

**Implementación de modelos de Business Intelligence para la gestión de recursos hídricos en  
la agricultura**

Elkin Dadey Alfonso Cortés

Asesor

Edith Johana Morales Liberato

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI  
Especialización en Ciencia de Datos y Analítica  
2025

## Resumen

La creciente presión sobre los recursos hídricos debido al cambio climático y la expansión de la actividad agrícola ha hecho evidente la necesidad de optimizar el uso del agua en los sistemas de producción. La agricultura, responsable de aproximadamente el 76 % del consumo global de agua dulce, enfrenta el desafío de mejorar su eficiencia sin comprometer la productividad ni la sostenibilidad. En este contexto, el uso de modelos de Business Intelligence (BI) ofrece una vía prometedora para transformar datos agroclimáticos y operativos en decisiones estratégicas.

Esta monografía explora cómo el BI puede apoyar la gestión hídrica en la agricultura, mediante la revisión de estudios y experiencias que integran sensores IoT, plataformas en la nube, dashboards interactivos y análisis predictivo. Se presentan casos donde herramientas como Power BI, junto con plataformas comerciales y desarrollos basados en software y hardware libre, permiten monitorear, anticipar y ajustar procesos clave como el riego, la fertilización y la planificación agronómica.

Los resultados evidencian que la aplicación de BI no solo mejora el aprovechamiento del recurso hídrico y reduce el desperdicio, sino que también fortalece la toma de decisiones en distintos niveles de la producción, mejora la rentabilidad operativa y promueve una agricultura más resiliente y tecnificada.

**Palabras clave:** Business intelligence, Precisión, Hídrico, Analítica, Machine Learning.

## Abstract

The growing pressure on water resources due to climate change and the expansion of agricultural activity has highlighted the need to optimize water use in production systems. Agriculture, which accounts for approximately 76% of global freshwater consumption, faces the challenge of improving efficiency without compromising productivity or sustainability. In this context, the use of Business Intelligence (BI) models offers a promising approach to transforming agroclimatic and operational data into strategic decisions.

This monograph explores how BI can support water management in agriculture by reviewing studies and experiences that integrate IoT sensors, cloud platforms, interactive dashboards, and predictive analytics. It presents cases where tools such as Power BI, along with commercial platforms and developments based on open-source hardware and software, enable monitoring, anticipation, and adjustment of key processes such as irrigation, fertilization, and agronomic planning.

The findings show that the application of BI not only improves water use efficiency and reduces waste but also strengthens decision-making at various levels of production, enhances operational profitability, and promotes a more resilient and technology-driven agriculture.

**Keywords:** Business Intelligence, Precision, Water Resources, Analytics, Machine Learning.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Introducción .....   | 7  |
| Descripción del Problema .....   | 9  |
| Planteamiento del Problema .....   | 9  |
| Justificación .....  | 11 |
| Objetivos .....  | 13 |
| Objetivo General .....   | 13 |
| Objetivos Específicos.....   | 13 |
| Marco de Referencia .....  | 14 |
| Marco Conceptual .....   | 14 |
| Importancia del Agua y la Gestión del Recurso Hídrico .....                              | 14 |
| Agricultura de Precisión y Sensores IoT .....  | 15 |
| Modelos Predictivos y Machine Learning en la Gestión del Agua .....                      | 17 |
| Business Intelligence y Power BI en la Agricultura .....                                 | 18 |
| Indicadores de Eficiencia en la Gestión del Agua .....                                   | 27 |
| Beneficios y Desafíos en la Implementación de BI para la Gestión Hídrica.....            | 30 |
| Accesibilidad Económica de las Soluciones IoT para Pequeños Productores.....             | 33 |
| Aspectos Legales, Éticos y de Accesibilidad de los Datos en la Gestión Hídrica Agrícola. | 34 |
| Perspectivas Futuras .....   | 36 |
| Conclusiones .....   | 38 |
| Recomendaciones .....  | 40 |
| Referencias Bibliográficas .....   | 41 |

**Lista de Tablas**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Aplicaciones de Power BI en Gestión de Variables Hídricas</i> ..... | 26 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Indicadores Clave para Evaluar la Eficiencia Hídrica</i> .....      | 29 |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Imagen Red IoT en el Distrito de Riego (RUT)</i> .....                        | 16 |
| <b>Figura 2</b> <i>Análisis de Intenciones de Siembra Usando Power BI</i> .....                  | 21 |
| <b>Figura 3</b> <i>Arquitectura del Sistema Propuesto Para la Agricultura de Precisión</i> ..... | 22 |
| <b>Figura 4</b> <i>Precipitación, Rendimiento y Área Cosechada por Municipio</i> .....           | 24 |
| <b>Figura 6</b> <i>Arquitectura de Sistema de Riego Conectado a Power BI</i> .....               | 25 |

## Introducción

La agricultura es responsable de aproximadamente el 76 % del consumo mundial de agua dulce, siendo el sector con mayor demanda hídrica a nivel global (Aguilar et al., 2023). Esta dependencia, en un contexto marcado por el cambio climático y la presión sobre los recursos naturales, plantea desafíos urgentes para garantizar la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y la productividad agrícola.

A pesar del avance en tecnologías digitales, gran parte de las explotaciones agrícolas sigue utilizando métodos tradicionales de riego, basados más en la experiencia que en datos concretos (Molin et al., 2020). Esta brecha limita la eficiencia en el uso del agua y la capacidad de respuesta frente a eventos climáticos adversos.

La transformación digital en la agricultura ha comenzado a tomar fuerza con la incorporación de sensores IoT, plataformas de almacenamiento en la nube y algoritmos de machine learning que permiten recopilar y analizar datos agroclimáticos en tiempo real (Chanchí et al., 2022). En este marco, los modelos de Business Intelligence (BI) destacan como herramientas estratégicas para integrar estos datos y convertirlos en conocimiento útil.

Soluciones como Power BI permiten construir dashboards personalizados y dinámicos a partir de múltiples fuentes de datos (Microsoft, 2024), apoyando a productores y técnicos en el seguimiento continuo de variables críticas como la humedad del suelo o la precipitación. Esta capacidad de integración y visualización resulta clave para ajustar los sistemas de riego de forma precisa, en función de condiciones locales y en tiempo real.

