo IoT para el monitoreo microclimático, con especial atención a variables que influyen en la prevención de la Sigatoka negra.
- **Población:** La recolección de información y pruebas del sistema se realizó en conjunto con el dueño de la finca y los 3 tratadantes, quienes aportaron datos sobre las condiciones microclimáticas y su impacto en la prevención de esta enfermedad en el cultivo de banano.

1.5 Objetivo general

Implementar un prototipo basado en IoT para el monitoreo de variables microclimáticas mediante sensores conectados a la prevención de la Sigatoka negra en el cultivo de banano en la Finca Las Tres Hermanas.

1.6 Objetivos específicos

- Identificar las variables microclimáticas (temperatura, humedad y luminosidad) con el uso de sensores para la prevención de la Sigatoka negra en el cultivo de banano.
- Integrar las variables microclimáticas recolectadas en una plataforma digital para su visualización mediante gráficos dinámicos, facilitando el monitoreo remoto y el análisis de las condiciones del cultivo en tiempo real.
- Aplicar el prototipo de monitoreo microclimático con el microcontrolador ESP32 e integrar los datos en una base de datos SQL para facilitar su gestión.

2. MARCO TÉCNICO

2.1 Estado del arte

La agricultura moderna ha comenzado a depender en gran medida del uso de tecnologías IoT para mantener variables ambientales en tiempo real, lo cual ha sido clave en la optimización del manejo de cultivos sensibles a enfermedades como la Sigatoka negra. Estudios recientes vienen demostrando que el empleo de dispositivos diseñados para medir temperatura, humedad y luz, unidos a herramientas como el ESP32 que traen conectividad incorporada, ha mejorado bastante la forma de recopilar información sobre el clima a pequeña escala, lo que a su vez facilita decisiones más precisas y rápidas a la hora de prevenir enfermedades. En Ecuador ya se han puesto en marcha experiencias en fincas familiares donde estos equipos han dado buenos resultados para anticiparse a las condiciones que disparan la Sigatoka negra, ayudando a marcar el punto de una manera más equitativa y cuidadosa con el entorno (Mendoza y Armas, 2021, pp. 29-34). El hecho de poder seguir en tiempo real lo que pasa en el campo, gracias a estos dispositivos conectados, está marcando un antes y un después en el manejo de cultivos que sufren con facilidad el ataque de plagas o enfermedades. Esta forma de trabajar permite tomar mejores decisiones y, de paso, impulsar una manera de producir más responsable con la tierra. En el caso ecuatoriano, este tipo de iniciativas ya están mostrando resultados concretos para mantener a raya la Sigatoka negra. Todo esto está en evidencia lo mucho que la tecnología puede aportar para volver más eficiente el trabajo agrícola.

Una de las grandes ventajas que trae consigo el uso de herramientas inteligentes en el campo es la posibilidad de identificar a tiempo esos cambios en el clima local que terminan siendo el ambiente ideal para que hongos y otras plagas se multipliquen. Contar con sensores que registran la luz, la temperatura y la humedad ha hecho mucho más sencillo llevar un seguimiento permanente de cómo van las plantas. Estos aparatos no solo ayudan a prevenir la llegada de la Sigatoka negra, sino que también mejoran la salud de los cultivos y optimizan el rendimiento en regiones cálidas como la zona ecuatoriana (Mendoza y Méndez, 2023, pp. 40-46). Pasa a tiempo esas variaciones en las condiciones del entorno, gracias a los sensores, resulta clave para evitar que los patógenos se desarrollen. Estar monitoreando permanentemente la temperatura, la humedad y la luz permite conocer el estado sanitario de las plantas. Esto termina siendo determinante para que la

producción no se venga abajo en zonas tropicales. De esta manera, la tecnología se convirtió en un estímulo grande para lograr un campo más rentable y en armonía con el entorno.

Se han documentado múltiples proyectos desarrollados con microcontroladores como el ESP32, que ofrecen soluciones prácticas y económicas para zonas rurales con limitado acceso a internet. Este tipo de innovación ha sido validada por estudiantes y profesionales del área de computación, quienes han logrado integrar sensores de humedad, temperatura y humedad en plataformas que permitan la visualización remota de datos en dispositivos móviles o computación. Estas aplicaciones han demostrado que es posible democratizar el acceso a tecnologías agrícolas para la prevención de enfermedades sin depender de sistemas centralizados costosos, facilitando la autogestión en el control sanitario del cultivo (Narváez y/ Gantboa, 2022, pp. 55-65). La integración de microcontroladores y sensores facilita el acceso a soluciones tecnológicas en zonas rurales con limitaciones de conectividad. Estas innovaciones democratizan el uso de herramientas para el monitoreo agrícola, reduciendo costos y complejidad. La autogestión del control fitosanitario se vuelve más accesible y efectiva. Esto impulsa la inclusión tecnológica en el sector agrícola.

El uso de dispositivos para captar información del clima a nivel local se ha vuelto una pieza fundamental para cultivar mejor la salud del huerto. Experiencias reportadas en fincas de distintos países de América Latina muestran cómo estar encima de los cambios en temperatura, humedad y luz permite darse cuenta cuando se están juntando los elementos que disparan enfermedades como la Sigatoka negra, y así actuar a tiempo con los labores del campo. Gracias a estos los sistemas de monitoreo que trabajan con tecnología conectada están ayudando a que la producción sea más rentable, cuidadosa con el entorno y con menos probabilidades de sufrir pérdidas por culpa de plagas (Mora, 2020, p. 48). Vigilar se pasa factores del ambiente como el calor, la humedad del aire y la vitalesidad de la luz se determinando para detectar situaciones que ponen a la planta bajo estrés y para evitar que las enfermedades se activen del cultivo. Esta manera de proceder ayuda a depender menos de venenos y químicos, empujando el campo hacia un estado de manejo más equilibrado. Los sistemas basados en IoT impulsan una forma de producir que usa menos al medio ambiente. De esa manera se

aporta a una agricultura más consistente y que presta en la salud de la tierra y de quienes la trabajan.

Recibir información detallada del clima en las zonas de cultivo se ha transformado en una base sólida para anticipar lo que pueda pasar en el campo. Echar mano de datos guardados a lo largo del tiempo y revisar cómo se comportan las variables, apoyándose en fórmulas estadísticas, da la posibilidad de prever cuándo se están juntando los factores que desatan enfermedades como la Sigatoka negra. En las condiciones de Ecuador, esta forma de trabajo ha resultado práctica para organizar mejor las labores y mantener a raya los frutos en aquellas zonas donde el tiempo pega más duro. Pasar la información del campo a formato digital, gracias a los sensores, ha abierto caminos nuevos para poner en marcha modelos que predicen lo que viene, y así permite refugiándose en plantas más sanas y mejores cosechas (Carrillo, 2021, p. 55). La posibilidad de adelantarse a los problemas mediante el análisis de tendencias basado en datos microclimáticos históricos ofrece una herramienta poderosa para anticipar enfermedades. Este enfoque mejora la planificación del manejo de enfermedades y la toma de decisiones en el cultivo. La digitalización de la información abre oportunidades para modelos más eficientes y precisos. Esto representa un paso importante hacia una agricultura inteligente.

Hay que reconocer que todavía un buen número de experiencias en el campo se sostienen únicamente en lo que la tradición ha enseñado y en el saber que los años le han dado a quienes trabajan la tierra, lo cual a veces no alcanza para afinar ese tipo de prevención y el control de las enfermedades. Pero en la medida que se han ido sumando herramientas como sensores conectados, mejores opciones de información y la posibilidad de ver en tiempo real lo que sucede, ese conocimiento de toda la vida se ha podido complementar con datos más precisos y oportunos. Así las cosas, la tecnología viene a ser como un compañero que ayuda a decidir con más criterio, impulsando el campo hacia un estilo de trabajo más fundamentado, cuidadoso y que trae mejores frutos, sobre todo en cultivos como el banano, que pueden estar sustraídos de ellos permanentemente para que no se enfermen (Rodríguez, 2022, pp. 85-91). Juntar la sabiduría del agricultor con aparatos tecnológicos como los sensores y las bases de datos permite ajustar con más fino el manejo de la plantación. Esta misma entrega información clara y de fácil uso para prevenir problemas sanitarios y actuar en los

determinaciones que se toman a diario. En cultivos que son exigentes, como pasa con el banano, esta unión entre *cincoceveitza* popular y *harmovontsi* moderna resulta clave para conservar las plantas en buen estado.

El camino que ha recorrido la tecnología medida en el campo ha hecho posible poner en marcha sistemas de vigilancia con sensores que entregan información al instante, volviendo la agricultura más inteligente y ágil. Este cambio hacia lo digital ha resultado fundamental para mejorar labores como la cruce de los cultivos y su alimentación. Varios trabajos de investigación vienen mostrando que el uso de estos sensores conectados ha logrado que la producción en cultivos de zonas cálidas sea más rentable, justamente porque ayudan a detectar a tiempo las condiciones que no le hacen bien al banano. Además, el hecho de estar revisando permanentemente los datos permite ir ajustando las decisiones según lo que la planta vaya pidiendo, gastando mejor los recursos y evitando pérdidas (Férez y Méndez, 2022, pp. 97-103). El uso masivo de sensores para estar al tanto de lo que sucede en la plantación significa un paso grande hacia adelante en el cuidado de cultivos como el banano. Poder contar con información en tiempo real es la oportunidad de reaccionar más rápido cuando algo empieza a andar mal, reduciendo los daños y sacándole más provecho a los recursos disponibles. Esta unión entre tecnología y trabajo diario en el campo está impulsando una forma de manejar los cultivos más exacta y eficiente.

Cuando se vigila de manera constante los factores del clima que inciden en el cultivo, también se abre la posibilidad de mirar un retrospectiva a las decisiones que se tomaron, funcionaron o no, y con eso ir corrigiendo sobre la marcha la forma de trabajar la tierra. Al juntar los sensores con el guardado de información y la capacidad de anticiparse a lo que viene, se logra tener una foto bastante completa de cómo está la plantación, y eso le permite a quien produce decidir con fundamento, mejorando tanto la lucha contra las enfermedades como los resultados finales de la cosecha. Esto termina siendo vital para asegurar la producción y la salud del cultivo de banano en regiones donde el clima es tan cambiante (Jara, 2020, p. 6). Poner a trabajar juntos los sensores, el registro ordenado de cosas y las herramientas que ayudan a prever escenarios ofrece una mirada amplia del estado real del cultivo, y con esa información se pueden ir ajustando las labores diarias según lo que vaya haciendo falta. Así se asegura que las determinaciones

que se tomen todas las medidas y ayudas a tiempo enfermedades y a que la producción final sea la que debe.

Para terminar, es la vida que incluye tecnología como el IoT y esos sistemas de vigilancia inteligente termina ayudando a que la producción sea más y sea más duradera. Permitir a funcionar estas herramientas en el campo permite el seguimiento automático al cultivo y su identificación, lo que facilita para a seguir cualquier situación que pueda perjudicar el cultivo, mejora la forma de decidir y reducir los gastos que tienen las enfermedades, los plagas o el mal uso de los recursos. Todo esto aporta un margen a que el cultivo pueda sobrevivir en el tiempo sin degradarse (Narros, 2022, pp. 15-27). Contar con sistemas basados en IoT garantiza una vigilancia permanente de lo que pasa en la plantación, lo que ayuda a descubrir rápido cualquier factor que pueda hacer daño y mejora la manera de enfrentar plagas y enfermedades. Esto aporta es tan grande para que el cultivo se mantenga sano y productivo a lo largo de los años.

2.2 Bases científicas y técnicas de la temática

2.2.1 Sensación ambiental

La sensación ambiental es una técnica basada en la electrónica y la computación que permite medir parámetros físicos y químicos del entorno mediante dispositivos que convierten mensajes en datos digitales. En agricultura, los sensores facilitan el monitoreo de variables como temperatura, humedad y luminosidad en las plantas. La incorporación de sensores en cultivos como el banano permite detectar condiciones que afectan el desarrollo de la planta y la aparición de enfermedades como la Sigatoka negra. Esto transforma la gestión agrícola al proporcionar datos precisos para la toma de decisiones oportunas, mejorando la sostenibilidad y la productividad (Arceide y Pomaqueo, 2021, p. 43). Comprender cómo los sensores monitorizan condiciones del ambiente en datos digitales permite obtener un registro confiable del cultivo. Con esto, ya no se depende únicamente de la experiencia en el campo. Será posible tomar decisiones basadas en datos reales. Esto hará más eficiente el trabajo agrícola.

2.2.1 Sensor de temperatura y humedad SHT20

El sensor SHT20 mide temperatura y humedad con una alta precisión, operando en un rango de 0 a 100 % de humedad y desde -40 °C hasta 125 °C en temperatura. Su tiempo de respuesta rápido permite monitorear variaciones instantáneas en tiempo real. Funciona con alimentación de 3.3 a 5 V DC y utiliza

Una interfaz digital I²C para facilitar la conexión a sistemas de riego agrícola. Este sensor es capaz de entregar datos confiables que permiten evaluar las condiciones microclimáticas críticas para el desarrollo del cultivo de hortaliza. Mantener controlada la humedad y temperatura es esencial para prevenir la proliferación de patógenos como el caso de la Sigatoka negra, ya que condiciones de alta humedad y temperatura entre 25 °C y 30 °C favorecen el desarrollo del hongo (Chávez y Merino, 2023, pp. 59-65). El sensor SHT20 es clave para monitorear condiciones que afectan la salud del cultivo. Al obtener datos precisos de humedad y temperatura, se puede anticipar y prevenir enfermedades. Esto permite aplicar medidas oportunas que reducen pérdidas productivas, mejorando el riego y la nutrición del cultivo.

2.2.3 Sensor de luminosidad TSL2591

El sensor TSL2591 es un sensor digital de luz de alta sensibilidad capaz de medir intensidad luminosa desde 184 µlx hasta 65,000 Lux, empleando dos fotodiodos: uno para espectro completo (Luz visible + infrarrojo) y otro solo para infrarrojo, lo que permite obtener lecturas más precisas de la radiación solar. Opera con una alimentación de 3.3 a 5 V DC y es conectado mediante interfaz I²C a velocidades de hasta 400 kHz. Cuenta con resolución de 16 bits, que permite captar variaciones muy pequeñas en la intensidad luminosa, esencial para analizar los niveles de luminosidad que recibe en el cultivo de hortaliza. Su consumo de corriente es de aproximadamente 0.4 mA en modo activo y menos de 5 µA en modo de reposo, adecuado para sistemas IoT de bajo consumo en campo. El rango operativo de temperatura es de -30 °C a 100 °C, lo que permite su uso en diversas condiciones ambientales. La implementación del TSL2591 en el monitoreo del cultivo permitirá identificar signos tempranos de estrés por condiciones de radiación solar, facilitando la toma de decisiones oportunas para mejorar la salud y rendimiento del hortaliza (Tobías y Riquelme, 2022, pp. 67-72). La implementación del sensor TSL2591 permite obtener información precisa sobre las condiciones de luminosidad del cultivo, facilitando la toma de decisiones oportunas para prevenir daños, optimizar su riego y reducir pérdidas.

