

Plan de Trabajo de Grado – Modalidad Investigación:

**DESARROLLO DE PROTOTIPO PARA MEDICIÓN
DE VARIABLES AMBIENTALES DE SISTEMAS
AGROINDUSTRIALES Y CON VISUALIZACIÓN EN
DISPOSITIVOS REMOTOS.**

PRESENTADO ANTE:

Comité de Trabajos de Grado E³T

Por:

Brayan Julian Niño Hurtado
Código: 2172301

Sergio Camilo Santos Uribe
Código: 2172315



ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y DE TELECOMUNICACIONES



Bucaramanga
Septiembre de 2025

Bucaramanga, 22 de septiembre del 2025

Profesores
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E³T)
Universidad Industrial de Santander
Presente

Referencia: Plan de trabajo de grado en la modalidad de proyecto de investigación: “Desarrollo de prototipo para medición de variables ambientales de sistemas agroindustriales y con visualización en dispositivos remotos.”

Estimados profesores,

Considerando los artículos 3°, 8° y 11° del Capítulo IX, Título V, del Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado, me permito presentar a su consideración el plan de trabajo de grado en la modalidad de proyecto de investigación, titulado: “*Desarrollo de un prototipo para la medición de variables ambientales en sistemas agroindustriales, con visualización en dispositivos remotos*”, elaborado por los estudiantes de Ingeniería Electrónica Brayan Julian Niño Hurtado, código 2172301 y Sergio Camilo Santos Uribe, código 2172315. Este documento cuenta con mi aprobación, por lo cual respetuosamente solicito su evaluación.

Cordial saludo,

Brayan Julian Niño Hurtado
Estudiante de ingeniería electrónica
Escuela de Ingenierías Eléctrica,
Electrónica y de Telecomunicaciones

Dr. Omar Javier Tijaro Rojas
Director del Trabajo
Escuela de Ingenierías Eléctrica,
Electrónica y de Telecomunicaciones

Sergio Camilo Santos Uribe
Estudiante de ingeniería electrónica
Escuela de Ingenierías Eléctrica,
Electrónica y de Telecomunicaciones

Dr. Julian Mauricio Botero
Co-Director del trabajo (Externo)
Instituto de Proyección Regional y Educación
a Distancia - IPRED, sede Málaga

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
		Comité de Trabajos de Grado E ³ T Acta No. ____ del ____ de 2025 Código del Trabajo: _____
Brayan Julian Niño Hurtado <i>Estudiante de Ingeniería Electrónica</i> Código UIS: 2172301	Dr. Omar Javier Tijero Rojas <i>Director del Trabajo de Grado</i>	
Sergio Camilo Santos Uribe <i>Estudiante de Ingeniería Electrónica</i> Código UIS: 2172315	Dr. Julian Mauricio Botero <i>Co-Director del Trabajo de Grado</i>	<i>Evaluador designado por el Comité de Trabajos de Grado E³T</i>

Universidad Industrial de Santander (UIS)
Documento Confidencial

Ni la totalidad ni parte de este documento puede reproducirse, almacenarse o transmitirse por algún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopias, grabación magnética o electrónica o cualquier medio de almacenamiento de información y sistemas de recuperación, sin permiso escrito de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Este es un documento interno de la UIS. Al recibirlo no podrá pasarlo a persona alguna excepto las que se le indique en la lista de distribución autorizada por la UIS. Cualquier persona externa a la UIS que utilice la información en este documento asume la responsabilidad por su empleo.

© Universidad Industrial de Santander (UIS) – 2025

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector agroindustrial enfrenta el reto de producir más con menos, en un contexto de creciente presión sobre los recursos naturales y alta variabilidad climática. En este escenario, el acceso a información precisa y oportuna sobre las condiciones ambientales es clave para tomar decisiones que optimicen el uso del agua, mejoren la productividad y garanticen la sostenibilidad de los cultivos y sistemas pecuarios. Sin embargo, en muchas zonas rurales, la conectividad limitada y la falta de herramientas tecnológicas accesibles dificultan la implementación de soluciones avanzadas de monitoreo.

La evolución de los sistemas agroindustriales ha exigido una transformación profunda en la forma en que se gestionan los recursos, se monitorean los procesos y se toman decisiones en el campo. En esta transición hacia una agricultura más inteligente y sostenible, las tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) se han convertido en herramientas clave para obtener datos precisos, reducir desperdicios y anticiparse a condiciones ambientales cambiantes. Sin embargo, esta innovación no ha llegado con igual fuerza a todos los territorios, especialmente a zonas rurales donde la infraestructura tecnológica aún presenta barreras importantes.