Asimismo, estudios recientes han demostrado que la adopción de herramientas BI no solo mejora la eficiencia hídrica, sino que también promueve prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes, especialmente en contextos donde se requiere automatización y monitoreo constante

(Dias et al., 2024). Incluso en escenarios de bajos recursos, se han desarrollado soluciones basadas en hardware libre y plataformas de código abierto que demuestran la viabilidad técnica y económica de estos sistemas (Arroyo, 2020).



## Descripción del Problema

### Planteamiento del Problema

La agricultura es responsable de cerca del 76 % del consumo de agua dulce a nivel mundial. Sin embargo, gran parte de este recurso se desperdicia debido a prácticas de riego tradicionales sin soporte en datos (Aguilar et al., 2023). La calidad y disponibilidad del agua no solo determinan la hidratación del cultivo, sino también influyen en el transporte de nutrientes y la tasa de transpiración, lo que impacta directamente en el rendimiento y la salud de las plantas (Corporación colombiana de investigación agropecuaria, 2024a). Esta situación hace evidente la necesidad de incorporar tecnologías que permitan monitorear y analizar variables agroclimáticas en tiempo real para tomar decisiones más eficientes.

Pese a la relevancia del recurso hídrico, la transformación digital en el sector agrícola ha sido más lenta en comparación con otros sectores productivos (Molin et al., 2020). Muchas decisiones en el campo siguen basadas en la experiencia empírica, sin aprovechar el potencial de los datos disponibles. Sin embargo, la integración de sensores, plataformas en la nube e inteligencia artificial ha demostrado su capacidad para optimizar el uso del agua, reducir pérdidas y mejorar la sostenibilidad agrícola, dentro del marco de la Agricultura 4.0 (Molin et al., 2020).

En este contexto, los modelos de Business Intelligence (BI) surgen como una alternativa innovadora para revertir estas tendencias. Estas herramientas permiten integrar y analizar variables agroambientales clave (como humedad del suelo, condiciones climáticas, calidad del agua y estado del cultivo) para emitir recomendaciones de riego más precisas (Chanchí et al., 2022). El uso de plataformas basadas en AIoT facilita, además, la automatización de decisiones, habilitando alertas y recomendaciones dinámicas según las condiciones del terreno y del clima, y

reduciendo la intervención humana (Karn et al., 2024). Los beneficios ya son evidentes: la incorporación de sensores y sistemas de preaviso ha permitido reducir pérdidas por enfermedades de ~9.46 % a ~1.45 %, optimizando recursos y mejorando la resiliencia productiva (Quilambaqui et al., 2024).

No obstante, persisten desafíos importantes para una adopción generalizada de estas tecnologías. La alta variabilidad de los datos agrícolas (originada en distintos tipos de sensores, parcelas y condiciones locales) dificulta su estandarización e integración para análisis efectivos (Swarnkar et al., 2023). Además, se mantiene una brecha significativa entre grandes productores y pequeños agricultores: los primeros cuentan con recursos para implementar soluciones BI, mientras que los segundos enfrentan barreras económicas, técnicas y de capacitación (Cortez et al., 2024). Esta desigualdad tecnológica limita el aprovechamiento del potencial de BI, a pesar de su capacidad demostrada para mejorar la eficiencia hídrica y la sostenibilidad de la producción (Aguilar et al., 2023).

## Justificación

La gestión del agua en la agricultura enfrenta una presión creciente debido a la escasez del recurso, el cambio climático y el incremento sostenido en la demanda de alimentos. Estos desafíos exigen soluciones innovadoras que permitan optimizar el uso del agua sin comprometer la sostenibilidad ambiental ni la productividad agrícola. En este escenario, la implementación de modelos de Business Intelligence (BI) se plantea como una herramienta clave para mejorar la eficiencia, reducir costos operativos y tomar decisiones estratégicas basadas en evidencia.

Gracias al uso de sensores IoT y plataformas de monitoreo climático, es posible recopilar información en tiempo real sobre variables críticas como la humedad del suelo, temperatura, radiación solar o precipitaciones (Aguilar et al., 2023). Esta información, al ser procesada en plataformas BI, permite visualizar tendencias y emitir alertas oportunas. Cortez et al. (2024) destacan que mediante imágenes satelitales y análisis multitemporal es posible evaluar condiciones de humedad y cobertura vegetal para ajustar dinámicamente los planes de riego. Esta integración tecnológica ha demostrado no solo mejorar la eficiencia hídrica, sino también reducir pérdidas y aumentar la productividad agrícola (Karn et al., 2024).

Desde el ámbito científico y tecnológico, esta tendencia se alinea con los principios de la Agricultura 4.0, donde la automatización, la analítica avanzada y la inteligencia artificial convergen para transformar los procesos productivos (Tovar-Quiroz, 2023). Herramientas como Power BI permiten integrar múltiples fuentes de datos (desde sensores hasta estaciones meteorológicas) y generar dashboards personalizados que facilitan la toma de decisiones con base en visualizaciones interactivas (Microsoft, 2024).

En términos económicos, la implementación de sistemas de riego inteligentes y automatizados ha demostrado un impacto positivo en la rentabilidad de los productores. Kumar

et al. (2023) reportan que la combinación de sensores de humedad, módulos GSM y algoritmos de machine learning permite activar el riego de forma automática y emitir alertas en tiempo real, reduciendo significativamente el consumo de agua y los costos energéticos. Por su parte, Karn et al. (2024) evidencian que esta integración tecnológica puede disminuir en hasta un 35 % el uso de agua de riego, optimizando al mismo tiempo los ciclos de cultivo y reduciendo el desperdicio de recursos.

Desde una perspectiva social y ambiental, el uso racional del agua repercute directamente en la seguridad alimentaria y en la estabilidad económica de comunidades rurales. Su adecuada gestión permite garantizar la producción de alimentos sin agotar los recursos hídricos, y la incorporación de tecnologías inteligentes fortalece la resiliencia de los agricultores ante eventos climáticos adversos (Quilambaqui et al., 2024). Además, el agua juega un rol esencial en la fotosíntesis y el transporte de nutrientes, lo que subraya su importancia en la salud y rendimiento de los cultivos (Corporación colombiana de investigación agropecuaria, 2024a).

Por todo lo anterior, el uso de Business Intelligence en la gestión hídrica no solo representa una alternativa viable, sino una necesidad estratégica para transitar hacia una agricultura más sostenible, productiva y tecnológicamente integrada.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar la implementación de modelos de Business Intelligence en la optimización del uso del agua en la agricultura.