2.2.4 Microcontrolador ESP32

El microcontrolador ESP32 posee arquitectura de doble núcleo Xtensa LX6 de 32 bits, con una frecuencia de hasta 240 MHz y 520 KB de DRAM interna, lo que permite realizar múltiples tareas de procesamiento de datos en tiempo real. Integra

conectividad inalámbrica, Wi-Fi (802.11 b/g/n) y Bluetooth 4.2 (BLE y BR/EDR), nutriendo el envío remoto de datos sin necesidad de cableado. Opera con un voltaje de 3.3 V y posee periféricos como ADC de 12 bits, DAC, PWM, UART, SPI e I²C, lo que facilita la conexión de sensores de temperatura, humedad, luminosidad y otros disponibles. Además, soporta modos de bajo consumo, como el Deep Sleep, ideal para aplicaciones alimentadas por baterías o energía solar. El ESP32 permite la integración eficiente de múltiples sensores, facilitando la recopilación continua de datos ambientales en el cultivo de tomate. Su capacidad para almacenar información en tiempo real mejora la detección de condiciones que favorecen enfermedades como la Sigatoka negra, permitiendo generar alertas tempranas y tomar decisiones oportunas (Morales, 2021, pp. 43-48). El ESP32 optimiza la conectividad y el procesamiento local, mejorando significativamente la eficiencia del monitoreo agrícola mediante IoT, lo que resulta clave para un manejo fértil y más preciso y preventivo en el cultivo.

2.1.3 Plataforma de visualización y base de datos SQL

Las plataformas de visualización permiten mostrar en tiempo real los datos recolectados por sensores mediante dashboards interactivos desarrollados en entornos web. Estos sistemas se integran con bases de datos SQL como MySQL o PostgreSQL, que organizan la información de forma estructurada, permitiendo consultas eficientes para el análisis de variables como temperatura, humedad y luminosidad. La transmisión de datos desde el microcontrolador al servidor puede realizarse vía HTTP o MQTT, utilizando APIs que garantizan la actualización continua. Esta infraestructura facilita el monitoreo remoto del microclima en el cultivo de tomate y permite detectar condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades como la Sigatoka negra (Sánchez y Cárdenas, 2020, pp. 43-54). El uso de plataformas de visualización y bases de datos permite organizar y analizar los datos de sensores en tiempo real. Esto facilita la toma de decisiones más efectivas para el manejo del cultivo.

Este programa = plataforma que muestra en pantalla lo que va pasando con los datos del campo se ha vuelto una ayuda bien grande para los que trabajan la tierra. Poder ver la información agrícola a través de herramientas digitales les da a quienes están al frente del cultivo la posibilidad de entender momentos de datos en poco tiempo y sin equivocarse, además de recibir avisos cuando algo empieza a salirse de lo normal y poder actuar de una vez para corregir lo que sea necesario.

Eso es fundamental cuando se manejan cultivos que sufren con cualquier cambio en el clima (López, 2020, p. 10). Tener a la mano herramientas digitales que muestren los datos al instante acelera la lectura de lo que está sucediendo y la reacción ante variaciones del entorno. Eso resulta determinante para aplicar correctivos en el momento justo y cuidar que las plantas se mantengan sanas.

2.2.6 Monitoreo de variables microclimáticas

Estar encima de las condiciones del clima a nivel local, como la temperatura, la humedad y la luz, resulta clave para identificar y reducir el daño que enfermedades como la Sigatoka negra pueden causar en el banano. Detectar a tiempo cualquier alteración en estos factores permite darse cuenta cuando se están dando las condiciones para que los hongos prosperen, y así aplicar las medidas de prevención en el momento justo. De esta manera se logra evitar pérdidas grandes en la cosecha y se logra un manejo del cultivo más equilibrado y pensando en el futuro (Luisano, 2022, pp. 74-80). Poner en marcha sistemas que vigilen en tiempo real lo que sucede en el campo de la probabilidad de reacción rápida frente a los cambios del clima, lo que vuelve más efectivo el control de las enfermedades y mejora el estado general de las plantas.

2.2.7 Monitoreo de luminosidad

Vigilar cómo los días se luzen a las manos de banano sirve para saber a quién reduciendo la cantidad justa que necesitan para crecer y para cuidar un ese proceso de la fotosíntesis que los mantiene vivos y productivos. Más este aspecto ayuda a disminuir el estrés con muy poca o demasiada luz, porque cualquiera de los dos extremos termina dañando el desarrollo y la sanidad de la plantación. También permite pillar a tiempo ciertas influencias del ambiente que pueden volverse el escenario perfecto para que enfermedades como la Sigatoka negra se apoderen con fuerza. El seguimiento constante de la luminosidad permite tomar decisiones oportunas para optimizar el crecimiento y rendimiento del banano (Bermúdez y Crocco, 2021, pp. 80-70). Monitorear la luminosidad permite conocer si las plantas reciben niveles adecuados de luz, detectar condiciones que puedan afectar su desarrollo y tomar decisiones oportunas, contribuyendo a un manejo más eficiente y al cuidado del cultivo.

2.3 Marco legal

2.3.1 Acuerdo del Senescyt - 2018 - 049

La Constitución de la República del Ecuador constituye la norma suprema dentro del ordenamiento jurídico, de la cual se derivan todas las demás leyes. Por lo tanto, todo se encuentra sujeto a las ordenanzas del estado. En este sentido, en función de los estudios científicos y tecnológicos, se deben considerar las siguientes artículos:

Art. 359 establece que: El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con valor científico y humanista, la investigación científica y tecnológica, la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas, la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con las directrices del régimen de desarrollo. (Barrera, 2018, p. 1)

En los numerales 2 y 4 del Art. 361 establecen como responsabilidades del Estado: Promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación tecnológica, y potenciar los saberes ancestrales, para así contribuir a la realización del *sumo* y garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza, el ambiente, y el rescate de los conocimientos ancestrales. (Barrera, 2018, p. 2)

Con el respaldo de los dos artículos mencionados anteriormente se puede realizar las investigaciones y construcción de nuevos elementos tecnológicos que aporten a la sociedad y respetando el medio ambiente.

2.3.2 Ley de la propiedad intelectual

El presente proyecto no es de implementación en una empresa, pero sí se tiene el caso (hay que saber que existen artículos que respaldan al autor y son de gran importancia)

Art. 8. La protección del derecho de autor recae sobre todas las obras del ingenio, en el ámbito literario o artístico, cualquiera que sea su género, forma de expresión, mérito o finalidad. Las derechos reconocidos por el presente título son independientes de la propiedad del objeto material en el cual está incorporada la obra y su goce o ejercicio no están supeditados al requisito del registro o al cumplimiento de cualquier otra formalidad. (Ley de Propiedad Intelectual, 2022, p. 5)

Mediante el artículo 8 de la Ley de Propiedad Intelectual se garantiza que cualquier documento elaborado no pueden ser plagiados ni utilizados de forma ilegal, por esta razón el presente proyecto se está desarrollando a partir de conocimientos e investigaciones respaldados en artículos científicos, siendo además referente a los autores de dichos estudios, dando cumplimiento a lo que establece esta ley.

1 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Aplicada: La investigación desarrollada es de tipo aplicada, ya que busca implementar un protocolo tecnológico basado en IoT que permita monitorear variables microclimáticas en el cultivo de tomate en la Finca Los Tres Hermanos del cantón Naranjal, con el objetivo de prevenir enfermedades como la Sigatoka negra y mejorar la producción agrícola.

Cuantitativa: Por el lado cuantitativo, este estudio también entra en esta categoría, pues se centró en recoger datos por medio de sensores que registran valores como la temperatura, la humedad del ambiente y los niveles de luz. Toda esa información se fue guardando en un registro digital y después se examinó con métodos estadísticos, lo que permitió entender con claridad cómo se comporta el clima alrededor de las matas y así poder tomar determinaciones apoyadas en lo que realmente se midió y se comparó.

3.1.2 Diseño de investigación

No experimental: El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se manipularon intencionalmente las variables de estudio. El protocolo basado en IoT fue instalado y operado en condiciones reales dentro de una parcela del cultivo de tomate, permitiendo observar y registrar las variables microclimáticas de forma continua sin intervenir directamente sobre el entorno agrícola. El objetivo es analizar cómo estas condiciones se relacionan con la aparición de enfermedades como la Sigatoka negra a partir de la información recolectada en el contexto natural del cultivo.

3.2 Metodología

Para llevar a cabo este trabajo se usó la metodología de prototipado, que básicamente consistió en diseñar y validar un sistema apoyado en IoT para estar al tanto de las condiciones del clima que tienen que ver con la prevención de la Sigatoka negra en las matas de tomate. Se instalaron sensores para medir la temperatura, la humedad del aire y la luz, que son lecturas bien importantes para evaluar cómo va el cultivo y para identificar situaciones que puedan ayudar a que esta enfermedad se prevenga.

El monitoreo continuo de estas variables permitió identificar ambientes propicios para la proliferación de la Sigatoka negra, facilitando una gestión

práctica más efectiva. Los datos recolectados por los sensores son enviados de manera constante a una plataforma digital, donde se almacenaron en una base de datos SQL para facilitar su consulta y análisis.

El enfoque de prototipo permite integrar sensores IoT con una base de datos SQL para registrar y visualizar las variables microclimáticas, ajustando estrategias de manejo agrícola, brindando a los agricultores información precisa y oportuna para mejorar la salud del cultivo y aumentar su productividad de forma sostenible.

1.2.1 Recolección de Recursos

1.2.1.1 Recursos

1.2.1.1.1 Recursos Humanos.

- Tutor: Ing. Leonilda Del Rocio De la A. Salinas, MSc.
- Investigador: Elyan Emigano Villa Muñoz
- Propietario de la Haca Los Tres Hermanos y 3 Habacadores

1.2.1.1.2 Recursos Bibliográficos.

- Libros electrónicos
- Artículos científicos
- Revistas científicas
- Sitios web
- Repositorios de Tesis
- Bibliotecas virtuales

1.2.1.1.3 Recursos tecnológicos.

- Laptop
- Internet

1.2.1.1.4 Presupuesto.

Para la implementación del prototipo se consideraron componentes tecnológicos como sensores, microcontrolador y estructura de montaje, según el detalle de materiales presentados en el proyecto. (Ver Anexo, Tabla 1 y 2)

3.2.1.2. Métodos y técnicas

3.2.1.2.1. Métodos

- **Método inductivo:**

Este método permitió estudiar a fondo las condiciones climáticas presentes en la finca mediante la recolección de datos específicos generados por los sensores involucrados en campo.

- **Método deductivo:**

En este método con la ayuda de los sensores de temperatura, humedad y luminosidad nos permitió conocer las posibles escasezas de riego asociadas a enfermedades como la Sigatoka negra, en base a la interpretación de los datos recolectados del entorno.

- **Método analítico:**

Este aplicado para examinar las variables recolectadas y detectar patrones que permitan saber de condiciones microclimáticas perjudiciales para el cultivo.

3.2.1.2.2. Técnicas

- **Módulo 1: Monitoreo de condiciones microclimáticas**

Estar pendiente de factores como el calor, la humedad del ambiente y la luz resulta fundamental para lograr que el banana crezca en las mejores condiciones. Estas cosas influyen en cómo en cómo se desarrolla la mata, en su capacidad para resistir enfermedades y en la cantidad de fruta que termina dando. Con los sensores conectados a un sistema IoT, se puede conseguir información constante y de fin sobre el clima alrededor de las plantas y sobre cómo van evolucionando. Tener esa información a tiempo permite descubrir rápido cuándo se están dando las condiciones para que la Sigatoka negra aparezca, y así aplicar medidas que ayuden a prevenirla y a mantener el cultivo sano y productivo.

- **Módulo 2: ESP32 como módulo inalámbrico**

Este componente se encargó de juntar la información del clima (temperatura, humedad y luz) que los sensores iban recolectando y mandarla sin cables hasta la plataforma donde se podía ver en pantalla. Para lograr eso se trabajó con el microcontrolador ESP32, que ya trae integrada la conexión Wi-Fi y la capacidad de procesamiento que el sistema necesitaba para funcionar. Esta tecnología permitió que los datos viajaran al instante sin tener que andar agregando módulos por fuera.

lo que ayudó a ganar más energía y a que la comunicación fuera más efectiva en medio del campo.

• **Módulo 3: Apoyo en la nutrición y sanidad del cultivo**

Estos módulos especiales como el agua, el nivel de humedad en el aire y la cantidad de luz que reciben las plantas resulta bien importante para mejorar la afirmación y la salud del banana. Con estos módulos se puede descubrir a tiempo cuando se están dando las condiciones para que la Sigatoka negra se multiplique y así aplicar los tratamientos justos y los cuidados que fragar falta en el momento adecuado. La monitorización constante de la luminosidad ayuda a desear condiciones de luz más óptimas, permitiendo aplicar prácticas agronómicas para mejorar la salud de la planta y reducir pérdidas productivas. Este enfoque contribuye a un manejo más técnico, eficiente y sostenible del cultivo.

• **Módulo 4: IoT y base de datos SQL**

La tecnología basada en IoT da la posibilidad de juntar, mandar y recibir información desde el campo en necesidad de estar presente y de manera permanente. Los datos que los sensores han captado sobre temperatura, humedad y luz se fueron guardando en una base SQL, donde se ordenaron para poder analizarlos con más facilidad. Esta unión de herramientas permitió que los productores tuvieran al alcance información precisa y al instante sobre cómo iba el cultivo, ayudándoles a tomar decisiones técnicas para frenar la Sigatoka negra y mantener las plantas de banana en buen estado. La plataforma Digital cultivó más semillas al manejo del cultivo: ampliando una forma de producir que fuera rentable y pensar en el futuro.

3.2.2 Población y muestra

3.2.2.1 Población

La población objeto de estudio está conformada por:

- La parcela de cultivo de banana de 50 m² de la finca Los Tres Hermanos.
- El propietario y los 3 trabajadores agrícolas encargados del manejo del cultivo de banana.

3.2.2.2 Muestra

La muestra está compuesta por:

- Una parcela delimitada de 50 m², donde se instala el prototipo para el monitoreo constante de variables.

- La Finca Las Tres Hermanas consta con 3 trabajadores, quienes participaron en las entrevistas para brindar datos cualitativos.

El muestreo es no probabilístico, porque se seleccionó un área para realizar el proyecto de tesis y también con la ayuda del propietario y trabajadores se logró cumplir con el objetivo.

3.2.3 Diagrama de flujo

El proyecto incorporó un diagrama de flujo que analiza las etapas esenciales para la implementación del prototipo IoT en el cultivo de banano. El proceso inicia con la identificación de las variables microclimáticas a monitorear (temperatura, humedad y luminosidad), seguido de la selección estratégica de los sensores dentro de la parcela de 50 m². Posteriormente, se configuró el microcontrolador ESP8266 para la captura y transmisión inalámbrica de los datos hacia una base de datos (BD). Finalmente, la información recolectada se visualizó en una plataforma web, permitiendo a los agricultores analizar las condiciones del cultivo y tomar decisiones oportunas para prevenir la Sigatoka negra. (Ver Anexo Figura 1).