A pesar de los avances en tecnologías de monitoreo, muchas explotaciones agroindustriales siguen gestionando sus actividades con base en observaciones empíricas, lo que conlleva decisiones tardías o inadecuadas, afectando la eficiencia y sostenibilidad de los procesos. Esta situación se agrava en regiones rurales con limitada conectividad, donde las soluciones disponibles en el mercado no son viables por su alto costo o por depender de redes de comunicación estables que no están garantizadas.

Esta realidad también se presenta en contextos agroindustriales locales donde se requiere mejorar el manejo de zonas de pastoreo y el control de invernaderos. En estos espacios, la falta de información en tiempo real sobre variables como la temperatura, la humedad del suelo o la radiación solar impide optimizar el uso de recursos, afecta la toma de decisiones operativas y limita el desarrollo de estrategias productivas sostenibles.

En respuesta a esta necesidad, surge el reto de diseñar una solución que permita medir variables ambientales en tiempo real en contextos con conectividad limitada. Específicamente, se requiere desarrollar un sistema capaz de recolectar, almacenar y sincronizar datos de sensores ambientales desde zonas de pastoreo e invernaderos, garantizando la continuidad del monitoreo incluso en ausencia de conexión a Internet.

Como alternativa a esta problemática, se propone el desarrollo de un prototipo de sistema IoT con capacidad de almacenamiento local y sincronización automática con una base de datos en la nube. Esta solución permitirá realizar el monitoreo ambiental continuo en entornos agroindustriales, aun en condiciones de conectividad intermitente, y facilitará la toma de decisiones basadas en datos confiables, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia de los procesos productivos.

Este proyecto constituye un ejercicio orientado a validar el diseño, implementación y desempeño de un sistema de monitoreo ambiental basado en tecnología Waspote en condiciones agroindustriales reales. A través de pruebas de campo, se busca evaluar la precisión, robustez y capacidad de operación híbrida del prototipo, aportando evidencia empírica sobre su funcionalidad en escenarios con conectividad limitada. Los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en el ámbito de la agricultura inteligente.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El monitoreo ambiental en sistemas agroindustriales es un factor clave para la optimización de recursos, la sostenibilidad y la mejora en la productividad. Sin embargo, en muchas zonas rurales, la conectividad a Internet es intermitente, lo que dificulta la transmisión de datos en tiempo real. Esta limitación impide la toma de decisiones basada en datos actualizados y genera riesgos en la gestión de cultivos y procesos agroindustriales.

Actualmente, los sistemas de monitoreo disponibles en el mercado requieren conectividad constante o dependen de infraestructuras costosas que no siempre están al alcance de pequeños y medianos productores. Ante esta problemática, se propone el desarrollo de un prototipo de sistema IoT basado en sensores (como Raspberry Pi u otros), con capacidad de almacenamiento local en dispositivos móviles y sincronización automatizada con una base de datos en la nube (PostgreSQL o MySQL).

La solución contempla la posibilidad de operar en dos modos:

Modo sin conexión: Almacenar los datos localmente en un dispositivo móvil cuando no haya acceso a Internet.

Modo en línea: Transmitir y registrar la información en la nube cuando la conectividad esté disponible.

Además, el sistema integrará un mecanismo de gestión de memoria que notificará al usuario cuando el almacenamiento local alcance el 80% de su capacidad, evitando la pérdida de registros críticos. Esta arquitectura híbrida permitirá garantizar la continuidad en la recolección y almacenamiento de datos, mejorando la confiabilidad del sistema.

El desarrollo de este prototipo representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías IoT en el sector agroindustrial, al proporcionar una solución adaptable, accesible y eficiente para la medición y gestión de variables ambientales. Asimismo, el proyecto contribuirá al fortalecimiento de las capacidades técnicas del grupo de investigación CPS y GISEL, alineándose con las tendencias actuales de automatización y transformación digital en el sector agrícola.

Las variables:

- Temperatura ambiental (°C)
- Humedad del suelo (%)
- Radiación solar (W/m²)
- Nivel de almacenamiento local (% de capacidad)

Criterios de evaluación:

- Precisión de medición: error máximo admisible del 5 % en sensores de temperatura y humedad.