### **Objetivos Específicos**

Identificar las principales herramientas de BI utilizadas en la agricultura para la gestión hídrica.

Comparar estudios de caso sobre la aplicación de BI en la optimización del riego.

Evaluar los beneficios y desafíos de la implementación de BI en la agricultura de precisión.

## Marco de Referencia

### Marco Conceptual

#### *Importancia del Agua y la Gestión del Recurso Hídrico*

El agua es un insumo fundamental en la agricultura, no solo por su papel en la hidratación de las plantas, sino por su participación activa en procesos fisiológicos esenciales como la fotosíntesis, el transporte de nutrientes y la regulación térmica. Según la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2024a), el agua actúa como medio de transporte para minerales y nutrientes disueltos en el suelo, que son absorbidos por las raíces y movilizados a través del xilema hacia los tejidos vegetales, facilitando su metabolismo y crecimiento.

Además de su función fisiológica, el manejo eficiente del agua es crucial para garantizar la sostenibilidad de la producción agrícola. Una gestión adecuada debe considerar factores edáficos, climáticos y biológicos, especialmente en contextos donde se combinan prácticas de riego y fertilización, como es el caso del fertirriego (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2024a).

En este contexto, la gestión inteligente del agua surge como una respuesta estratégica para enfrentar los desafíos del cambio climático, la escasez hídrica y la necesidad de una producción agrícola más eficiente. Una administración precisa del recurso hídrico permite suministrar a cada planta la cantidad exacta de agua que requiere, evitando el desperdicio, mejorando el rendimiento y reduciendo impactos ambientales (Tovar-Quiroz, 2023).

La agricultura moderna (enmarcada en los conceptos de Agricultura de Precisión y Agricultura 4.0) busca justamente integrar tecnologías como sensores, plataformas digitales y algoritmos predictivos para optimizar la toma de decisiones relacionadas con el uso del agua. Estas tecnologías no solo permiten ajustar el riego en función de condiciones específicas del

suelo y del clima, sino también proyectar necesidades futuras con base en datos históricos y en tiempo real (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2024b).

En este nuevo paradigma, el agua debe dejar de ser gestionada como un insumo abundante y ser tratada como un recurso estratégico, cuyo uso racional está directamente vinculado con la sostenibilidad alimentaria, la productividad agrícola y la preservación del medio ambiente.

### ***Agricultura de Precisión y Sensores IoT***

La Agricultura de Precisión ha transformado la manera en que los agricultores gestionan sus cultivos, al incorporar tecnologías avanzadas que permiten tomar decisiones con base en datos específicos del entorno. En este contexto, el Internet de las Cosas (IoT) juega un papel fundamental al conectar sensores en campo con plataformas digitales que procesan y visualizan información en tiempo real.

Según la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2024b), el uso de sensores que monitorean variables como humedad del suelo, radiación solar y temperatura ha permitido que los agricultores reciban datos actualizados sobre el estado hídrico del cultivo, lo que facilita una toma de decisiones más precisa y oportuna.

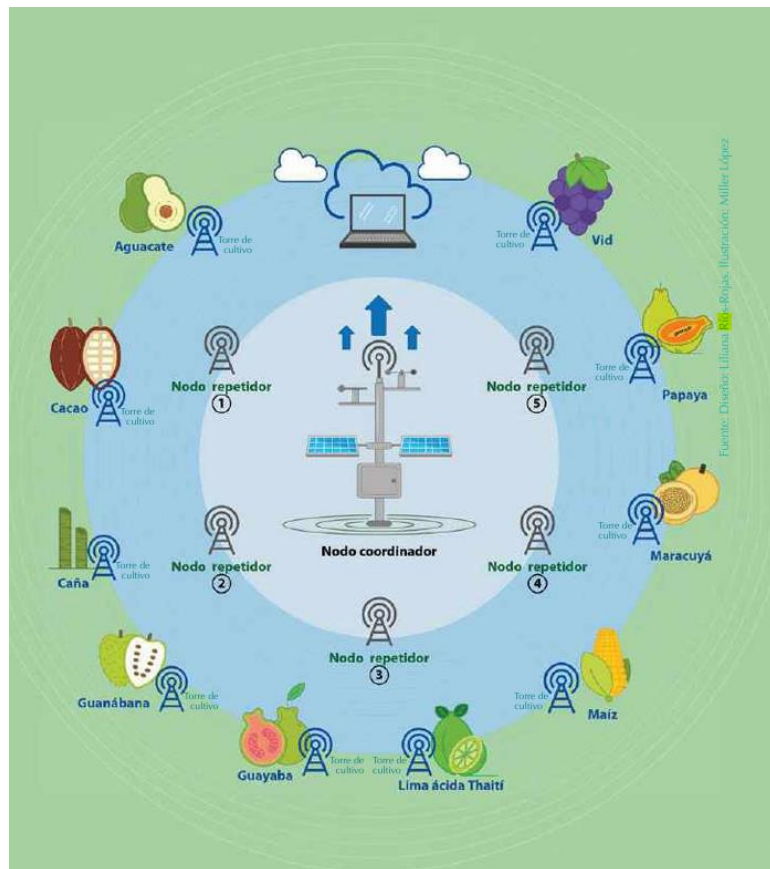
Aguilar et al. (2023) destacan que estos sensores IoT no solo permiten un monitoreo continuo, sino que también optimizan el riego al detectar cambios ambientales que afectan directamente la necesidad hídrica del cultivo. De manera complementaria, Chanchí et al. (2022) señalan que la integración de estos datos en modelos de Business Intelligence (BI) permite generar alertas automáticas, lo que mejora la planificación y evita desperdicios.

Un ejemplo concreto de esta integración tecnológica es el caso del Distrito de Riego (RUT), donde se implementó una red IoT compuesta por sensores, gateways y plataformas en la

nube. Esta red permitió ajustar los sistemas de riego de manera específica para cada lote, reduciendo el uso innecesario de agua, aumentando la productividad y generando alertas para prevenir eventos adversos (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2024b).

### Figura 1

*Imagen Red IoT en el Distrito de Riego (RUT)*



*Nota.* Representación de una red IoT. Tomada de Integración del sistema en red IoT: estructura del sistema IoT, de Corporación colombiana de investigación agropecuaria, (2024b).