3.2.4 Análisis estadístico

Se realizó una entrevista al propietario de la finca (Ver Anexo 1), gracias que a los trabajadores se les agitó una encuesta para recopilar información relevante; estas respuestas fueron utilizadas tomando en consideración la experiencia diaria de los trabajadores. (Ver Anexo 2). Ambas fuentes fueron analizadas detalladamente, agrupando las respuestas según temas comunes como la facilidad de uso del sistema, su aplicación en las actividades diarias del cultivo y los beneficios esperados con su implementación. Este análisis permitió conocer de forma directa las opiniones y expectativas de quienes trabajan en el campo, aportando información valiosa para evaluar el funcionamiento proyectado del prototipo IoT y su potencial contribución en la prevención de la Sigatoka negra en el cultivo de banano.

A partir de los resultados obtenidos en la entrevista y encuesta, se avanzó con la implementación del prototipo IoT, ya que tanto el propietario como los trabajadores manifestaron interés y disposición para usar la herramienta tecnológica que facilitó el monitoreo del cultivo. Además, se capacitó brevemente al personal en el uso de la plataforma, con el fin de asegurar una correcta interpretación de los datos recolectados por los sensores.

4. RESULTADOS

4.1. Identificación de las variables microclimáticas (temperatura, humedad y luminosidad) con el uso de sensores:

En la fase inicial del proyecto, se identificaron las principales variables microclimáticas que influyen directamente en el desarrollo del cultivo de banano: como: temperatura, humedad relativa y luminosidad. Para esto, se analizaron los sensores a utilizar, específicamente el sensor SHT30 para el registro de temperatura y humedad, y el TSL2591 para medir la luminosidad ambiental. El monitoreo se realizó en un área representativa de la Finca Las Tres Hermanas, con el objetivo de analizar el comportamiento de estas variables a lo largo del día.

Con el fin de establecer la relación entre dichas variables y la prevención de la Sigatoka negra, se llevó a cabo una revisión de información técnica y científica especializada en el cultivo de banano y las condiciones ambientales que afectan su salud. A partir del análisis de estudios previos, literatura agronómica y criterios de expertos, se confirmó que la temperatura, la humedad y la luminosidad son factores determinantes en el desarrollo del cultivo. Este proceso permitió definir rangos de referencia clave para el manejo agronómico y definir los límites para futuras estrategias de monitoreo orientadas a la prevención de la enfermedad. (Ver Anexo: Tabla 3)

Con la información levantada directamente en el terreno fue posible establecer unos límites prácticos para las características ambientales que influyen en el cultivo de banano. Se encontró que el calor más adecuado para que la planta crezca sin problemas está entre 25 °C y 30 °C. Con respecto a la cantidad de agua en el aire, se identificó que el nivel más conveniente anda por el 75 % al 90 %, porque así la planta mantiene mejor el líquido y las hojas se conservan vigorosas. Con la luz, se determinó que las medidas que más favorecen el proceso de fotosíntesis y el avance de la planta están entre 10.000 y 25.000 lux. Estos hallazgos permitieron entender mejor el comportamiento del banano sobre el semicallizo y brindaron una base firme para optimizar el trabajo en el campo, ayudando tanto a prevenir la Sigatoka negra como a mejorar el volumen de producción.

A partir de los valores obtenidos, se definieron rangos de temperatura, humedad y luminosidad asociados a niveles de riesgo bajo, moderado y alto frente a la aparición de la Sigatoka negra. Esta clasificación facilita la interpretación de los

datos ambientales y permite identificar condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad. (Ver Anexo-Tabla 4).

En condiciones de bajo riesgo, están las temperaturas entre 22 °C y 24 °C, humedad relativa del 70 % al 85 % y luminosidad entre 10.000 y 25.000 lux, un periodo prolongado de exposición que generan afecciones. El riesgo moderado se asoció a temperaturas de 24 °C a 26 °C, humedad del 65 % al 80 % y luminosidad entre 5.000 y 10.000 lux, activando alertas preventivas. Finalmente, se consideró riesgo alto cuando la temperatura se situó entre 28 °C y 30 °C, la humedad superó el 90 % y la luminosidad disminuyó por debajo de los 5.000 lux, condiciones típicas de ambientes cerrados y húmedos que favorecen el desarrollo del hongo.

Tener bien claro cómo se comporta el ambiente le da al productor la posibilidad de afinar las estrategias y tomarlas en el momento que toca. Por poner un caso, si es (con medidas de humedad bien alta (por encima del 90 %) con temperaturas entre 25 °C y 30 °C, se pueden cambiar las horas de riego, estar más atento con las revisiones sanitarias o hacer prácticas con sombra para bajarle el estrés a las plantas. Así las cosas, los registros del clima no se quedan solo en papeles o pantalla, sino que se vuelven una ayuda práctica para mejorar el trabajo en el campo y sacarle más jugo al cultivo.

Estos resultados sustentaron la necesidad de automatizar el registro y análisis de las variables ambientales, dado que los métodos manuales resultan insuficientes para garantizar un control continuo y preciso. La información obtenida fue fundamental para definir los parámetros de operación del sistema IoT desarrollados en etapas posteriores del proyecto.

4.2 Integración de las variables microclimáticas en una plataforma digital.

Se realizó la integración de las variables microclimáticas recolectadas en la plataforma digital Blynk para almacenar, procesar y visualizar la información obtenida por los sensores. La plataforma se configuró para recibir los datos capturados por el microcontrolador, procesarlos y presentarlos de forma clara y comprensible al usuario, permitiendo un acceso rápido a la información ambiental en tiempo real. (Ver Anexo, Figura 12).

El funcionamiento de la plataforma Blynk permitió comprobar la estabilidad en la transmisión de los datos, los cuales fueron visualizados mediante indicadores y gráficos que mostraron las variaciones de temperatura, humedad y luminosidad durante las pruebas de campo. Esta visualización facilitó la interpretación de los

resultados y el análisis del comportamiento ambiental del cultivo. (Ver Anexo: Figura 13).

Además, la plataforma Elyrik dio la oportunidad de ir guardando datos a lo largo del tiempo, lo que ayudó a ver cómo se van comportando las cosas y a comparar el clima de diferentes zonas. Con eso quedó claro que la herramienta no sirve solo para estar vigilando al instante, sino que también se convierte en un archivo fácil de usar para organizar las labores del campo, decidir qué criterios y aplicar medidas que prevengan problemas cuando el clima empiece a cambiar. (Ver Anexo: Figura 14).

Además, el sistema fue configurado para generar alertas cuando las variables microclimáticas alcanzan ciertos niveles asociados al desarrollo de la *Sigantha nigra*. Específicamente, cuando la humedad supera el 90 % y la temperatura se mantiene entre 25 °C y 30 °C durante un período prolongado, el protocolo envía una notificación en la plataforma móvil indicando una posible condición de riesgo para el cultivo. En cuanto a la luminosidad, el sistema genera alertas cuando los niveles superan los 25.000 lux, lo que podría provocar estrés por exceso de radiación solar, o cuando descienden por debajo de los 5.000 lux durante varias horas, afectando el proceso de desarrollo de la planta. Estas notificaciones permitieron al productor actuar de manera preventiva, realizando injecciones en las plantas, ajustando prácticas de manejo y aplicando medidas de protección. (Ver Anexo: Figura 15).

La información detallada generada a partir de los datos recopilados por el sistema permitió evaluar el comportamiento de la temperatura, humedad y luminosidad durante el periodo de estudio. (Ver Anexo: Tabla 5.6 y 7). Estos resultados respaldan el funcionamiento de la plataforma Elyrik y muestran de manera organizada las variaciones microclimáticas observadas en el cultivo, facilitando la interpretación de la información y la toma de decisiones en el manejo agronómico. (Ver Anexo: Figura 16, 17 y 18).

El estudio de los datos promedio registrados entre el 16 de diciembre y el 8 de febrero evidenció variaciones importantes en las condiciones microclimáticas del cultivo. En diciembre se registraron 25.1 °C y 88 % de humedad, reflejando un nivel de riesgo moderado; en enero se presentó el suceso más significativo con 27.3 °C y 91 % de humedad, condiciones favorables para el desarrollo de la *Sigantha nigra*, además de una mayor luminosidad promedio de 18.000 lux.

mostrando que en los primeros días de febrero la temperatura descendió a 26.4 °C y la humedad a 60 %, junto con una luminosidad de 14 000 lux, mostrando una ligera disminución del riesgo. Confirmando la utilidad del sistema para mejorar la toma de decisiones en el cultivo de tomates.

En el dashboard de monitoreo microclimático, el eje X de los gráficos representa el tiempo en el que se registran las mediciones, permitiendo observar la evolución de las variables a lo largo del período de monitoreo, mientras que el eje Y muestra los valores numéricos correspondientes a cada variable microclimática. En el gráfico de temperatura, el eje Y indica los valores en grados Celsius (°C), en el gráfico de humedad representa el porcentaje de humedad relativa (%), y en el gráfico de luminosidad muestra la intensidad lumínica expresada en lux (lx). La relación entre ambos ejes permite observar de forma clara las variaciones, tendencias y picos de cada variable, facilitando el análisis del comportamiento ambiental del cultivo y apoyando la toma de decisiones oportunas para su manejo agrario.

4.3 Aplicación del prototipo de monitoreo (IoT) e integración de los datos en la base de datos SQL.

En la etapa final se realizó la implementación del prototipo IoT en la Finca Las Tres Hermanas. El sistema fue ensamblado con los sensores DHT20 y TSL2591, integrados al microcontrolador ESP32, encargado de recibir, procesar y transmitir los datos hacia la base de datos. El prototipo se instaló en un área de 50 m² del cultivo, donde se ejecutaron pruebas de funcionamiento durante varias días consecutivos. (Ver Anexo, Figura 20)

Para la gestión del envío y registro de la información se utilizó Visual Studio Code como entorno de desarrollo, permitiendo la comunicación entre el prototipo IoT y la base de datos SQL, mediante una API encargada del envío de los datos generados por los sensores al servidor SQL. Donde se estructuraron las tablas con identificadores, fecha y hora de cada lectura generada por los sensores. (Ver Anexo, Figura 19, 20 y 21)

El sistema operó de manera estable, registrando lecturas continuas de temperatura, humedad y luminosidad, las cuales fueron almacenadas automáticamente en la base de datos SQL. Cada registro quedó asociado a un identificador y a información temporal de fecha y hora, lo que permitió mantener un control ordenado y confiable de la información recolectada. Los resultados

continuar la correcta sincronización entre los componentes del sistema, evidenciando la fiabilidad de los mediciones y la consistencia en la transmisión analítica de la información. (Ver Anexo, Figura 23).

Cuando se estuvo probando el sistema, se pudo ver que los datos que se recibían recogiendo eran exactos y se iban recibiendo al instante, de manera que el usuario podía consultarlos sin problemas desde la plataforma digital. Por otro lado, la base SQL hizo posible ir acumulando todo ese historial de registros, lo que facilitó recibir y mantener la información con el paso de los días. Con esto quedó demostrado que el sistema funciona bien para manejar los datos del ambiente y que tiene futuro como una herramienta tecnológica que ayude a decidir en el campo con base en lo que realmente se ha medido.

El funcionamiento del prototipo IoT permitió evidenciar la relación directa entre las condiciones microclimáticas y el estado del cultivo de batatas, lo que representa un avance significativo en la digitalización y automatización del sector agrícola local.

Al conocer el estado del cultivo antes y después de la implementación, tanto el productor como sus trabajadores evidenciarán una mejora notable en el control microclimático de la finca. El sistema permitió detectar condiciones de riesgo con mayor anticipación, fortaleciendo la prevención de la Erythraeae nigra. Esto representará un avance significativo en la gestión técnica y sanitaria del cultivo. (Ver Anexo, Tabla 6).

5. DISCUSIÓN

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un prototipo IoT para el monitoreo de variables microclimáticas en el cultivo (en el marco de la Finca Los Teros Hermosa). El sistema registró los datos de temperatura, humedad y luminosidad mediante sensores, un ESP32, una plataforma de almacenamiento y una base de datos SQL con el propósito de mejorar el control de las condiciones ambientales, apoyar la toma de decisiones y contribuir a la prevención de enfermedades en el cultivo.

Los resultados muestran que el monitoreo de variables microclimáticas es esencial para la optimización de la producción agrícola y la prevención de enfermedades. El monitoreo continuo y sistemático de variables ambientales permite a los productores identificar de manera anticipada condiciones que podrían afectar el desarrollo y rendimiento de los cultivos, facilitando la implementación de estrategias preventivas y reduciendo la pérdida de rendimiento; especialmente en proyectos de agricultura de precisión en regiones con alta variabilidad climática (Torres, 2021, pp. 10-14). La identificación temprana de condiciones ambientales críticas es fundamental para prevenir enfermedades en el cultivo de banana. Esto permite implementar estrategias de manejo que reduzcan las pérdidas de producción y optimicen la eficiencia del cultivo en zonas con alta variabilidad climática.

Tener toda la información junta en plataformas digitales ayuda a tomar decisiones con acierto. El hecho de contar con sistemas de gestión que recolectan y procesan los datos de manera automática, y que además muestran gráficas cuando las medidas pasan los límites aconsejables, les da a los productores la posibilidad de ver informes bien detallados sobre el clima en sus parcelas. Eso les permite visualizar comparativamente que pueden verse mejorados y actual en el momento justo, lo cual termina influyendo directamente en lo que se cosecha y en que el cultivo se mantenga en el tiempo. (Gómez, 2022, pp. 00-48). Juntar la información en plataformas digitales vuelve más sencillo revisar cantidades grandes de datos y mejora la capacidad de responder a tiempo. También ayuda a encontrar patrones de peligro que afectan el rendimiento y la durabilidad de los cultivos.

Tener la información bien organizada en bases de datos como SQL ayuda a tener un control más claro y a mirar hacia atrás para entender lo que ha pasado con el cultivo. Cuando se recopilan de manera ordenada los datos del clima en sistemas automáticos, se puede hacer un seguimiento detallado de los factores que

monstrar y establecer comparaciones que permitan encontrar relaciones entre el ambiente y el desarrollo de las enfermedades. Esto termina siendo un reto para bien o mal para tomar determinaciones importantes con visión de futuro (Viloria, 2021, p. 32). Contar con registros ordenados de la información para la parte a analizar, tendencias y hacer conexiones, lo que también encuentre conexiones entre las condiciones del entorno y la aparición de plagas o infecciones. Toda esa base sirve para analizar con cabeza fría y tomar de manera más acertada.

Por tal razón, es viable desarrollar una alternativa que, de acuerdo con datos de población y cultivos asociados al clima, pueda beneficiar al sector agrícola. Asencio (2023) mencionó que la implementación de soluciones tecnológicas sostenibles orientadas al análisis de variables ambientales permite fortalecer la capacidad de control de plagas, promover un entorno más natural y limpio, y generar beneficios tanto para el medio ambiente como para el consumidor. Según el autor, este tipo de propuestas no sólo impulsan la sostenibilidad agrícola, sino que también incorporan un valor agregado que mejora la competitividad del sector.