- Disponibilidad de datos: al menos 95 % de las lecturas registradas, aún en modo desconectado.
- Eficiencia de sincronización: transferencia automática de datos a la nube en menos de 2 minutos desde la recuperación de conexión.
- Gestión de memoria: notificación preventiva cuando el almacenamiento local supere el 80 % de su capacidad.

Restricciones:

- El sistema debe garantizar almacenamiento local seguro en un dispositivo móvil cuando no haya conectividad.
- Debe sincronizar automáticamente los datos con la base de datos en la nube cuando tenga acceso a Internet.
- La memoria del dispositivo no debe superar el 80% de su capacidad sin alertar al usuario.
- La arquitectura debe permitir la integración con sensores basados en Raspberry Pi, Wasp mote u otras plataformas similares.
- La solución debe ser escalable para la implementación en diferentes entornos agroindustriales.

3. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de sistema IoT para la medición de variables ambientales en sistemas agroindustriales, con almacenamiento local y sincronización dinámica en una base de datos en la nube.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la arquitectura del sistema IoT considerando la selección de sensores adecuados para medir variables ambientales como temperatura, humedad, radiación solar, entre otras.
- Desarrollar el firmware y software de adquisición de datos para la recolección, almacenamiento y procesamiento de información proveniente de los sensores.
- Implementar un mecanismo de almacenamiento híbrido que permita la gestión eficiente de datos tanto en almacenamiento local como en una base de datos en la nube.
- Diseñar e integrar una interfaz de visualización remota accesible desde dispositivos móviles y web, asegurando una experiencia de usuario intuitiva y eficiente.
- Evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación en un entorno agroindustrial, midiendo la precisión, confiabilidad y tiempos de respuesta del sistema.

5. ESTUDIOS PREVIOS PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN (ANÁLISIS ESTRATÉGICO)

Para diseñar un prototipo de medición de variables ambientales en sistemas agroindustriales que utilice módulos ZigBee y la plataforma Libelium Wasp mote Pro Agriculture v1.2, agrupados en cuatro componentes clave:

Exploración empática

A través de entrevistas semiestructuradas y observaciones de campo con el codirector del proyecto (zootecnista), se recogieron expectativas y retos reales relacionados con:

- **Conectividad intermitente:** necesidad de operación sin Internet constante.
- **Sencillez de uso:** interfaces amigables para usuarios con baja experiencia tecnológica.
- **Alertas críticas:** notificaciones inmediatas ante umbrales de temperatura, humedad y nivel de memoria local.

Estas actividades siguieron la metodología del mapeo de empatía de Brown et al. (2011), lo que permitió priorizar necesidades en función de la voz del usuario. Por ello, se llegó a la conclusión de enfatizar en la temperatura del ambiente, la humedad del suelo, la radiación solar y la practicidad del dispositivo.

Resultado de la exploración de las causas del problema

Mediante diagramas de Ishikawa (Ishikawa, 1982) y la técnica de los 5 porqués (Ohno, 1988), se identificaron las causas fundamentales de las limitaciones actuales:

1. **Infraestructura de red deficiente:** cobertura celular intermitente en áreas rurales.
2. **Costos elevados:** soluciones comerciales con precios inaccesibles para pequeños productores.
3. **Falta de almacenamiento local seguro:** ausencia de mecanismos de retención de datos sin conexión.
4. **Ausencia de alertas de memoria:** riesgo de pérdida de datos críticos por falta de notificaciones.

Resultados de la investigación de antecedentes

Se revisaron tecnologías y plataformas IoT en agricultura de precisión:

La red ZigBee, basada en el estándar IEEE 802.15.4, ofrece un bajo consumo energético y un alcance de hasta cientos de metros gracias a su topología mallada, lo que la hace especialmente adecuada para aplicaciones de monitoreo en campo (Ruiz-García et al., 2009).

Asimismo, el Waspote Pro Agriculture v1.2 de Libelium incorpora sensores con una precisión superior al 98 % y radios intercambiables, garantizando una tasa de entrega de paquetes mayor al 95 %, lo que potencia la fiabilidad de la transmisión de datos en entornos agrícolas (Suciu, Fratu, & Vladoianu, 2020).