La aplicación de sensores remotos también ha sido abordada por Cortez et al. (2024), quienes analizaron su uso en combinación con imágenes satelitales y datos climáticos para mejorar la eficiencia del riego en cultivos de maíz. Además, Tovar-Quiroz (2023) recopila



múltiples estudios que demuestran cómo los sensores IoT han permitido desarrollar modelos informatizados para planificar, ejecutar y controlar los ciclos de riego de forma óptima. Incluso, se han validado sistemas avanzados de riego subterráneo automatizado con resultados prometedores en términos de ahorro hídrico y eficiencia operativa.

En conjunto, estos desarrollos confirman que la combinación de sensores con herramientas de BI representa una solución robusta para enfrentar los desafíos de la agricultura moderna, facilitando una gestión más precisa, eficiente y sostenible del recurso hídrico.

### ***Modelos Predictivos y Machine Learning en la Gestión del Agua***

El uso de modelos predictivos basados en inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta fundamental para la optimización del recurso hídrico en la agricultura. Estos modelos permiten anticipar necesidades de riego, identificar patrones de consumo y mejorar la eficiencia operativa a partir del análisis de datos históricos y en tiempo real.

Kumar et al. (2023) proponen un sistema IoT que automatiza el monitoreo de la humedad del suelo y activa el riego según umbrales predefinidos. Este sistema se complementa con plataformas en la nube que integran algoritmos de machine learning para analizar tendencias históricas y optimizar la toma de decisiones. Este tipo de automatización inteligente representa un avance hacia una agricultura más autónoma y sostenible.

De manera complementaria, Swarnkar et al. (2023) destacan que el uso de modelos de IA permite predecir la salud de los cultivos mediante el análisis de variables como el color de las hojas y el índice de vegetación. Estas predicciones permiten ajustar las estrategias de riego, nutrición y control de plagas con mayor precisión, evitando tanto la sobreirrigación como el estrés hídrico.

Por su parte, Ruiz et al. (2020) aplicaron modelos supervisados de aprendizaje automático, específicamente árboles de decisión, para evaluar el impacto de variables ambientales como la temperatura, humedad y precipitación en el comportamiento de los cultivos de café. Aunque su estudio no se enfoca exclusivamente en la gestión del agua, demuestra cómo el análisis predictivo basado en datos puede anticipar escenarios adversos y mejorar decisiones agronómicas clave, incluyendo el manejo del riego.

Sin embargo, como advierten Ferraz et al. (2019), la efectividad de estos modelos depende en gran medida de la calidad y representatividad de los datos recolectados. En su estudio sobre la variabilidad espacial del pH del suelo, compararon dos metodologías de muestreo: una basada en cuadrículas tradicionales y otra mediante sensores dinámicos “on-the-go”. Los resultados mostraron que los sensores generaban mapas con mayor sensibilidad espacial y menor error de predicción, lo cual es esencial para definir zonas de manejo diferenciado y ajustar variables como el riego o la fertilización.

A pesar de estos avances, persisten desafíos importantes, especialmente para los pequeños productores. La necesidad de una adecuada distribución de muestras, el acceso a sensores de calidad y la infraestructura tecnológica para el análisis de datos representan barreras que deben ser abordadas para lograr una adopción más equitativa de estas tecnologías en la agricultura.

### ***Business Intelligence y Power BI en la Agricultura***

Como complemento a los modelos predictivos y tecnologías emergentes en agricultura de precisión, el uso de herramientas de Business Intelligence (BI) ha cobrado una creciente relevancia en los últimos años. En particular, frente al reto de optimizar la gestión de recursos naturales como el agua, estas herramientas permiten la recopilación, análisis y visualización de

datos en tiempo real, facilitando una toma de decisiones más eficiente y basada en evidencia. Según Molin et al. (2020), la integración de plataformas digitales, sensores e inteligencia artificial en los sistemas agrícolas contribuye significativamente a mejorar el uso eficiente del agua, reducir desperdicios y optimizar la producción.

Los modelos de BI son fundamentales para convertir grandes volúmenes de datos complejos en conocimiento útil. En el ámbito agrícola, esto permite analizar variables como temperatura, humedad del suelo, consumo hídrico, datos meteorológicos y rendimiento de cultivos, mediante tableros interactivos, reportes dinámicos y herramientas de análisis predictivo. Gracias a esto, los productores pueden anticiparse a escenarios climáticos adversos, responder a alertas por consumo excesivo de agua y ajustar estrategias de riego y fertilización con mayor precisión.

Un ejemplo práctico de esta integración se observa en el sistema desarrollado por la Corporación colombiana de investigación agropecuaria, donde los productores consultan diariamente una plataforma digital para comparar los niveles de humedad del suelo frente a parámetros óptimos establecidos. Esta consulta frecuente permite habilitar o suspender el riego en función de las condiciones reales, disminuyendo la intervención manual y mejorando la eficiencia del proceso (Corporación colombiana de investigación agropecuaria, 2024b).

En este contexto, Power BI se posiciona como una de las herramientas más utilizadas en el ecosistema de BI debido a su capacidad para integrar múltiples fuentes de datos (como sensores IoT, servicios en la nube, bases de datos meteorológicas o registros agronómicos) en una interfaz gráfica intuitiva que permite generar dashboards personalizados, visualizaciones interactivas y reportes automatizados (Microsoft, 2024). Esta funcionalidad es especialmente relevante para la agricultura de precisión, donde el monitoreo hídrico, la predicción de

necesidades de riego y la detección temprana de anomalías resultan claves para mantener la productividad y sostenibilidad del cultivo.

Entre sus componentes principales destacan:

- **Power BI Desktop:** permite crear informes y modelos de datos desde entornos locales.
- **Power BI Service:** plataforma en la nube para publicar y compartir visualizaciones de forma colaborativa.
- **Aplicaciones móviles:** permiten el acceso remoto a datos y reportes desde cualquier dispositivo móvil.
- **Streaming de datos en tiempo real:** ideal para sistemas de monitoreo continuo, ya que permite la actualización automática de paneles con datos entrantes (Microsoft, 2025).

Una de las funcionalidades más potentes de Power BI es su integración con Azure IoT Hub, lo que facilita la conexión directa de sensores agrícolas (como dispositivos de temperatura o humedad) con el sistema de análisis y visualización. A través de Azure Stream Analytics, los datos transmitidos por estos sensores pueden visualizarse en tiempo real en Power BI, generando paneles que muestran condiciones clave del entorno agrícola y apoyan decisiones más oportunas (Microsoft, 2023).