El lado negativo de estos sistemas radica en el escaso conocimiento existente respecto a su funcionamiento y el impacto positivo que podrían generar una vez implementados en una organización. Según Orfano (2022), la falta de capacitación y la resistencia al cambio tecnológico provocan que muchas empresas no confíen en estas herramientas, prefiriendo mantener procesos tradicionales que limitaban su eficiencia y competitividad. El autor señala que esta desconexión representa uno de los principales obstáculos para la adopción de tecnologías innovadoras en el ámbito empresarial.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

La identificación de las variables microclimáticas mediante el uso de sensores permitió comprobar que la temperatura, la humedad y la luminosidad influyen directamente en el desarrollo del cultivo de banano en la Finca Las Tres Hermanas. El monitoreo continuo evidenció variaciones ambientales relevantes a lo largo del día, contribuyendo a la importancia de establecer valores de referencia para estas variables, ya que facilitan identificar condiciones favorables para la aparición de la Sigatoka negra y la aplicación oportuna de acciones preventivas.

La integración de las variables microclimáticas en la plataforma digital permitió transformar los datos recolectados en información visual clara y comprensible mediante gráficos estadísticos en tiempo real, visualizados en un dashboard, donde el eje X representa el tiempo y el eje Y las variables temperatura (°C), humedad (%) y luminosidad (lx), facilitando el análisis de su comportamiento y apoyando la toma de decisiones preventivas frente a la Sigatoka negra.

La implementación del prototipo IoT basado en el microcontrolador ESP32 junto con su integración a una base de datos SQL, demostró un funcionamiento ágil y confiable en condiciones reales de campo. El uso de Visual Studio Code como entorno de desarrollo permitió estructurar y almacenar los datos de forma histórica mediante una API, registrando la información con fecha y hora. Como resultado, se evidenció una mejora en el control de las condiciones microclimáticas y en la prevención de la Sigatoka negra, tanto desde la percepción del propietario como de los trabajadores de la finca.

8.2 RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en la clasificación de las variables microclimáticas, es conveniente mantener el uso permanente de sensores de temperatura, humedad y luminosidad en el cultivo de banano, ya que esto permite detectar a tiempo condiciones de riesgo y aplicar acciones preventivas que ayudan a reducir la aparición de la Sigatoka negra.

Se sugiere continuar utilizando y optimizando la plataforma digital, mejorando la organización de los datos históricos y la visualización de gráficos comparativos que permitan analizar con mayor claridad el comportamiento de la temperatura, humedad y luminosidad en diferentes periodos. Asimismo, mantener actualizado y optimizado los datos microclimáticos del sistema permitirá asegurar una

respuesta oportuna ante posibles condiciones de riesgo. Esto Melaleuca se beneficiará directa y ayudará una integración más sencilla de la información para la toma de decisiones en el cultivo.

A partir de la correcta integración del prototipo IoT con la base de datos SQL, se sugiere que en un futuro se incorporen nuevas cámaras o herramientas de análisis que permitan analizar imágenes digitales con mayor precisión, es importante continuar utilizando Visual Studio Code para la gestión y validación de los registros, aprovechando los datos históricos almacenados en la base de datos para realizar análisis comparativos y estudios de tendencias, lo que permitirá mejorar la planificación agrícola y fortalecer el control de enfermedades en el cultivo de tutano.

BIBLIOGRAFÍA

- Abra, R., Maldonado, J., Pérez, B., Torcino, M., Palacios, K., y Pérez, C. (2024). Aplicación de protocolos IoT para el monitoreo microclimático en cultivos agrícolas en Ecuador. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 56(11), 34-40.
- Andrade, M., y Paredes, V. (2021). *Sistemas digitales en agricultura de precisión: Sistema de monitoreo climático para cultivos de ciclo corto*. 43. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Asencia, A. (2023). *Justificación de la investigación: Determinación de zonas de influencia de frías en la producción de banana orgánica mediante sensores remotos*. Cacha Guayapal, El Guayapal, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.
- Banana, A. (2018). Artículo N°: *Diversity* - 2018 - 640, Especial N° 631, Retrieved: Julio 07, 2025, from <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulacion2019>.
- Bermudez, D., y Orozco, E. (2021). Monitoreo de humedad para el riego de cultivos de banana. *Revista ecuatoriana de Ciencias del Agua*, 3(2), 60-70.
- Cuervo, J. (2021). *Predicción climática y monitoreo IoT en agricultura: Aplicación de tecnologías emergentes, caso el Vitivitel de los Cajas (IoT), en el sector agropecuario del Ecuador*, 55. Iquitos, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Chavez, E., y Mendez, E. (2023). Control automatizado de temperatura y humedad en invernaderos. *Revista de Innovación Agrícola*, 11(01), 53-65.
- Gómez, F. (2022). Plataformas digitales para la gestión de cultivos en condiciones climáticas variables. *Revista Iberoamericana de Tecnología Agrícola*, 1(2), 40-48.
- Jaramila, G. (2022). Monitoreo de variables microclimáticas en cultivos de banana para el control de Sigatoka negra. *Revista de Inteligencia Computacional Agrícola*, 3(2), 74-80.
- Lara, A. (2023). *Monitoreo microclimático y prevención de enfermedades en cultivos de banana: Aplicación de estrategias de monitoreo integrado y análisis predictivo para optimizar la gestión de variables microclimáticas y garantizar la sostenibilidad en cultivos de banana en condiciones de alta variabilidad climática*. E: Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Ley de Propiedad Intelectual. (2022). Congreso Nacional al Plenario de las Comisiones Legislativas. 5 Ecuador. Retrieved Julio 02, 2025, from <https://www.comisadecuador.gob.ec/wp-content/>
- López, E. (2022). Diagrama de información agrícola para el análisis de variables ambientales críticas. Monitoreo digital de cultivos en ambientes rurales: implementación de software para la gestión de datos microclimáticos en la agricultura. 18. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Mercedes, A., y Armas, C. (2021). Innovación tecnológica para el ambiente ambiental en cultivos de banana en Ecuador. *Ciencia y Producción Científica*, 8(1), 29-34.
- Mora, J. (2020). Monitoreo agrícola y variables ambientales mediante sensores IoT en banana. Estrategias sostenibles para el manejo fitosanitario y control de la *Engañosa negra*, 4(1). Guanoán, Ecuador: Universidad Estatal de Bolívar.
- Murillo, I. (2021). Rastreo aéreo en campos de papayas microclimáticas. *Revista Tecnológica de Escuelas Ingenierías*, 8(2), 43-49.
- Núñez, M., y García, L. (2022). Implementación de sensores IoT en áreas rurales agrícolas: oportunidades y limitaciones. *Revista Agronómica*, 7(2), 58-85.
- Ochoa, M. (2022). Planteamiento del problema. Implementación de un sistema web para gestionar el control laboral de producción y logística de la banana. *Revista LaPual*, 2(1). Milagro, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.
- Pérez, D., y Molina, F. (2023). Aplicación de sensores IoT para optimización en cultivos tropicales. *Boletín de Ciencia y Tecnología*, 2(4), 97-102.
- Pérez, F., y Jerez, C. (2022). Una nueva estrategia de sensores para un monitoreo eficiente en agricultura. Determinación de cultivos móviles para la ubicación de sensores agrícolas en el ecosistema de la provincia de Morona Santiago. 23. Morona Santiago, Ecuador: Prefectura de Morona Santiago.
- Ramírez, F. (2023). Aplicación de tecnologías IoT para el monitoreo microclimático y la gestión de humedad en el cultivo de banana. *Revista AgroTecnica de Litoral*, 11(2), 15-19.
- Ramos, P. (2022). Implementación de tecnologías IoT en la agricultura de precisión: impacto en la productividad y prevención de enfermedades. *Revista Latinoamericana de Agricultura*, 7(1), 15-22.

- Rodríguez, B. (2022). Uso de sensores IoT en el monitoreo agrícola para cultivos productivos en zonas húmedas. *Revista de Ciencia y Tecnología Rural*, 5(2), 68-91.
- Sepúlveda, Y. (2022). Automatización y energías renovables para sistemas IoT en agricultura: Importancia del monitoreo ambiental para la toma de decisiones en cultivos agrícolas. B. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Suárez, G., y Calderón, T. (2020). Integración de plataformas IoT y bases de datos SQL para el monitoreo agrícola en tiempo real. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(1), 45-54.
- Tobías, H., y Rueda, J. (2022). Uso de sensores de luminosidad para el monitoreo en cultivos de hortaliza. *Revista Latinoamericana de Agronomía Sostenible*, 10(3), 67-72.
- Torres, G. (2021). Modelos ambientales para la prevención de enfermedades en cultivos de hortalizas. *Revista de Investigación Agrícola*, 13(1), 10-12.
- Valdehina, M., Viquez, V., y León, E. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador: región costa. *Revista Científica Comunitaria: Educación, Política y Valores*, 11(2), 1-21.
- Villera, I. (2021). Gestión de datos microclimáticos mediante bases SQL en cultivos de ciclo corto: implementación de sistemas de información para el análisis automático y fiabilidad de variables atmosféricas en cultivos agrícolas de ciclo corto. B. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Villavegas, K., y Vinquez, E. (2023). Evaluación de variables climáticas en cultivos tropicales mediante plataformas IoT. *Revista de Seguridad Ambiental Rural*, 3(1), 40-45.
- Yañón, M., y Montenegro, C. (2023). Uso limitado de tecnologías IoT en la gestión agrícola y su impacto en la sostenibilidad. *Revista SATHRY: Seminario*, 10(1), 200-241.

ANEXOS

Anexo N° 1: Modelo de entrevista para el propietario



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL

CARRERA COMPUTACION

Objetivos: Con esta entrevista se busca obtener información directa del propietario de la finca sobre cómo se maneja actualmente el cultivo de banano, identificar dificultades relacionadas con el control ambiental y la aparición de enfermedades. Además, se pretende conocer su opinión respecto a la implementación de tecnologías de monitoreo basadas en sensores, para determinar si existe apertura a implementar soluciones automatizadas que mejoren el manejo de las condiciones del cultivo y contribuyan a la prevención de la Sigatoka negra.

1. ¿Qué factores considera usted que más afectan la salud del cultivo de banano en su finca?

2. ¿Cuáles son los métodos actuales que utiliza para detectar la aparición de enfermedades como la Sigatoka negra?

3. ¿Con qué frecuencia enfrenta problemas relacionados con cambios bruscos de temperatura o humedad?

4. ¿Ha utilizado otros sensores o algún sistema para monitorear las condiciones del cultivo?

5. ¿Considera que recibir continuamente señales como temperatura, humedad y luminosidad puede ayudar a prevenir enfermedades en el Estadio?

6. ¿Estaría dispuesto a utilizar un protocolo que le entregue esta información en tiempo real?

7. ¿Qué beneficios espera obtener si se implementa un sistema automatizado de monitoreo en el fútbol?

8. ¿Qué limitaciones cree que podrían surgir al introducir esta tecnología?

9. ¿Cree que los trabajadores de la zona podrían adaptarse fácilmente a este herramienta?

10. ¿Participaría usted activamente en la prueba del prototipo para mejorar su funcionamiento?

Elaborado por: El Astor, 2028

Anexo N° 2: Modelo de encuesta para los trabajadores



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL

CARRERA COMPUTACIÓN

Objetivos: La finalidad de esta encuesta es recopilar datos relevantes sobre las tareas que realizan los trabajadores, su experiencia en la detección de problemas relacionados con el ambiente y su nivel de familiaridad con tecnologías. También es posible conocer su disposición a utilizar un sistema automatizado (telemonitoreo ambiental) con el fin de evaluar la aceptación del prototipo y facilitar su futura integración en las actividades que realizan dentro del cultivo de banana.

1. ¿Desde hace cuánto tiempo trabaja usted en el cultivo de banana?

- Menos de 1 año
- Entre 1 y 3 años
- Más de 3 años

2. ¿Actualmente se mide la temperatura, humedad y luminosidad del cultivo durante su trabajo diario?

- Sí
- No

3. ¿Con qué frecuencia han observado enfermedades como la Sigatoka negra en las plantas?

- Frecuentemente
- Ocasionalmente
- Casi nunca

4. ¿Ome que sería de tener un sistema que muestre en una pantalla cómo está el clima del cultivo (temperatura, humedad y luminosidad)?

- Sí
- No
- No estoy seguro

5. ¿Ha recibido capacitación sobre el uso de herramientas o sistemas tecnológicos en el campo?

Sí

No

6. ¿Cree que un sistema automatizado que mida el clima del cultivo ayudaría a prevenir enfermedades como la Sigatoka negra?

Sí

No

Tal vez

7. ¿Estaría dispuesto a usar una herramienta digital si esta le facilita su trabajo?

Sí

No

Sí, con capacitación previa

8. ¿Qué tan compleja piensa que sería adaptarse a un sistema que mida temperatura, humedad y luminosidad del cultivo?

Fácil

Difícil

No estoy seguro

9. ¿Le gustaría participar en las pruebas del nuevo sistema de monitoreo dentro de la finca?

Sí

No

10. ¿Qué tan importante le parece contar con información del clima para mejorar su trabajo en el cultivo?

Muy importante

Importante

Poco importante

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 3.

Entrevista al propietario de la Finca "Los tres Hermanos".



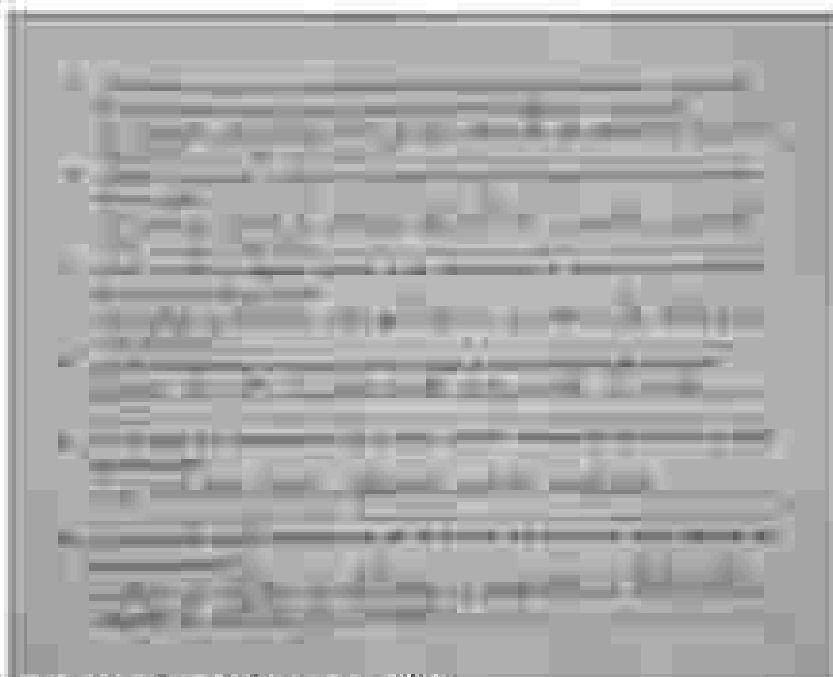
Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 4.

Encuesta a los trabajadores de la Finca "Los tres Hermanos".



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 5.**Entrevista realizada al propietario de la Finca "Los Tres Hermanos".**

Elaborado por: El Autor, 2028

Figura 4.

Encuesta realizada a los trabajadores de la Finca "Los Tres Hermanos"



Elaborado por: El Autor, 2028

1. ¿Desde hace cuánto tiempo trabaja usted en el cultivo de banana?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Menos de 1 año	0	0%
Entre 1 y 2 años	0	0%
Más de 3 años	3	100%
Total	3	100%



Elaborado por: El Aster, 2025

Análisis: El gráfico muestra que el 100 % de los trabajadores tiene más de tres años de experiencia, lo que indica un alto conocimiento del cultivo.