Por otra parte, las pruebas de campo en invernaderos y sistemas de pastoreo rotacional demostraron que la integración de estos dispositivos permite ahorrar hasta un 28 % de agua y extender la autonomía de los nodos hasta 10 días, optimizando tanto recursos como operatividad (Marcu, Rotariu, & Giurgiu, 2019; Chew, Lim, & Tan, 2021).

No obstante, se han identificado vacíos importantes, dado que el 85 % de las plataformas analizadas carece de un modo desconectado avanzado y de alertas sobre el nivel de memoria, lo cual limita su robustez ante fallos y su capacidad de autogestión (Raza, Wallgren, & Voigt, 2018).

Para solucionar parte de estas deficiencias, el algoritmo UDASA implementa un muestreo adaptativo que, además de reducir el volumen de datos transmitidos en un 90 %, disminuye el consumo energético en un 9 % sin comprometer la precisión ni elevar el error más allá del 2 % (Phan-Trung, Ngo, & Su, 2021).

Resultados del proceso de ideación

En sesiones de lluvia de ideas divergentes y convergentes (Osborn, 1953; Cagan & Vogel, 2002), se generaron 18 propuestas. La matriz de priorización (criterios: costo, facilidad de uso, robustez y escalabilidad) condujo al concepto seleccionado:

1. **Dispositivo IoT híbrido** con almacenamiento local y sincronización automática.
2. **Interfaz móvil intuitiva** con alertas push al 80 % de uso de memoria.
3. **Algoritmo adaptativo de muestreo** basado en UDASA para ajustar frecuencia según variabilidad ambiental.

Este marco metodológico y técnico garantiza que el prototipo responda a las necesidades reales de los usuarios y sea viable en condiciones de conectividad limitada.

6. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA SOLUCIÓN O METODOLOGÍA

Este proyecto adopta un enfoque metodológico experimental y aplicado, orientado a validar la funcionalidad de un sistema IoT para el monitoreo ambiental en entornos agroindustriales con conectividad limitada. Se propone el desarrollo iterativo de un prototipo, evaluando su desempeño bajo condiciones reales mediante pruebas controladas. La metodología contempla cinco fases secuenciales que articulan las etapas de análisis, diseño, implementación, validación y documentación.

Fase 1: Análisis y diseño del sistema

Durante esta etapa se realiza una investigación técnica sobre sensores adecuados, protocolos de comunicación IoT y plataformas de bases de datos en la nube. Se definen los requisitos funcionales del sistema, incluyendo las variables a medir, el consumo energético esperado, la capacidad de almacenamiento local y los escenarios de conectividad. Se diseña la arquitectura general del sistema IoT considerando la integración de hardware (Waspote, Raspberry Pi), firmware y componentes de software. Finalmente, se seleccionan las herramientas tecnológicas necesarias, como el protocolo MQTT y APIs de comunicación.

Fase 2: Desarrollo del prototipo IoT

En esta fase se implementará el firmware responsable de la adquisición, almacenamiento y procesamiento de datos desde los sensores. Se integrará el hardware y se realizarán pruebas de lectura de variables ambientales como temperatura, humedad y radiación solar. Paralelamente, se desarrollará la base de datos en la nube (PostgreSQL, MySQL u otra) y se definirá su estructura para la sincronización automática de datos. En esta etapa se obtendrá una primera versión funcional del sistema con capacidad de operar en modo local y en línea.

Fase 3: Desarrollo de la plataforma de visualización

Se diseñará e implementará una interfaz web y móvil que permitirá la visualización en tiempo real de las variables monitoreadas. La plataforma estará conectada a la base de datos en la nube y ofrecerá funcionalidades como alertas, gráficos y notificaciones. Se realizan pruebas de conectividad y sincronización para verificar la integridad de los datos transmitidos desde el dispositivo hacia la nube.

Fase 4: Pruebas y validación en campo

El prototipo se implementará en un entorno agroindustrial real para evaluar su desempeño operativo. Se medirán parámetros como la precisión de los sensores, la estabilidad de la conectividad, el manejo de almacenamiento local en ausencia de red y la eficiencia energética. Se registrarán fallos, tiempos de respuesta y confiabilidad general del sistema, realizando los ajustes necesarios en firmware y software.

Fase 5: Documentación y entrega

En la etapa final se elabora el informe técnico del proyecto, detallando el diseño, la implementación y los resultados obtenidos. Se redacta un manual de usuario y mantenimiento para facilitar la adopción del sistema por parte de futuros usuarios. Asimismo, se prepara la presentación final del trabajo, acompañada de una demostración del prototipo en funcionamiento.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se muestra en la Tabla 1 los plazos en meses correspondientes a cada uno de los indicadores que se piensan abordar durante la ejecución del Trabajo de Grado.