El uso de Power BI no se limita al sector agrícola. Su adopción se ha expandido a sectores como salud, educación, logística y gobierno, donde ha contribuido a mejorar la eficiencia operativa a través del análisis visual de datos y la toma de decisiones basadas en evidencia (Microsoft, 2024).

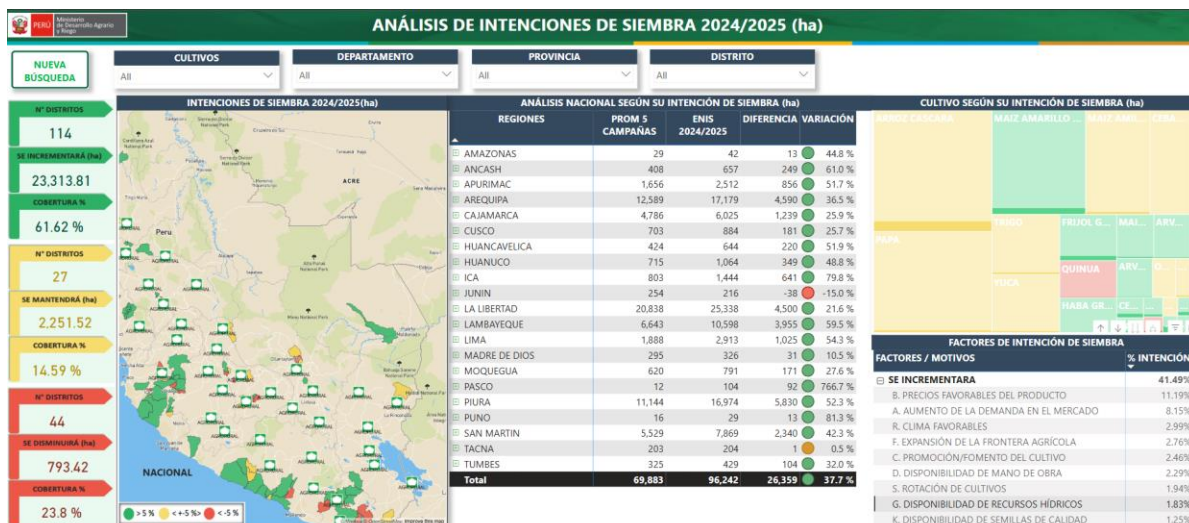
Un ejemplo concreto de su aplicación en agricultura es el Análisis de Intenciones de Siembra 2024/2025, desarrollado por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI)

del Perú. Esta plataforma, implementada completamente en Power BI, permite visualizar dinámicamente indicadores agrícolas a nivel nacional, regional y distrital. Entre las variables monitoreadas se encuentran la cobertura de cultivos, la expansión de superficie irrigada y la disponibilidad de recursos hídricos, factores fundamentales para la planificación estratégica de la siembra (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2024).

El dashboard incluye filtros por cultivo, departamento y distrito, así como mapas interactivos, gráficos de variación de siembra, factores de intención y porcentajes de cobertura hídrica (ver Figura 2). Esta herramienta no solo apoya a los responsables de políticas públicas y técnicos agrícolas, sino que también fortalece la toma de decisiones en campo, al alinear las estrategias de siembra con la disponibilidad real de agua y las condiciones climáticas locales.

## Figura 2

### *Análisis de Intenciones de Siembra Usando Power BI*

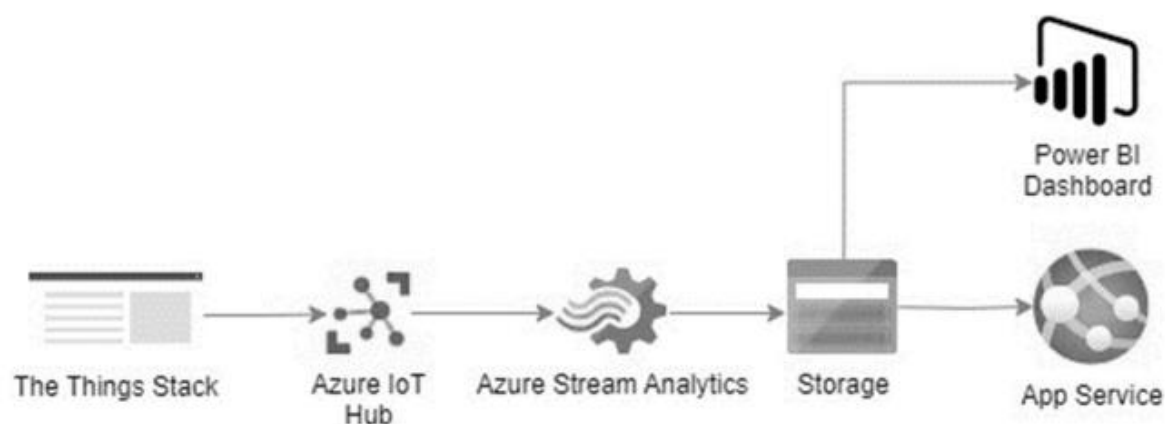


*Nota.* Captura del tablero "Análisis de Intenciones de Siembra 2024/2025" desarrollado en Power BI por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego de Perú (2024).

Un estudio desarrollado por Dias et al. (2024) propone un sistema IoT autónomo y de bajo costo para la detección de macronutrientes del suelo (específicamente potasio) mediante sensores electroquímicos conectados a un potenciostato. La información es transmitida mediante LoRa a través de la plataforma The Things Stack y procesada en la nube mediante Azure IoT Hub y Azure Stream Analytics. Los datos resultantes se almacenan y visualizan mediante Power BI, permitiendo generar dashboards interactivos con actualizaciones en tiempo real. Esta arquitectura facilita la toma de decisiones precisas sobre fertilización y riego, y demuestra la viabilidad técnica y económica de integrar modelos de BI incluso en pequeñas fincas agrícolas, al combinar sensores, analítica en la nube y visualización interactiva.

### Figura 3

#### *Arquitectura del Sistema Propuesto Para la Agricultura de Precisión*



*Nota.* Flujo de datos desde sensores hasta visualización en Power BI, basado en la arquitectura descrita por Dias et al. (2024), usando The Things Stack, Azure IoT Hub, Stream Analytics y almacenamiento en la nube.