2. ¿Actualmente se mide la temperatura, humedad o luminosidad del cultivo durante su trabajo diario?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Si	0	0%
No	10	100%
Total	10	100%



Elaborado por: El Autor, 2026

Análisis: El gráfico evidencia que el 100 % de los trabajadores no realiza mediciones climáticas en el cultivo.

3. ¿Con qué frecuencia han observado enfermedades como la Sigatoka negra en las plantas?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Frecuente	3	100%
Ocasionalmente	0	0%
Casi nunca	0	0%
Total	3	100%

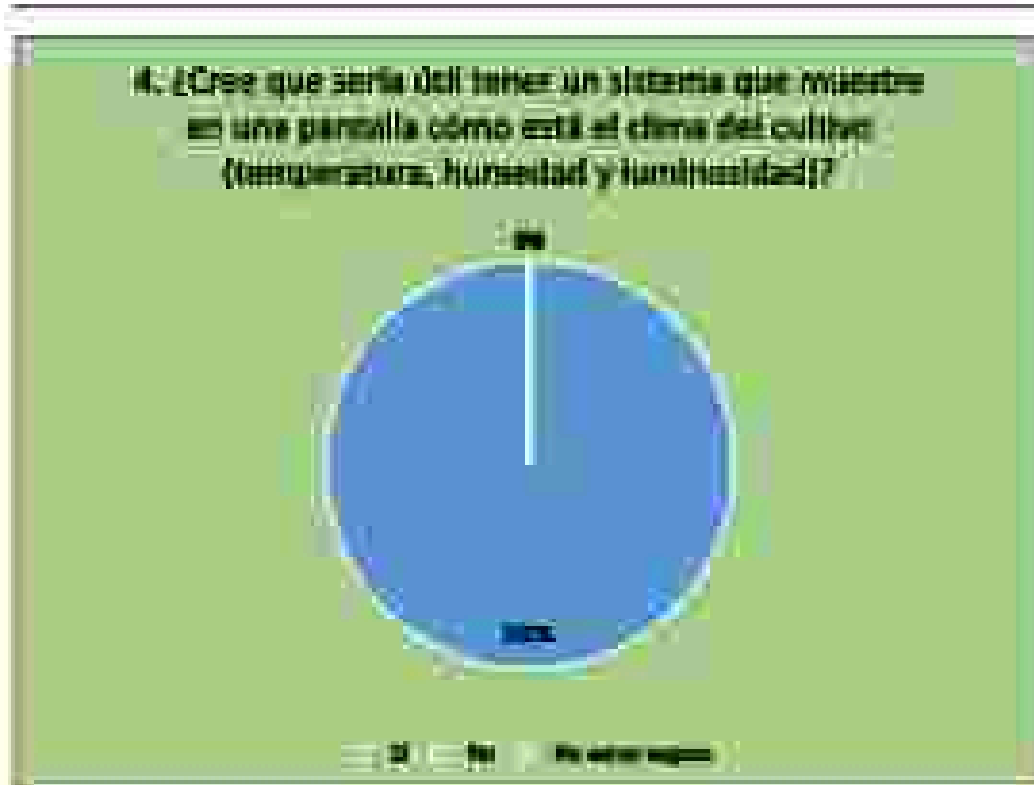


Elaborado por: El Autor, 2026

Análisis: En el gráfico los resultados reflejan que la Sigatoka aparece con frecuencia, constituyendo el 100 % en la opción de mayor incidencia; esto demuestra la vulnerabilidad del cultivo ante cambios ambientales.

4. ¿Cree que sería útil tener un sistema que muestre en una pantalla cómo está el clima del cultivo (temperatura, humedad y luminosidad)?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	100%
No	0	0%
No estoy seguro	0	0%
Total	3	100%



Elaborado por El Autor, 2026

Análisis: El gráfico muestra la aceptación total, ya que el 100 % considera útil disponer de una pantalla con datos climáticos.

5. ¿Ha recibido capacitación sobre el uso de herramientas o sistemas tecnológicos en el campo?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Si	0	0%
No	3	100%
Total	3	100%



Elaborado por: El Autor, 2026

Análisis: El gráfico indica que el 100 % no ha recibido capacitación tecnológica.

6. ¿Cree que un sistema automático que mida el clima del cultivo ayudaría a prevenir enfermedades como la Sigatoka negra?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	100%
No	0	0%
Tal vez	0	0%
Falta	3	100%



Elaborado por: El Autor, 2026

Análisis: El gráfico revela que el 100 % consideran que un sistema automático contribuiría a prevenir enfermedades como la Sigatoka.

7. ¿Estaría dispuesto a usar una herramienta digital si esta le facilita su trabajo?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Si	0	0%
No	0	0%
Si, con capacitación previa	1	100%
Total	1	100%



Elaborado por: El Autor, 2026

Análisis: En el gráfico, el 100 % de los trabajadores manifiesta disposición a usar una herramienta digital, siempre que exista capacitación previa.

B. ¿Qué tan complejo piensa que sería adaptarse a un sistema que mida temperatura, humedad y luminosidad del cultivo?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Fácil	0	0%
Difícil	0	0%
No estoy seguro	3	100%
Total	3	100%



Elaborado por: El Autor, 2026

Análisis: El gráfico muestra que el 100 % indicó que no están seguros en adaptarse a un sistema de monitoreo microclimático, reflejando incertidumbre por falta de experiencia tecnológica.

9. ¿Le gustaría participar en las pruebas del nuevo sistema de monitoreo dentro de la finca?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	100%
No	0	0%
Total	3	100%



Elaborado por: El Autor, 2026

Análisis: En el gráfico, el 100 % de los trabajadores expresan interés en participar en las pruebas del promedio.

10. ¿Qué tan importante le parece contar con información del clima para realizar mejor su trabajo en el cultivo?

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Muy importante	3	100%
Importante	0	0%
Poco importante	0	0%
Total	3	100%



Elaborado por: El Astar, 2024

Análisis: El gráfico evidencia que el 100 % considera muy importante contar con datos climáticos para mejorar su trabajo.

Tabla 1.

Elementos electrónicos para el prototipo de monitoreo

CONCEPTO	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Microcontrolador ESP32	1	\$25.00	\$25.00
Sensor de temperatura y humedad DHT20	1	\$12.00	\$12.00
Sensor de luminosidad TSL2591	1	\$16.50	\$16.50
Panela Diod 0.96" I2C	1	\$8.50	\$8.50
Fuente de alimentación 5V 2A	1	\$5.00	\$5.00
Protoboard	1	\$5.00	\$5.00
Cables tipo jumpo (varios)	1	\$3.00	\$3.00
Caja para módulos	1	\$20.00	\$20.00
Total			\$99.99

Componentes electrónicos para construcción prototipo de monitoreo microclimático

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 2.

Recursos para prueba, monitoreo y validación del prototipo

CONCEPTO	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Laptop	1	\$555.00	\$555.00
Router WiFi	1	\$25.00	\$25.00
Multímetro	1	\$20.00	\$20.00
Cables y conectores adicionales	1	\$10.30	\$10.30
Total			\$610.30

Elementos para verificación y supervisión del prototipo IoT.

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 3.

Registro de variables microclimáticas creadas para prevenir la Sigatoka negra

Variable microclimática	Rango ideal	Importancia para el cultivo de banano
Temperatura (°C)	26 - 30 °C	Este rango térmico favorece el desarrollo biológico del cultivo de banano, permitiendo un crecimiento uniforme y reduciendo el estrés de la planta, lo que contribuye a mantener una adecuada capacidad fotosintética.
Humedad relativa (%)	75 - 90 %	Niveles adecuados de humedad permiten conservar el equilibrio hídrico de la planta, favoreciendo su desarrollo y ayudando a mantener condiciones ideales para la proliferación de enfermedades.
Luminosidad (lux)	10.000 - 20.000 lux	Una adecuada exposición a la luz solar favorece el proceso de fotosíntesis, fortaleciendo la planta y contribuyendo a un crecimiento saludable del cultivo.

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 4.

Condiciones microclimáticas asociadas al riesgo de Sigatoka negra

Variable	Condición Normal (Bajo Riesgo)	Condición de Riesgo Moderado	Condición de Riesgo (Sigatoka negra)	Condición de Alto Riesgo (Sigatoka negra)
Temperatura	22 °C - 24 °C	24 °C - 25 °C	25 °C - 30 °C	
Humedad	70 % - 85 %	85 % - 90 %	Mayor al 80 %	Menor a 5.000 lux (ambiente sombreado y húmedo)
Luminosidad	10.000 - 25.000 lux	5.000 - 10.000 lux		
Tiempo de exposición	de Variaciones cortas	2 - 4 horas continuas	Más de 4 horas continuas	
Nivel de Alerta del Sistema	En alerta	Alerta preventiva	Alerta automática	crítica

Variables microclimáticas asociadas al riesgo de Sigatoka negra

Elaborado por: El Autor, 2026

Código en Arduino del prototipo de monitoreo microclimático

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_TSL2591.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <HTTPClient.h>
#define BLYNK_PRINT Serial
#define BLYNK_DEBUG
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPLXIT6C410"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Prototipo IoT de Monitoreo microclimático"
#define BLYNK_AUTH "m7r402CqvfpUuIKSS2_AX71Rshp6wW"
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
const char* ssid = "ECLUNET-njinykain1";
const char* pass = "111111111111";
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_ADDR 0x3C
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

```

```

#define SHT20_ADDR 0x40
Adafruit_I2Cdev i2c = Adafruit_I2Cdev(i2cdev);

bool readSHT20Data(uint8_t command, uint16_t *raw_value) {
  Wire.beginTransmission(SHT20_ADDR);
  Wire.write(command);
  if (Wire.endTransmission() != 0) return false;
  unsigned long startTime = millis();
  while ((millis() - startTime) < 150) {
    Wire.requestFrom(SHT20_ADDR, 2);
    if (Wire.available() == 2) {
      *raw_value = (Wire.read() << 8) | Wire.read();
      return true;
    }
    delay(10);
  }
  return false;
}

float readTemperature() {
  uint16_t raw;
  if (readSHT20Data(0x73, &raw))
    return 48.85 + (175.72 * raw / 65536.0);
  return 0.0;
}

float readHumidity() {
  uint16_t raw;
  if (readSHT20Data(0x75, &raw)) {
    float hum = 48.0 + (128.0 * raw / 65536.0);
    return constrain(hum, 0, 100);
  }
  return 0.0;
}

double readLux() {
  uint32_t lum = 0;
  if (readLux() >= 10)

```

```

uint8_t buf = 0x0 & 0xFF;
return to_consoleEOL(buf, 0);
}

void errorDataAPI(float temp, float hum, int lux) {
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) return;
  HTTPClient http;
  String url = "http://192.168.1.9:3000/api/guardia/";
  http.addHeader("Content-Type", "application/json");
  http.setTimeout(20000);
  String json = "{\"temp\": " + String(temp) +
    ", \"humid\": " + String(hum) +
    ", \"luminosidad\": " + String(lux) + "}";

  int httpCode = http.POST(json);
  Serial.print("API response: ");
  Serial.println(httpCode);
  http.end();
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(21, 22);
  if (!WiFi.begin()) { Serial.println("ERROR TSL2591"); while(1); }
  int ledGain(TSL2591_GAIN_LOW);
  int refTiming(TSL2591_INTEGRATIONTIME_100MS);
  if (!Wire.begin(SD100E_SWITCHCAPVCC_OLED_ADDR)) {
    Serial.println("ERROR OLED"); while(1);
  }
  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0,0);
  display.println("CONNECTANDO WIFI");
  display.display();
  WiFi.begin(ssid, pass);
  while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) { delay(500); Serial.print("."); }
  Serial.println("\nWIFI conectado ✓");
  display.clearDisplay();
}

```

```

display.println("WiFi conectado");
display.display();

Ethernet.begin(BLYNK_AUTH, ssid, pass);
}

void loop() {
  Ethernet.begin();

  float temp = round(readTemperature() * 10) / 10.0;
  float humi = round(readHumidity() * 10) / 10.0;
  int lux = (int)readLux();

  Blynk.virtualWrite(V0, temp);
  Blynk.virtualWrite(V1, humi);
  Blynk.virtualWrite(V2, lux);

  Serial.println("T=" + String(temp) + "C,H=" + String(humi) + "%,LUX=" + String(lux));
  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0, 1); display.setCursor(0, 0);
  display.println("DATOS AMBIENTALES");
  display.setCursor(2);

  display.setCursor(0, 15); display.println("T=" + String(temp) + "C");
  display.setCursor(0, 35); display.println("H=" + String(humi) + "%");
  display.setCursor(0, 55); display.println("L=" + String(lux) + "lx");
  display.display();

  analogWrite(A0, temp);
  delay(5000);
}

```

Figura 7.

Lectura de la temperatura del sensor SHT20

```
float readTemperature() {  
    uint16_t raw;  
    if (readSHT20Data(0x75, &raw))  
        return -46.85 + (175.72 * raw / 65536.0);  
    return -999.0;  
}
```

Elaborado por El Autor, 2026

Figura 8.

Lectura de la humedad del sensor SHT20.