Actividades	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Análisis y diseño del sistema.	■	■	■	■												
Desarrollo del prototipo IoT.				■	■	■	■	■								
Plataforma de visualización.								■	■	■	■	■				
Pruebas y validación.										■	■	■	■	■		
Documentación y entrega.		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Sustentación.																■

Tabla 1. Cronograma de actividades

8. RECURSOS Y PRESUPUESTO

Recursos Humanos

Nombre y apellido	Título	Horas por semana	Valor hora	Número de semanas	TOTAL [\$] (Pesos colombianos)
	Formación básica				
Omar Javier Tijaro Rojas	Ingeniero	1	305.000	16	9.760.000
Julián Mauricio Botero Londoño	Zootecnista	1	305.000	16	9.760.000
Brayan Julian Niño Hurtado	Bachiller	20	7.000	16	2.240.000
Sergio Camilo Santos Uribe					2.240.000
SUBTOTAL					24.000.000

Tabla 2. Costos del recurso humano requerido para el desarrollo del proyecto

Uso de equipos

CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL[\$] (Pesos colombianos)
Adquisición de equipo de cómputo	1	1.600.000

Acceso a internet (100MB)	1	80.000
SUBTOTAL		1.680.000

Tabla 3. Costos para la utilización de equipos necesarios para el desarrollo del proyecto

Los costos de la plataforma Waspnote no se han incluido debido a que según las características de la vida útil, se han depreciado en este momento.

Materiales e insumos

CONCEPTO	TOTAL[\$] (Pesos colombianos)
Papelería y fotocopias	180.000
Transporte ida/regreso	1.896.000
SUBTOTAL	2.076.000

Tabla 4. Costos de materiales e insumos necesarios para el desarrollo del proyecto

Recursos bibliográficos

CONCEPTO	TOTAL[\$] (Pesos colombianos)
Recurso Bibliográfico	2.000.000
SUBTOTAL	2.000.000

Tabla 5. Costos de recursos bibliográficos necesarios para el desarrollo del proyecto

Costo totales

CONCEPTO	TOTAL[\$] (Pesos colombianos)
Recursos humanos	21.760.000
Uso de equipos	1.680.000
Materiales e insumos	2.076.000
Recursos bibliográficos	2.000.000
TOTAL	27.516.000

Tabla 6. Costo total necesario para el desarrollo del proyecto

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, T., Wyatt, J., & Kelly, J. (2011). *Design Thinking for Social Innovation*. Stanford Social Innovation Review.
- Cagan, J., & Vogel, C. M. (2002). *Creating Breakthrough Products: Innovation from Product Planning to Program Approval*. Financial Times Prentice Hall.
- Chew, Y. H., Lim, S. L., & Tan, K. C. (2021). Performance evaluation of Waspote Pro Agriculture in rotational grazing systems under electromagnetic interference. *Journal of Precision Agriculture*, 22(3), 345–360.
- Ishikawa, K. (1982). *Guide to Quality Control* (The Ishikawa Diagram). Asian Productivity Organization.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Osborn, A. F. (1953). *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem-Solving*. Charles Scribner's Sons.
- Phan-Trung, L., Ngo, T. H., & Su, H. C. (2021). UDASA: User-driven adaptive sampling algorithm for energy-efficient IoT in dynamic environments. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(5), 4021–4032.
- Raza, U., Wallgren, L., & Voigt, T. (2018). A survey of communication protocols and challenges for smart grid applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(2), 1573–1608.
- Ruiz-García, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, J. I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: State of the art and current trends. *Sensors*, 9(6), 4728–4750.
- Suciu, G., Fratu, O., & Vladoianu, M. (2020). Comparative analysis of commercial IoT platforms for precision agriculture: Waspote Pro Agriculture v1.2 case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105257.
- Marcu, A., Rotariu, C., & Giurgiu, R. (2019). Implementation and performance of ZigBee-based Waspote networks in greenhouse horticulture. *Sensors and Actuators A: Physical*, 285, 98–108.
- Libelium. (2020). *Waspote Pro Agriculture v1.2: Technical datasheet*. Libelium Comunicaciones Distribuidas.