Más allá del monitoreo directo en campo, las capacidades de Power BI se han extendido a aplicaciones estratégicas a mayor escala dentro del sector agrícola. Un ejemplo de ello es el

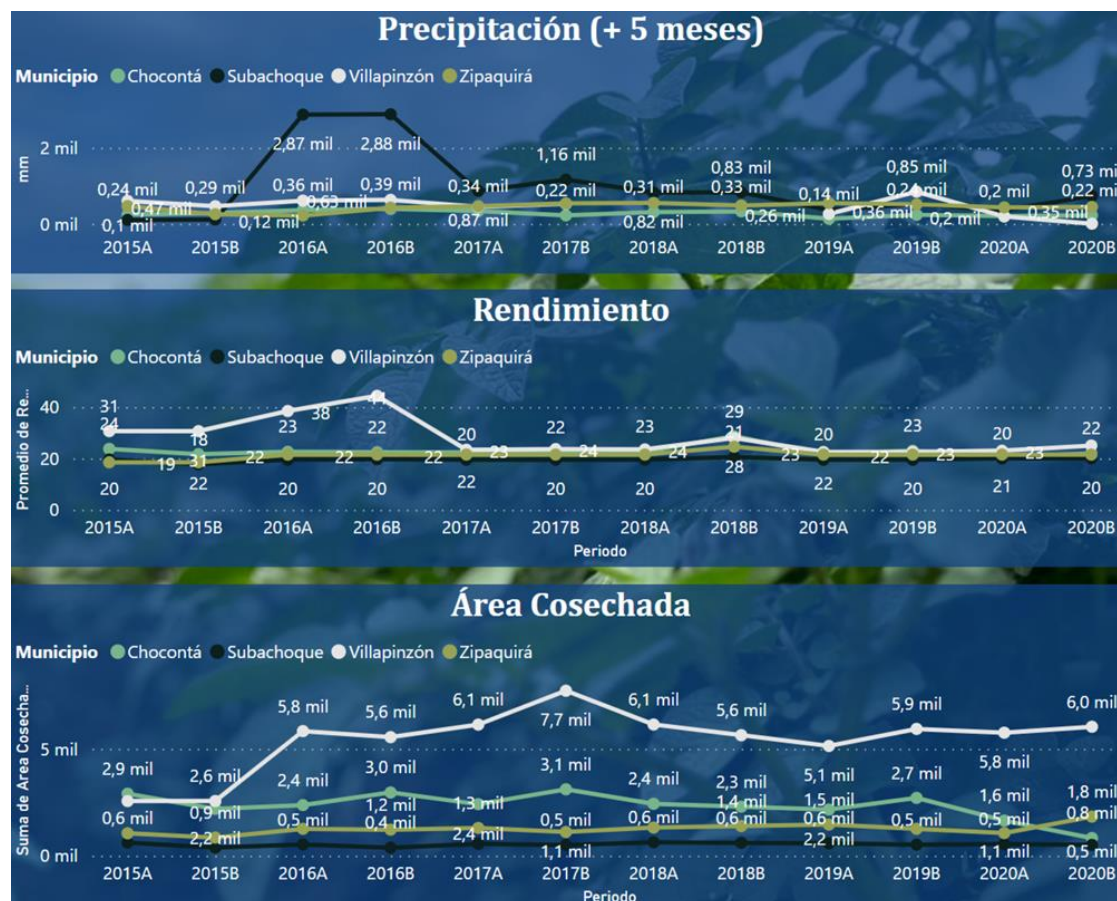
dashboard desarrollado por Sanabia-Lizarraga et al. (2024), enfocado en la visualización y análisis del comercio exterior agrícola de México. Este sistema integra múltiples fuentes oficiales, como BANXICO, INEGI y datos geoespaciales, mediante técnicas de limpieza y modelado de datos utilizando DAX en Power BI. Entre sus principales visualizaciones se encuentran mapas interactivos, gráficos de participación por producto, evolución histórica de la balanza comercial agrícola y análisis por medios de transporte. El objetivo fue facilitar la toma de decisiones estratégicas en sectores agrícolas exportadores mediante información visual clara, intuitiva y actualizada.

Este caso demuestra el potencial de las herramientas de Business Intelligence no solo para el monitoreo interno de cultivos y recursos hídricos, sino también para el análisis estratégico de cadenas de valor y mercados agrícolas. La adaptabilidad de Power BI a distintos dominios productivos refuerza su utilidad como plataforma transversal en la gestión de datos agrícolas, tanto en el nivel técnico como gerencial (Sanabia-Lizarraga et al., 2024).

Este enfoque también fue implementado en el estudio de Acero (2024), que desarrolló una solución analítica en Power BI para los municipios de Subachoque, Zipaquirá, Chocontá y Villapinzón, principales zonas productoras de papa en Cundinamarca. A partir del análisis de datos semestrales entre 2015 y 2020, se construyeron dashboards interactivos que permitieron visualizar la evolución de variables clave como la precipitación, el rendimiento y el área cosechada, facilitando la identificación de patrones y su relación con la productividad agrícola.

**Figura 4**

*Precipitación, Rendimiento y Área Cosechada por Municipio.*



*Nota.* Visualización de tendencias cruzadas entre condiciones climáticas y desempeño agrícola mediante tableros Power BI. Desarrollado por Acero (2024).