```
float readHumidity() {  
    uint16_t raw;  
    if (readSHT20Data(0xF5, raw)) {  
        float hum = -6.0 + (125.0 * raw / 65536.0);  
        return constrain(hum, 0, 100);  
    }  
    return -999.0;  
}
```

Elaborado por El Autor, 2020

Figura 9.

Cálculo de la luminosidad con el sensor TSL 2591

```
double readLux() {
    uint32_t lum = tsl.getFullIlluminance();
    uint16_t ir = lum >> 16;
    uint16_t full = lum & 0xFFFF;
    return tsl.calculateLux(full, ir);
}
```

Elaborado por El Autor, 2026

Figura 10.

Obtención de lecturas de temperatura, humedad y luminosidad

```
float temp = round(readTemperature() * 10) / 10.0;
float hum = round(readHumidity() * 10) / 10.0;
int lux = (int) readLux();
```

Elaborado por El Autor, 2026

Figura 11.

Envío de datos de sensores al servidor SQL mediante API

```

HTTP/1.1 200 OK
Host: 192.168.1.100
Content-Type: application/json
Content-Length: 20000

{"temp": 20.5, "hum": 65, "pres": 1013, "veloc": 1.2, "calor": 15.5, "luz": 100, "pm25": 15, "pm10": 25, "co2": 400, "so2": 0.5, "no2": 1.0, "o3": 0.05, "aqi": 50, "station": "S1"}

int httpCode = http.POST(url);
Serial.println("Resposta: ");
Serial.println(httpCode);

http.end();

```

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 12.

Ejemplo para la visualización y gestión de datos ambientales en tiempo real



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 13.

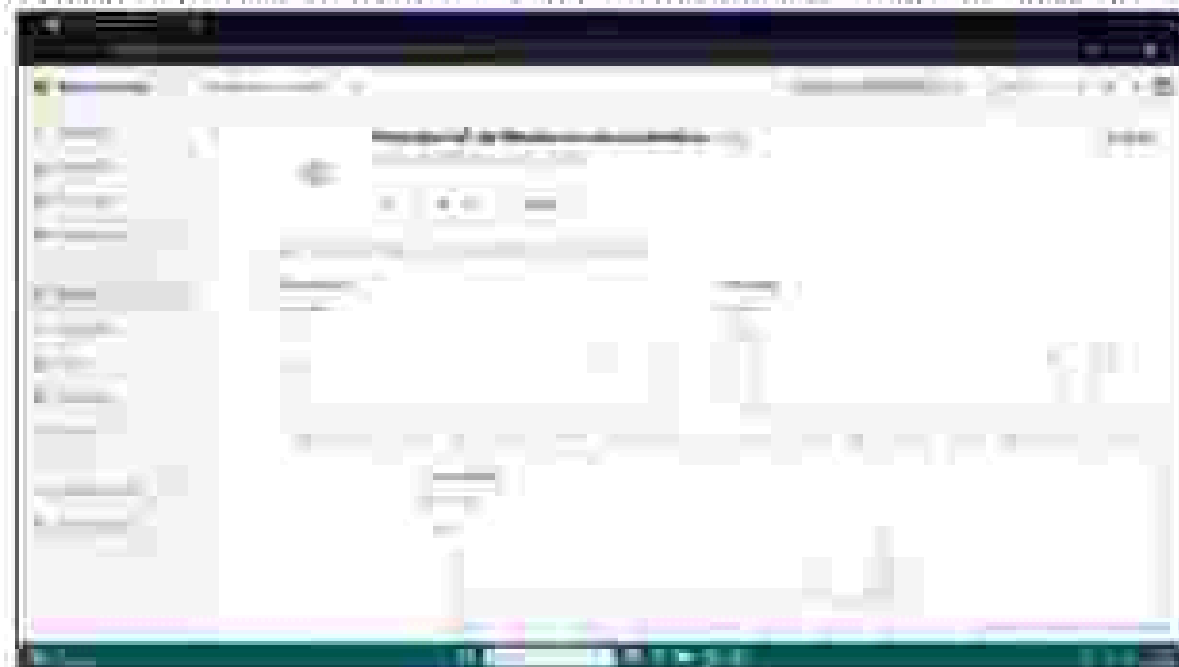
Visualización de temperatura, humedad y luminosidad en la plataforma BlynA.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 14.

Registro histórico en BlynA para analizar tendencias ambientales del cultivo



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 15.

Sistema de alerta en la plataforma Blynk



Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 5.

Temperatura promedio por periodo

Periodo	Temperatura Promedio (°C)
28-31 Diciembre	25,1 °C
Enero	27,3 °C
1-6 Febrero	28,4 °C

Temperatura media registrada por periodo

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 6.

Humedad promedio por periodo

Periodo	Humedad Promedio (%)
15-31 Diciembre	88 %
Ense	91 %
1-6 Febrero	86 %

Humedad media registrada por periodo

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 7.

Luminosidad promedio por periodo

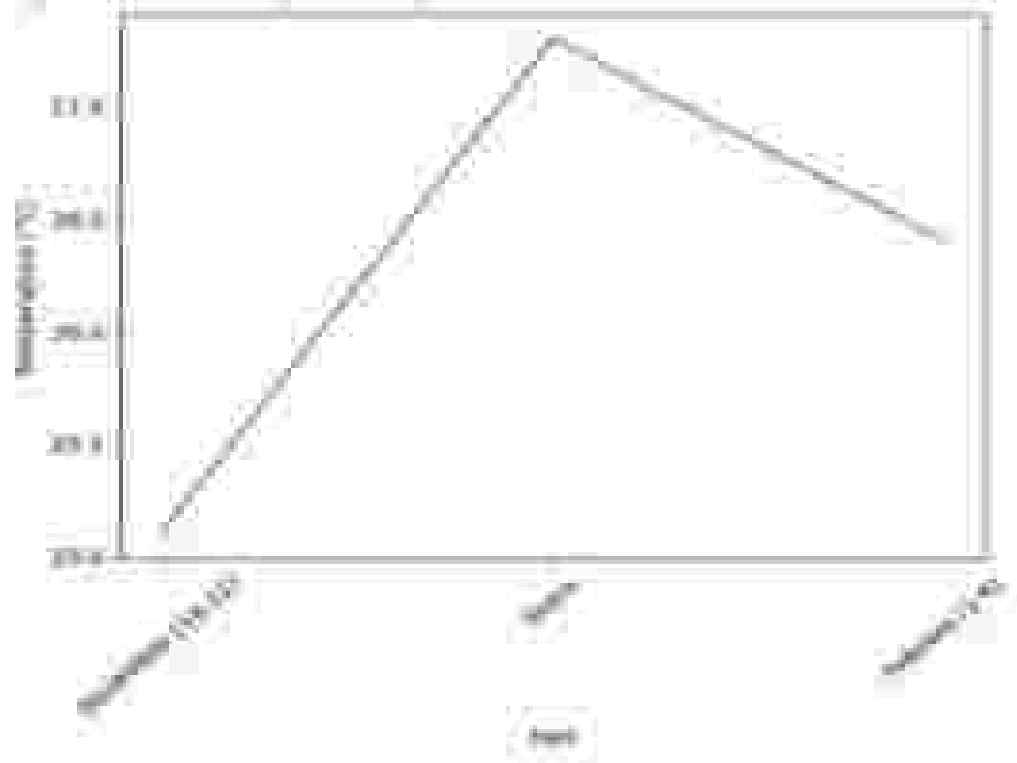
Periodo	Luminosidad Promedio (lux)
15-31 Diciembre	15.000 lux
Ense	18.000 lux
1-6 Febrero	14.000 lux

Luminosidad media registrada por periodo

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 16.

Comparación de temperatura promedio



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 17.

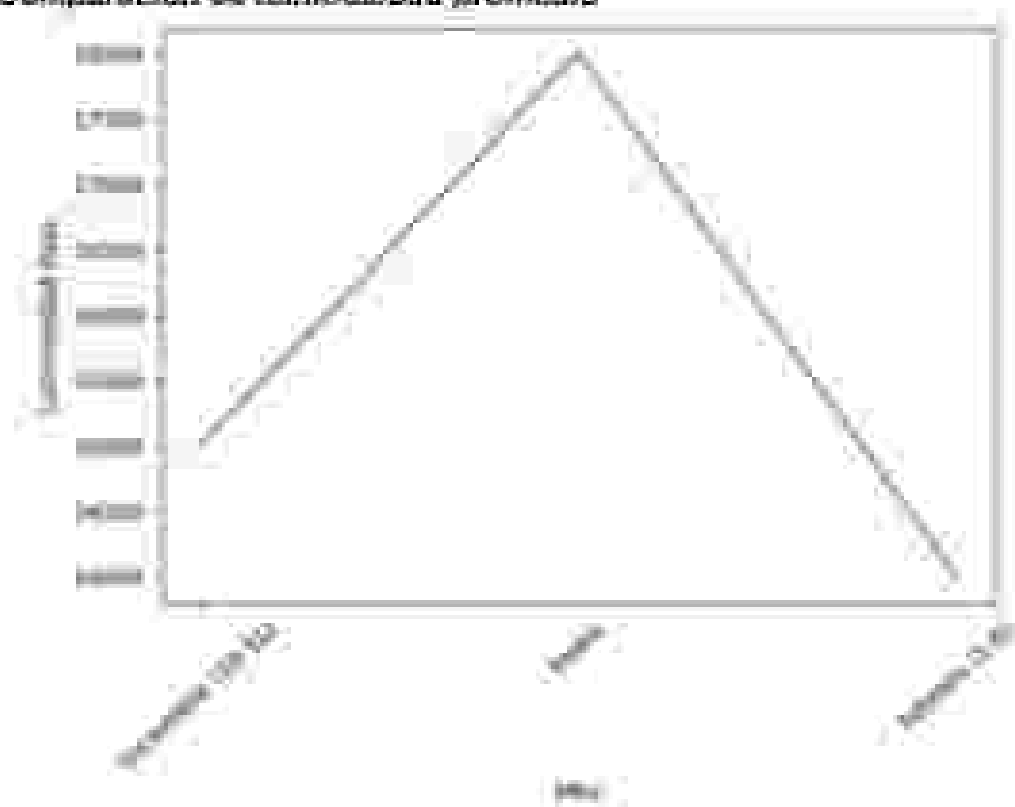
Comparación de humedad promedio



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 18

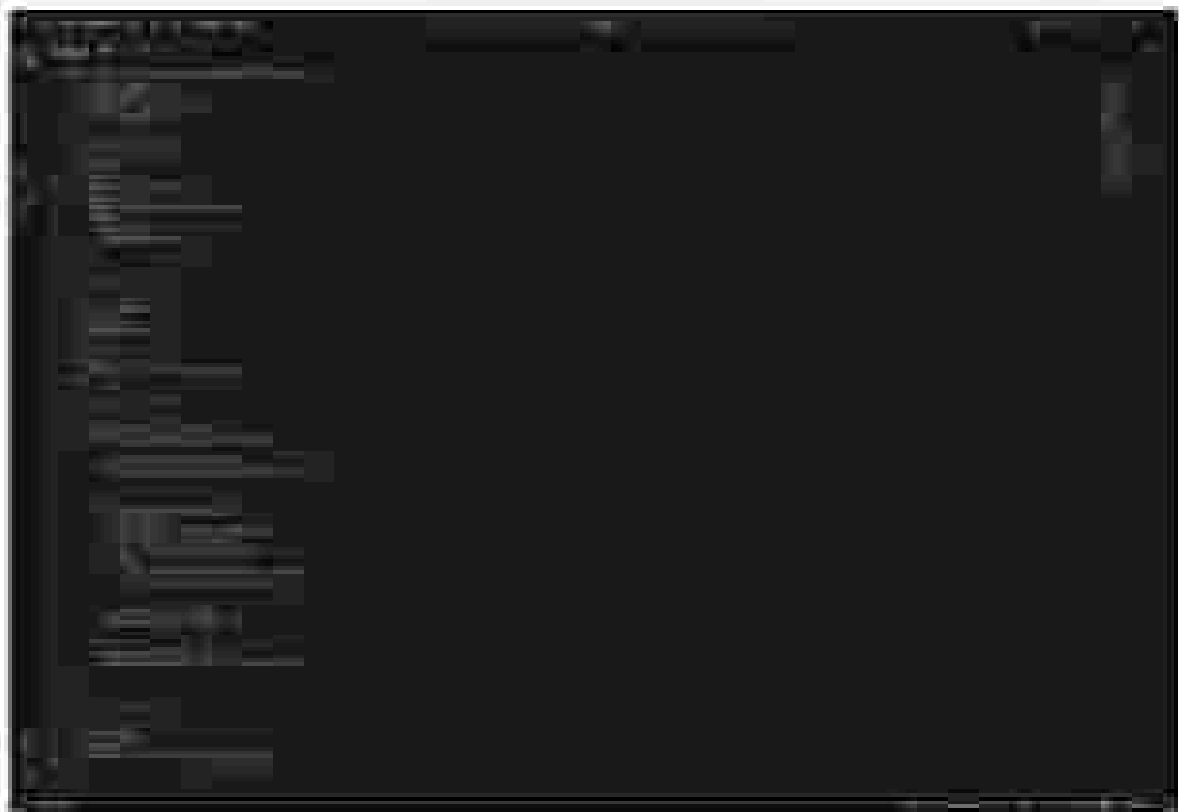
Comparación de luminosidad geométrica



Elaborado por El Autor, 2026

Figura 18.

Codificación de Visual Studio Code del servidor de monitoreo microclimático.



Elaborado por El Autor, 2026

Figura 20

Conexión a la base de datos SQL

```

1  conn = DriverManager.getConnection(
2      "jdbc:sqlserver://localhost:1433;
3      database=ProcesamientoDeDatos;
4      user=usuario;
5      password='ProcesamientoDeDatos';
6      encrypt=true;
7      trustServerCertificate=true");
8  }
9  }

```

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 21

Insertión de datos en la tabla SQL