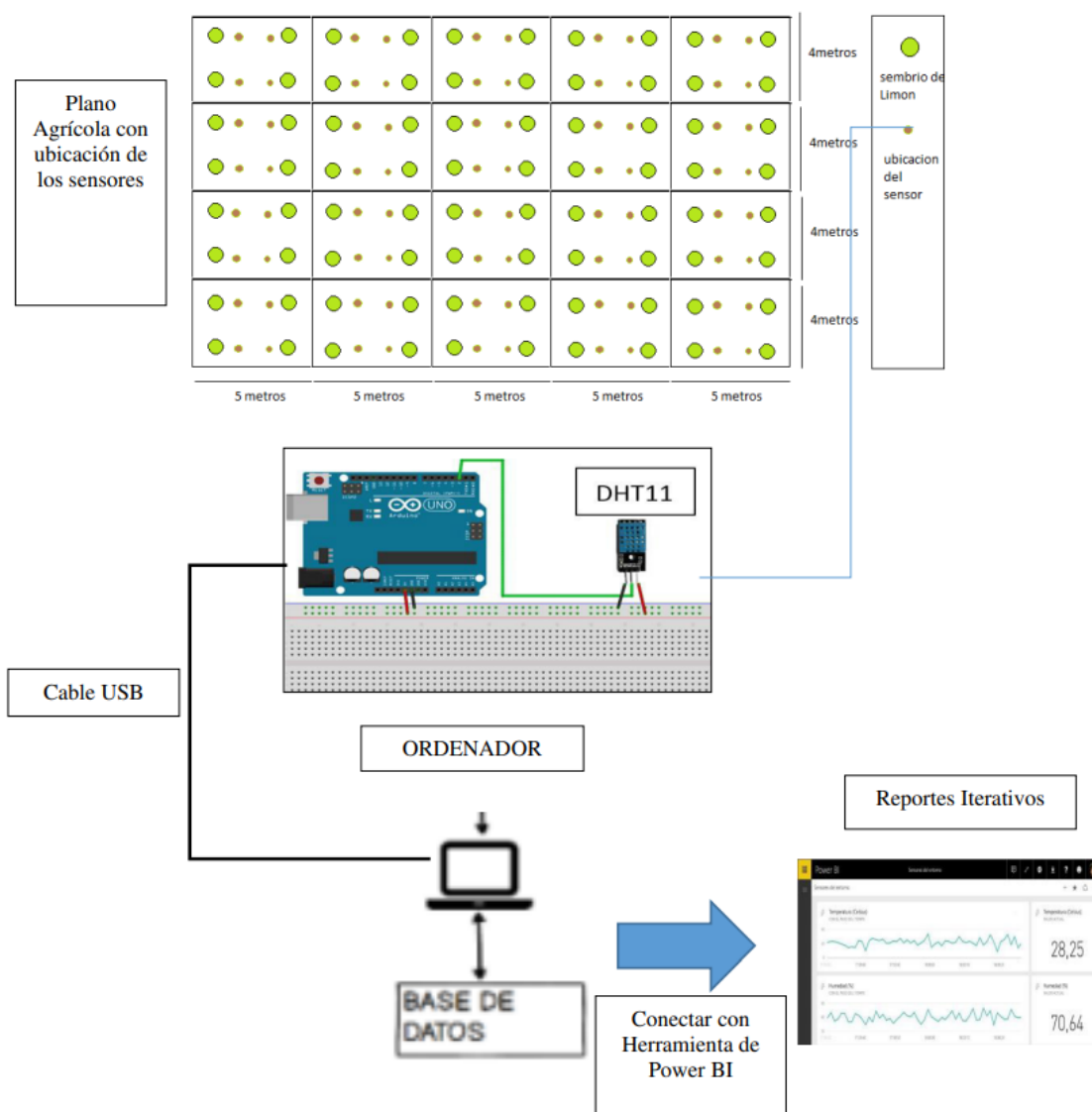
Un ejemplo aplicado de visualización con Power BI en sistemas de riego fue desarrollado por Arroyo (2020), quien diseñó un sistema de riego por goteo automatizado para el cultivo de limón en el Valle de Chira, Perú. En su propuesta, se integraron sensores de temperatura y humedad conectados a una placa Arduino, con almacenamiento de datos en MySQL. Posteriormente, los datos fueron analizados y visualizados en Power BI, mediante dashboards interactivos que permitieron evaluar condiciones ambientales y tomar decisiones informadas



sobre el riego. Este caso refleja cómo, incluso con tecnologías accesibles y de bajo costo, es posible implementar soluciones de BI que impacten positivamente en la gestión del recurso hídrico en pequeños predios agrícolas.

### Figura 5

#### Arquitectura de Sistema de Riego Conectado a Power BI



*Nota.* Flujo de datos desde sensores hasta visualización en Power BI. Adaptado de Arroyo (2020).

Asimismo, otras experiencias demuestran el valor estratégico de Power BI en la agricultura urbana. Tal es el caso del proyecto de grado desarrollado por Cerezo (2024), quien diseñó un sistema de monitoreo para huertas en el barrio La Estrellita (Usaquén), integrando sensores IoT, una base de datos en SQL Server y tableros en Power BI. Esta solución permitió centralizar y visualizar variables climáticas como humedad relativa, humedad del suelo y temperatura, facilitando la toma de decisiones basadas en datos en tiempo real. Los dashboards diseñados permitieron a los agricultores urbanos identificar tendencias, ajustar prácticas de riego y anticipar acciones correctivas, demostrando que incluso en contextos urbanos y de bajos recursos es viable aplicar inteligencia de negocios con herramientas accesibles y de alto impacto.

### **Tabla 1**

#### *Aplicaciones de Power BI en Gestión de Variables Hídricas*

| Estudio / Proyecto   | Ubicación / Enfoque                    | Variables monitoreadas                 | Aplicación de BI  |
|--|--|--|---|
| Corporación colombiana de investigación agropecuaria (2024b) | Colombia / Gestión del riego           | Humedad del suelo                      | Activación o suspensión del riego en tiempo real              |
| Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú (2024)     | Perú / Planificación agrícola nacional | Cobertura hídrica, superficie irrigada | Visualización de recursos hídricos para decisiones de siembra |

| Estudio / Proyecto | Ubicación / Enfoque              | Variables monitoreadas                           | Aplicación de BI                                     |
|--------------------|----------------------------------|--|--|
| Dias et al. (2024) | Portugal / Fertilización y riego | Potasio en suelo                                 | Optimización de riego y fertilización en tiempo real |
| Acero (2024)       | Colombia / Producción de papa    | Precipitación, rendimiento, área cosechada       | Correlación entre clima y productividad              |
| Arroyo (2020)      | Perú / Cultivo de limón          | Temperatura, humedad del suelo                   | Riego automatizado basado en condiciones ambientales |
| Cerezo (2024)      | Colombia / Agricultura urbana    | Humedad relativa, humedad del suelo, temperatura | Gestión eficiente del riego en huertas urbanas       |

*Nota.* Elaboración propia a partir de los estudios revisados, incluyendo casos en Colombia, Perú y Portugal que demuestran el uso de herramientas de BI para monitorear humedad, precipitación, nutrientes del suelo y condiciones ambientales, con el fin de optimizar el riego y la producción agrícola.