```

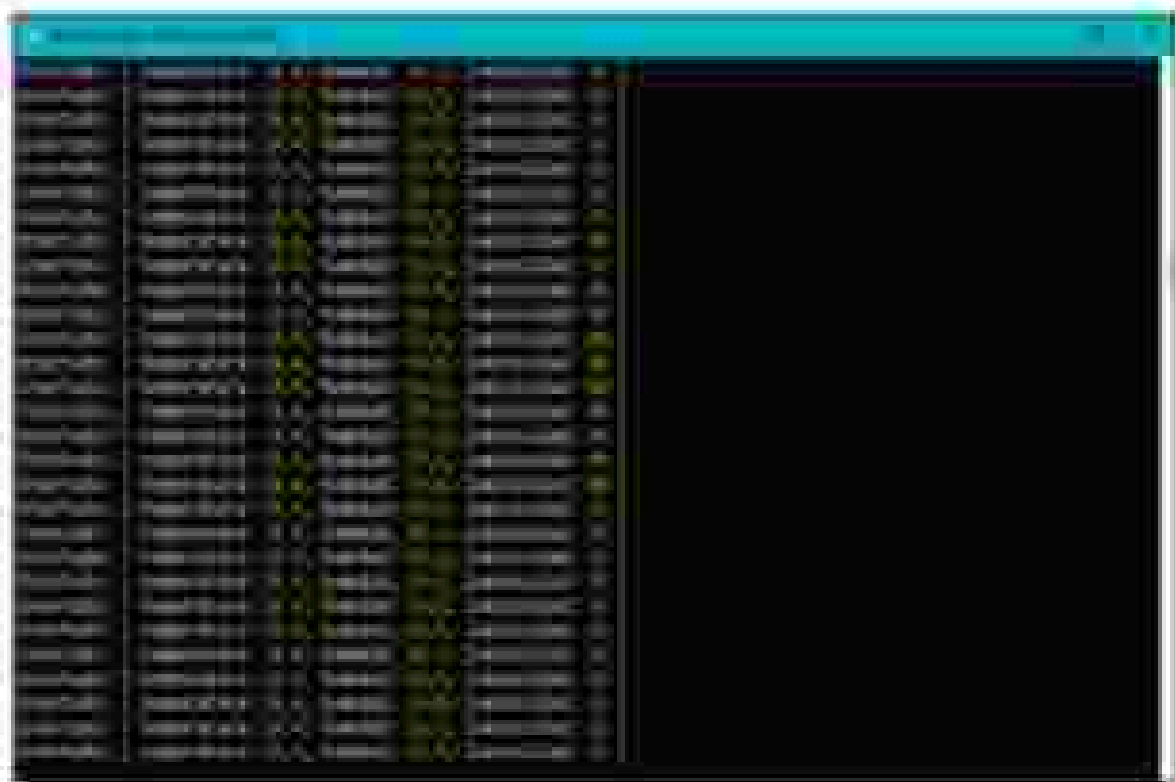
1  stmt = conn.createStatement();
2  stmt.executeUpdate("insert into tabla
3  (nombre, apellido, edad)
4  values('juan', 'perez', 25)");
5  stmt.executeUpdate("insert into tabla
6  (nombre, apellido, edad)
7  values('maria', 'garcia', 30)");
8  stmt.executeUpdate("insert into tabla
9  (nombre, apellido, edad)
10 values('pedro', 'rodriguez', 35)");
11 }

```

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 22

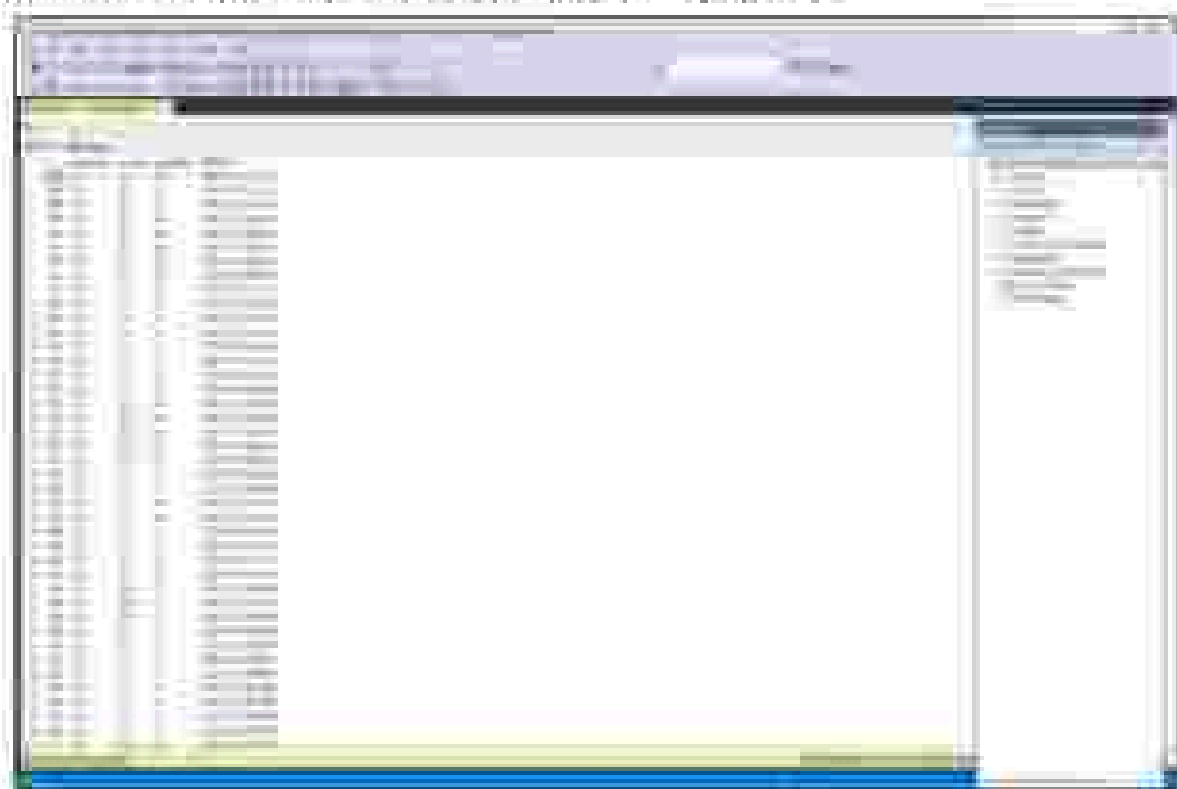
Datos de sensitive del monitoreo automatizado en PowerShell



Elaborado por El Autor, 2026

Figura 23

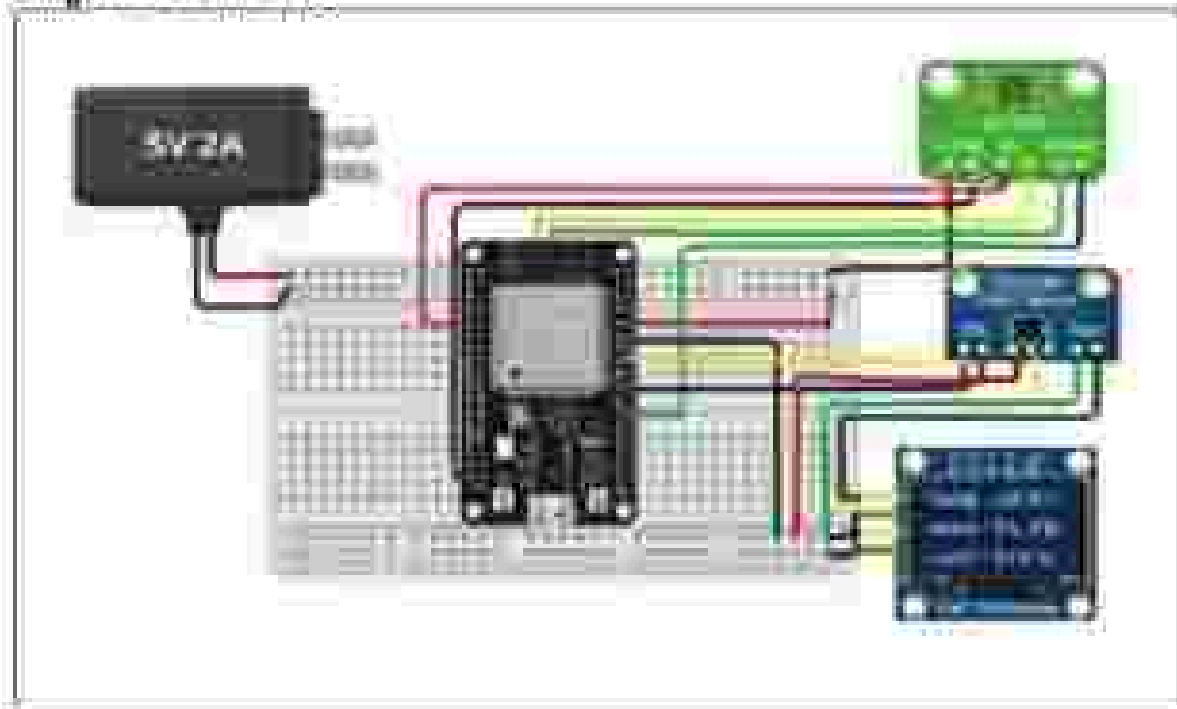
Visualización de datos de los sensores en SQL Server



Elaborado por El Autor, 2026

Figura 24

Diagrama electrónico



Elaborado por El Autor, 2026

Figura 25.

Diseño de la arquitectura



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 26.

Implementación del prototipo IoT para el monitoreo microclimático en la finca



Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 0.

Comparativa del cultivo antes y después de la implementación del prototipo

Indicador Evaluado		Situación Antes del Prototipo	Situación Después del Prototipo
Monitoreo temperatura	de	No existía medición continua; datos estimados (visualización)	Registro digital en tiempo real con niveles promedio entre 28 °C y 26 °C
Monitoreo humedad	de	No se conocían los puntos críticos; alta incertidumbre	Registro constante, permitiendo identificar humedad mayor al 90 %, asociada a riesgo de Etmovora
Monitoreo luminosidad	de	No se medía; desconocimiento del nivel de luz recibida por las plantas	Medición precisa en luz, determinando exposición óptima para el desarrollo vegetativo
Método de detección de enfermedades	de	Se detectaban algunas zonas de las hojas y mostraban como viridias	Identificación temprana de condiciones favorables al hongo, permitiendo acciones preventivas
Toma de decisiones	de	Basada en experiencia y percepción del clima	Basada en datos históricos, gráficos y alertas en tiempo real vía plataforma Elyra
Productividad del cultivo	de	Alta vulnerabilidad ante cambios climáticos; mayor presencia de Etmovora	Reducción de condiciones de riesgo y mejora en la salud del cultivo
Acceso a información climática	de	No había registros ni historial disponible	Base de datos SQL con registros organizados y consultables
Participación del personal	de	Poco conocimiento sobre el estado del cultivo en tiempo real	Capacidad de interpretar datos y actuar oportunamente tras capacitación básica

Comparativa del cultivo antes y después del prototipo IVT

Elaborado por: El Autor, 2020

Acta de entrega y cierre del sistema

Fecha: 19/05/2023

Lugar: Puerto Inca, Cantón Naranjal, Provincia del Guayas, Ecuador

PARTES INVOLUCRADAS

Cliente/Organización: José Anurón

Desarrollador: Bryan Vela

OBJETIVO DEL ACTA

El presente documento formaliza la entrega y cierre del sistema denominado: **"PROTOTIPO IOT PARA EL MONITOREO MICROCLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE BANANO EN LA FINCA LOS TRES HERMANOS DEL CANTÓN NARANJAL"**, desarrollado como parte del trabajo de titulación e investigación académica.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ENTREGADO

Nombre del sistema: Prototipo IoT para el monitoreo microclimático en cultivo de banana.

Objetivo principal: Implementar un prototipo basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de variables microclimáticas mediante sensores, orientado a la prevención de la Sigatoka negra en el cultivo de banana de la Finca Los Tres Hermanos.

Características principales

- Monitoreo de temperatura y humedad mediante el sensor SHT20.
- Monitoreo de luminosidad mediante el sensor TSL2591.
- Captura continua de variables microclimáticas en tiempo real.
- Procesamiento y transmisión inalámbrica de datos mediante el microcontrolador ESP32.
- Integración de los datos ambientales en una plataforma web para su visualización.
- Almacenamiento estructurado de la información en una base de datos SQL.
- Visualización de variables microclimáticas mediante gráficos dinámicos.
- Monitoreo remoto de las condiciones ambientales del cultivo.
- Generación de alertas cuando las variables alcanzan rangos asociados al riesgo de aparición de la Sigatoka negra.
- Registro histórico de datos para análisis y apoyo en la toma de decisiones agrícolas.

MÓDULOS ENTREGADOS

- Módulo de monitoreo de temperatura y humedad mediante sensor SHT20.
- Módulo de monitoreo de luminosidad mediante sensor TSL2591.
- Módulo de procesamiento y comunicación inalámbrica basado en ESP32.
- Módulo de transmisión de datos hacia la plataforma web.

- Módulo de almacenamiento en base de datos SQL.
- Módulo de visualización de datos mediante plataforma Blynk.
- Módulo de alertas para condiciones críticas relacionadas con la Seguridad (riesgo).

DOCUMENTACION INCLUIDA

Se entrega la siguiente documentación como parte del proyecto:

- Manual técnico del sistema.
- Manual de usuario.
- Diagrama de flujo del protocolo.
- Diagrama electrónico.
- Diseño de arquitectura del sistema.
- Código fuente desarrollado para el ESP32.
- Configuración de sensores SHT20 y TSL2591.
- Estructura de la base de datos SQL.

VALIDACION Y PRUEBAS

El propietario de la obra y los trabajadores participaron en la validación del funcionamiento del sistema mediante las siguientes pruebas:

- Pruebas de lectura de temperatura mediante el sensor SHT20.
- Pruebas de lectura de humedad relativa mediante el sensor SHT20.
- Pruebas de medición de luminosidad mediante el sensor TSL2591.
- Pruebas de transmisión inalámbrica de datos mediante ESP32.
- Verificación de almacenamiento de datos en la base de datos SQL.
- Pruebas de visualización de información en la plataforma Blynk.
- Validación de gráficos dinámicos para temperatura, humedad y luminosidad.
- Pruebas de registro histórico de datos ambientales.
- Verificación del sistema de alertas para condiciones de riesgo asociadas a la Seguridad negra.

ENTREGABLES ADICIONALES

- Capacitación técnica al propietario y trabajadores para el uso de la plataforma de monitoreo.
- Instalación y configuración del prototipo IoT en la parcela de 50 m² destinada al proyecto.
- Configuración inicial de la plataforma Blynk para la visualización de datos.

- implementación de la base de datos SQL para el almacenamiento de información ambiental.

DECLARACION DE CONFORMIDAD

Las partes involucradas certifican que el sistema entregado cumple con los objetivos establecidos en el proyecto de investigación y con los requerimientos válidos para el monitoreo de variables meteorológicas en el cultivo de banano de la Finca Los Tres Hermanos. Asimismo, se deja constancia de que el protocolo fue implementado y probado en condiciones reales dentro de la finca, permitiendo el monitoreo continuo de temperatura, humedad y luminosidad mediante sensores conectados a un microcontrolador ESP32. Los datos fueron transmitidos, almacenados en una base de datos SQL y visualizados en la plataforma Blynk, facilitando el análisis de las condiciones ambientales y apoyando la prevención de la Esgerada negra. Por lo tanto, el propietario de la finca recibe a conformidad el sistema descrito en la presente acta.

FIRMAS DE LAS PARTES

Por el Cliente

Nombre: José Arudillo

Cargo: Propietario / Representante de la Finca Los Tres Hermanos

Firma: _____

Por el Desarrollador

Nombre: Bryan Viza

Cargo: Investigador y Desarrollador del Sistema

Firma: _____

Manual técnico del prototipo IoT de monitoreo microclimático en la Finca “Los Tres Hermanos”



INTRODUCCIÓN

El presente Manual Técnico describe los aspectos tecnológicos del protocolo, incluyendo los componentes del hardware, software, arquitectura del sistema y los requisitos necesarios para su correcta implementación y funcionamiento.

Requerimientos del protocolo

Los requerimientos en cuanto a Hardware son:

- **Microcontrolador ESP32**

Descripción:

Microcontrolador de bajo consumo con conectividad WiFi y Bluetooth integrada, utilizado como unidad principal de procesamiento y transmisión de datos del sistema.

Especificaciones técnicas:

Voltaje de operación: 3.3 V

Conectividad: WiFi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2

Frecuencia del procesador: hasta 240 MHz

Memoria Flash: 4 MB

Pines GPIO: hasta 34

Comunicación: I2C, SPI, UART, PWM, ADC

- **Sensor SHT20 (Temperatura y Humedad)**

Descripción:

Sensor digital de alta precisión utilizado para medir temperatura y humedad relativa del ambiente.

Especificaciones técnicas:

Rango de temperatura: -40 °C a 125 °C

Precisión temperatura: ±0.3 °C

Rango de humedad: 0 % a 100 % RH

Precisión humedad: ±1 % RH

Comunicación: I2C

Voltaje de operación: 2.1 V – 3.6 V

- **Sensor TSL2591 (Luminosidad)**

Descripción:

Sensor digital de luz de alta sensibilidad que permite medir niveles de luminosidad en lux.

• Especificaciones técnicas:

Rango de medición: 188 μ m hasta 88,000 μ m

Alta sensibilidad a luz visible e infrarroja

Comunicación: I2C

Voltage de operación: 3.3 V

Operación configurable automáticamente

• Pantalla OLED 0.96" I2C

• Descripción:

Pantalla gráfica utilizada para mostrar en tiempo real los valores de temperatura, humedad y luminosidad.

• Especificaciones técnicas:

Tamaño: 0.96 pulgadas

Resolución: 128x64 pixels

Comunicación: I2C

Voltage de operación: 3.3 V – 5 V

Bajo consumo energético

• Router WiFi

• Descripción:

Dispositivo encargado de proporcionar conectividad inalámbrica para la transmisión de datos tanto en protocolo digital.

• Características generales:

Estándar WiFi: IEEE 802.11 b/g/n

Frecuencia: 2.4 GHz

Seguridad: WPA/WPA2

Alcance aproximado: 20-50 metros en campo abierto

• Laptop para Programación y Monitoreo

• Descripción:

Equipo utilizado para la programación del microcontrolador, configuración del sistema y monitoreo de datos.

• Requerimientos mínimos:

Procesador Intel Core i5-12450H (12va. Generación)

16 GB de RAM

Sistema operativo Windows 11

Puerto USB para programación

Conexión a Internet

Los requerimientos en cuanto a Software son:

- **Arduino IDE**

Descripción:

Entorno de desarrollo unificado para programar el ESP32.

Características:

Lenguaje basado en C/C++

Compatible con múltiples placas

Permite carga directa de código vía USB

- **Librerías para ESP32, SHT20 y TSL2391**

Función:

Permiten la correcta comunicación entre el microcontrolador y los sensores mediante protocolo I2C.

- **Plataforma Blynk**

Descripción:

Plataforma digital para visualización remota de datos en tiempo real mediante dispositivos móviles o web.

Características:

Visualización gráfica en tiempo real

Configuración de sensores

Integración con ESP32 mediante WiFi

- **Gestor de Base de Datos SQL**

Descripción:

Sistema encargado de almacenar los datos recolectados para su posterior consulta y análisis.

Características:

Almacenamiento estructurado

Consultas mediante lenguaje SQL

Gestión histórica de datos

- **Conexión a Internet**

Requisito:

Conexión estable para garantizar la transmisión continua de datos hacia la plataforma digital y la base de datos.

Arquitectura del prototipo

El prototipo IoT se basó en la arquitectura estructurada que permite un funcionamiento eficiente y estable, compuesta por las siguientes capas:

Capa de adquisición de datos

Esta sección está conformada por los sensores SHT20 y TSL2591 encargados de captar las variables ambientales de temperatura, humedad y luminosidad presentes en el Área de cultivo. Los sensores fueron seleccionados por su precisión, estabilidad y adaptabilidad a entornos agrícolas.

Figura 21

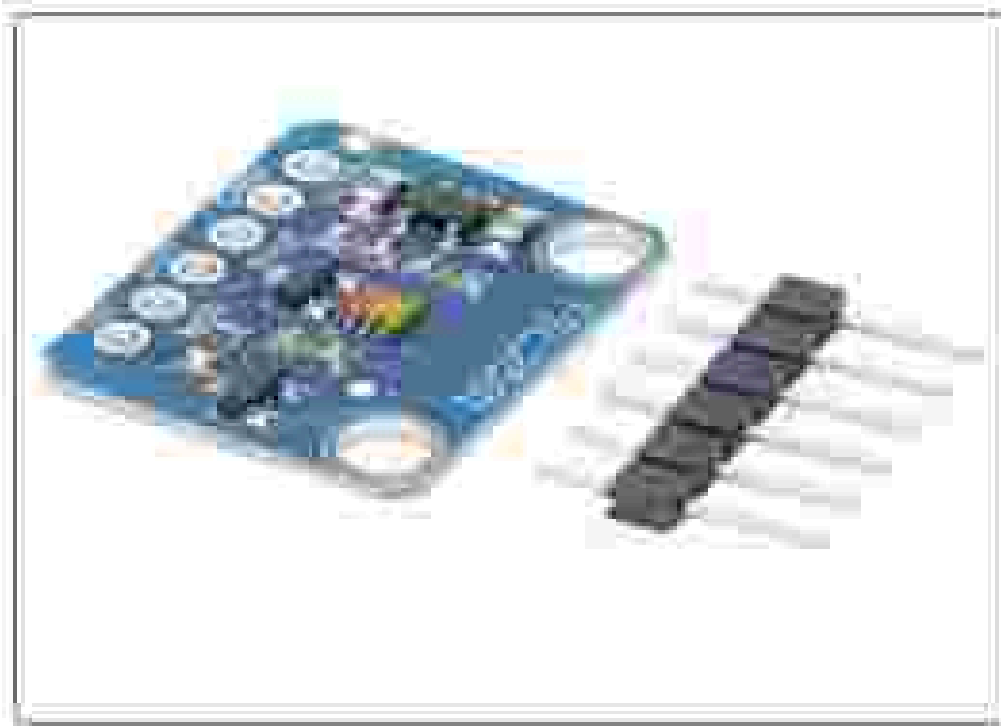
Sensor SHT20



Elaborado por El Autor, 2026

Figura 38

Sensor TSL2591



Elaborado por: El Autor, 2026

Capa de procesamiento y comunicación:

El microcontrolador ESP32 actúa como el núcleo del sistema. Recibe las lecturas de los sensores, las procesa y las transmite de forma inalámbrica mediante conexión WiFi hacia la plataforma de visualización Blynk y la base de datos NoSQL. Esta sección garantiza la transmisión de datos en tiempo real.

Figura 29

Código de lectura de sensores BNT20 y TSL2591

```

#include <Wire.h>
#include <I2Cdev.h>
#include <BNT20.h>
#include <TSL2591.h>

// Definición de pines de conexión
#define BNT20_I2C_ADDR 0x28
#define TSL2591_I2C_ADDR 0x39

// Definición de constantes
const int BNT20_I2C_ADDR = BNT20_I2C_ADDR;
const int TSL2591_I2C_ADDR = TSL2591_I2C_ADDR;

// Definición de variables
int BNT20_I2C_ADDR = BNT20_I2C_ADDR;
int TSL2591_I2C_ADDR = TSL2591_I2C_ADDR;

// Definición de funciones
void setup() {
  Wire.begin();
  BNT20.begin(BNT20_I2C_ADDR);
  TSL2591.begin(TSL2591_I2C_ADDR);
}

void loop() {
  // Lectura de datos de BNT20
  float BNT20_Temp = BNT20.readTemp();
  float BNT20_Humid = BNT20.readHumid();

  // Lectura de datos de TSL2591
  float TSL2591_Lux = TSL2591.readLux();

  // Impresión de datos en el monitor de serie
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(BNT20_Temp);
  Serial.print(" °C");
  Serial.print(" Humedad: ");
  Serial.print(BNT20_Humid);
  Serial.print(" %");
  Serial.print(" Lux: ");
  Serial.print(TSL2591_Lux);
  Serial.println();
}

```

Elaborado por: El Autor, 2026

Implementación de las funciones de lectura de los sensores BNT20 y TSL2591 en el prototipo IoT. El BNT20 mide temperatura y humedad mediante conversión DC, enviando los datos digitales en valores de °C y % de humedad relativa, mientras que el TSL2591 registra la luminosidad en lux utilizando circuitos de luz visible e infrarroja. Estas funciones permitirán obtener datos numéricos precisos para su monitoreo y análisis en el campo de trabajo.

Figura 30.
ESP32



Elaborado por: El Autor, 2026

Capa de almacenamiento y visualización:

Los datos enviados por el ESP32 son almacenados automáticamente en una base de datos SQL, permitiendo la conservación de registros históricos. De forma paralela, la plataforma Blynk presenta los datos mediante indicadores y gráficos que facilitan su interpretación por parte del usuario.

Figura 31.

Blynk



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 32

Microsoft SQL Server Management Studio



Elaborado por: El Autor, 2026

Manual de usuario del prototipo IoT de monitoreo microclimático en la Finca "Los Tres Hermanos"



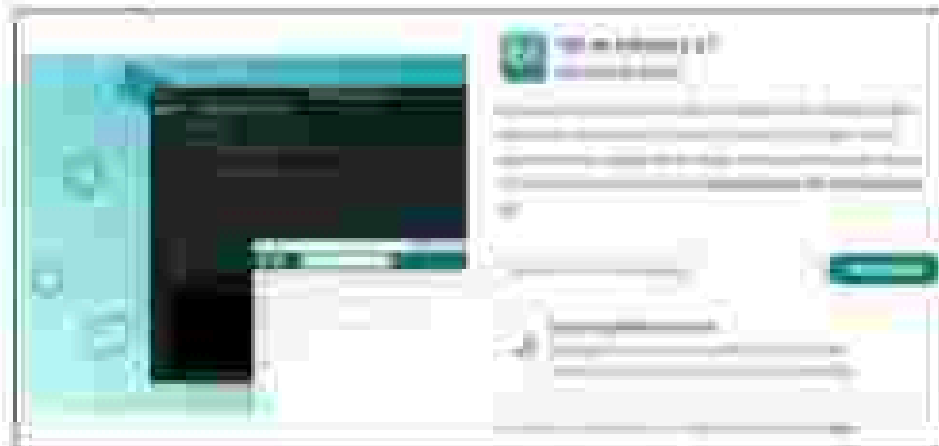
INTRODUCCIÓN

El presente MANUAL de Usuario ha sido elaborado para proporcionar una guía clara y sencilla sobre el uso del sistema IoT de monitoreo microclimático implementado en la Finca Los Tres Hermanos. El sistema fue desarrollado y programado mediante el entorno Arduino IDE, permitiendo la configuración y control del microcontrolador, usas la plataforma digital Blynk para la visualización remota de los datos en tiempo real.

El documento explica cómo acceder a la plataforma de visualización, interpretar la información presentada y utilizar los datos para la prevención de la Sigauna negra en el cultivo de Zanahia.

Figura 30.

Descarga de Arduino IDE



Elaborado por: El Autor, 2026

Arduino IDE es el entorno de desarrollo utilizado para programar y configurar el microcontrolador del sistema. Para su descarga, el usuario debe ingresar al sitio oficial de Arduino, seleccionar la versión compatible con su sistema operativo (Windows, macOS o Linux) y proceder con la descarga del instalador correspondiente.

Figura 34.

Instalación de Arduino IDE:

Elaborado por: El Autor, 2026

Una vez descargado el archivo se ejecuta el instalador y se siguen las pautas indicadas en pantalla, aceptando los términos y redefiniendo las opciones predefinidas. Al finalizar la instalación, el programa queda listo para su uso, permitiendo la carga y modificación del código del protocolo I2C.

Figura 35.

Pantalla de inicio de sesión de la plataforma Blynk

Elaborado por: El Autor, 2026

La pantalla de inicio de sesión permite al usuario ingresar con sus credenciales para acceder al sistema de registros. Este proceso garantiza la seguridad de la información y el acceso al portal principal donde se visualizan los datos en tiempo real.

Figura 36.

Acceso a la plataforma Blynk



Elaborado por: El Autor, 2026

El usuario puede acceder a la plataforma Blynk desde un dispositivo móvil o computación con conexión a internet. Al ingresar a la aplicación, se visualiza el panel principal del sistema, donde se muestran los indicadores de temperatura, humedad y luminosidad en tiempo real.

Figura 37.

Panel principal del sistema



Elaborado por: El Autor, 2026

El panel principal presenta de manera gráfica las variables microclimáticas monitorizadas por el prototipo. Cada indicador permite observar el comportamiento

ambiental del cultivo durante el día, facilitando la detección de condiciones favorables o de riesgo.

Figura 38.

Visualización de temperatura.

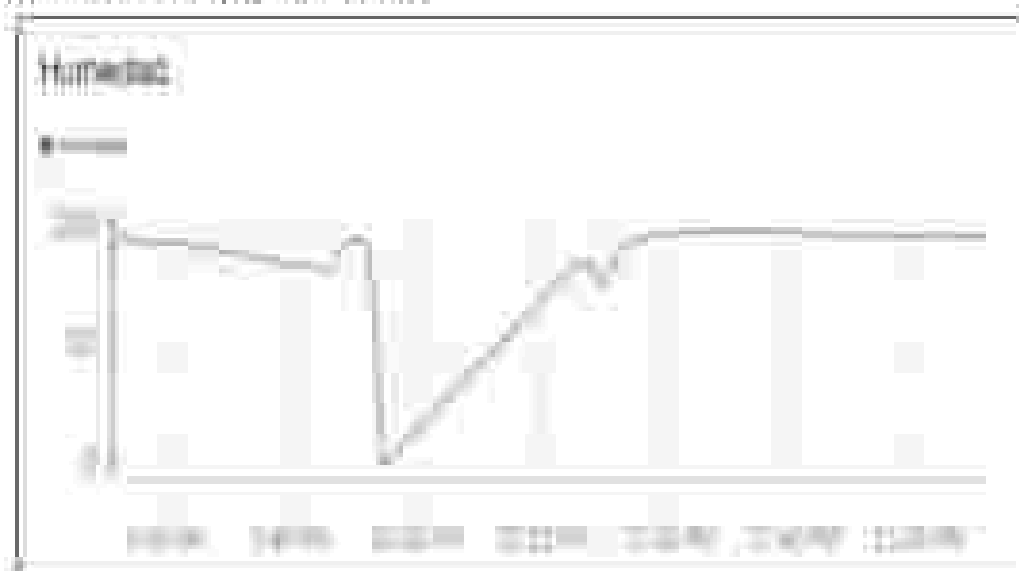


Elaborado por: El Autor, 2026

El indicador de temperatura muestra los valores ambientales registrados por el sensor DHT20. Esta información permite identificar variaciones térmicas que pueden influir en el desarrollo del cultivo y en la aparición de enfermedades.

Figura 39.

Visualización de humedad.

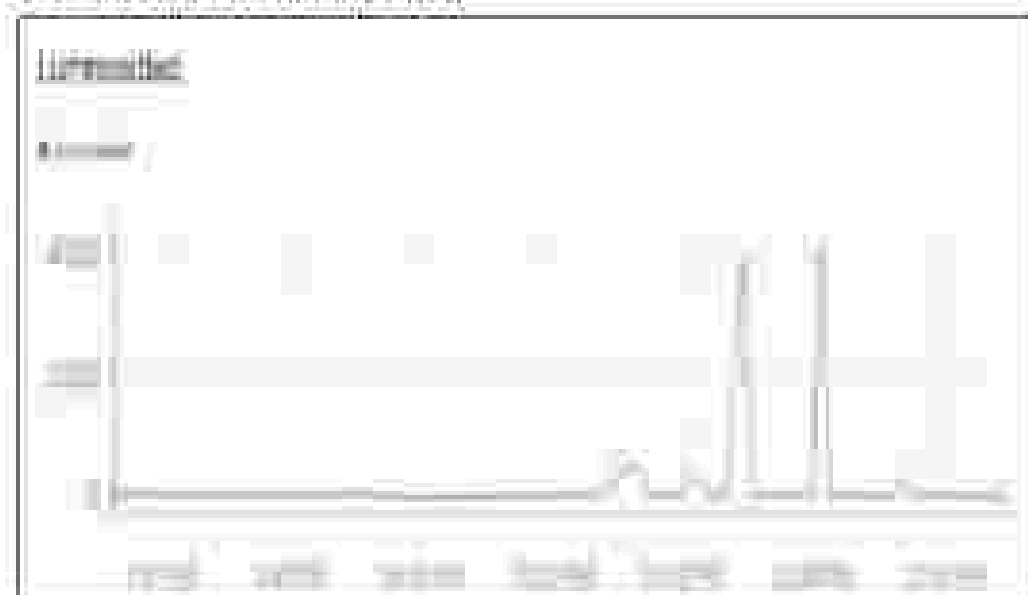


Elaborado por: El Autor, 2026

La humedad ambiental es presentada en tiempo real mediante gráficos e indicaciones. El monitoreo constante de esta variable es fundamental para prevenir condiciones que favorezcan la proliferación de la *Botrytis nigra*.

Figura 40.

Visualización de luminosidad



Elaborado por: El Astar, 2026

El sensor (SL200) permite medir los niveles de luminosidad en el área de cultivo. Esta información ayuda a evitar la exposición excesiva del tomate y su relación con el desarrollo fisiológico de la planta.