### ***Indicadores de Eficiencia en la Gestión del Agua***

Uno de los pilares fundamentales para mejorar la gestión hídrica en la agricultura es la capacidad de generar indicadores que permitan evaluar de manera precisa el desempeño del

sistema de riego y el aprovechamiento del recurso. En este sentido, Ríos et al. (2018) desarrollaron un modelo de agricultura de precisión orientado al cultivo de aguacate Hass, el cual se fundamentó en el balance hídrico de la FAO (2006), considerando variables como precipitación efectiva, evapotranspiración, escorrentía y almacenamiento del agua en el suelo. Este enfoque permitió calcular de forma más ajustada el requerimiento hídrico del cultivo, y establecer métricas de eficiencia basadas en la relación entre el rendimiento obtenido y la cantidad de agua aplicada.

Más allá de su dimensión técnica, este tipo de indicadores se convierte en una herramienta clave para la toma de decisiones. Mediante su visualización en dashboards o reportes automatizados, los productores pueden identificar desviaciones, establecer alertas tempranas y ajustar sus estrategias de riego de forma proactiva. Por ejemplo, métricas como el volumen de agua aplicado por hectárea, el tiempo de riego por parcela o la eficiencia hídrica por jornada, permiten evaluar tanto la productividad como la sostenibilidad del sistema.

En este sentido, Arroyo (2020) documenta cómo la conexión entre sensores de humedad y temperatura, una base de datos en MySQL y Power BI permitió mostrar reportes interactivos del estado ambiental del cultivo, facilitando decisiones informadas sobre el riego. Asimismo, Dias et al. (2024) diseñaron un sistema IoT portátil que integra sensores electroquímicos y una arquitectura en la nube con Azure IoT Hub, Azure Stream Analytics y visualización en Power BI. Esta solución permitió medir en tiempo real la concentración de potasio en el suelo y visualizar los datos mediante dashboards personalizados, contribuyendo a optimizar la dosificación de agua y fertilizantes con base en condiciones específicas de cada lote cultivado.

Además, experiencias recientes como la documentada por Cerezo (2024) demuestran que incluso en huertas urbanas y pequeñas parcelas, es posible implementar indicadores de eficiencia

hídrica personalizados mediante herramientas como Power BI. Estos indicadores, construidos a partir de datos recogidos por sensores de humedad y tiempo de operación, facilitaron la comparación entre sectores del cultivo y la detección de oportunidades de mejora operativa.

En conjunto, la disponibilidad y uso de indicadores no solo permite optimizar el recurso hídrico, sino que fortalece la transparencia, la trazabilidad y la gestión basada en evidencia dentro de los sistemas agrícolas modernos.

## **Tabla 2**

### *Indicadores Clave para Evaluar la Eficiencia Hídrica*

| Indicador                                   | Descripción  |
|---|--|
| Volumen de agua aplicado por hectárea       | Cantidad total de agua utilizada en relación con la superficie cultivada.    |
| Tiempo de riego por parcela                 | Duración total del riego por cada unidad de terreno.                         |
| Eficiencia hídrica por jornada              | Relación entre agua utilizada y producción generada por día de operación.    |
| Concentración de nutrientes (e.g., potasio) | Medida en tiempo real de nutrientes clave en el suelo para ajustar el riego. |
| Diferencias de consumo entre sectores       | Comparativa del uso de agua entre distintas zonas de cultivo.                |

*Nota.* Los indicadores presentados fueron identificados a partir de experiencias documentadas por Ríos et al. (2018), Arroyo (2020), Dias et al. (2024) y Cerezo (2024). Estos permiten monitorear y ajustar dinámicamente las estrategias de riego para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema agrícola.

### ***Beneficios y Desafíos en la Implementación de BI para la Gestión Hídrica***

La integración de tecnologías inteligentes en la agricultura, como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y los modelos de Business Intelligence (BI), ha demostrado tener un alto potencial para mejorar la sostenibilidad y eficiencia del uso del agua. Según Karn et al. (2024), la combinación de sistemas AIoT con herramientas de BI permite reducir significativamente la huella ecológica en los procesos agrícolas, optimizando la gestión hídrica sin comprometer la productividad.

Entre los principales beneficios destacan:

- La automatización del monitoreo agroclimático.
- La posibilidad de anticipar necesidades de riego a partir de datos históricos y en tiempo real.
- La generación de recomendaciones inteligentes que apoyan la toma de decisiones en campo.

No obstante, la implementación de estas tecnologías enfrenta desafíos importantes, sobre todo en contextos rurales y de bajos recursos. Quilambaqui et al. (2024) advierten que los costos iniciales, la necesidad de conectividad y la infraestructura tecnológica requerida pueden representar barreras significativas para pequeños productores. Asimismo, la precisión de los modelos predictivos depende en gran medida de la calidad y representatividad de los datos recolectados. Ferraz et al. (2019) señalan, por ejemplo, que la variabilidad espacial del pH del suelo puede limitar la efectividad de los mapas generados, afectando la confiabilidad de las decisiones basadas en BI.

Para contrarrestar estas limitaciones, distintos autores proponen estrategias de adopción inclusiva. Tovar-Quiroz (2023) plantea fomentar la asociatividad entre productores,

promoviendo la creación de gremios o cooperativas que faciliten el acceso compartido a tecnologías. Además, se sugiere impulsar el desarrollo y la difusión de soluciones tecnológicas de bajo costo, simples y fáciles de usar, así como incentivar el uso comunitario de maquinaria y sensores.

Tal como se evidencia en el estudio desarrollado por Arroyo (2020), el uso de Business Intelligence en contextos agrícolas puede ser altamente efectivo incluso con recursos limitados. La integración de sensores de bajo costo, almacenamiento en bases de datos como MySQL y visualización mediante Power BI permitió automatizar el riego por goteo en cultivos de limón, reduciendo el desperdicio de agua y mejorando la eficiencia operativa. Lo más destacable es que esta solución fue diseñada con herramientas accesibles y gratuitas, lo que demuestra que la implementación de BI no requiere necesariamente grandes inversiones, sino enfoques adaptados a las capacidades locales y necesidades productivas.

En este sentido, la implementación de BI no debe entenderse únicamente como una cuestión tecnológica, sino también como un proceso de transformación social, donde la capacitación, la colaboración y la adaptación a las condiciones locales son factores clave para su éxito.

Dias et al. (2024) demostraron que es posible implementar sistemas inteligentes de riego y fertilización incluso en entornos con recursos limitados, mediante la integración de sensores económicos, plataformas en la nube y visualización de datos con Power BI. Aunque persisten desafíos como la conectividad y el mantenimiento de sensores, estos desarrollos confirman que, con un diseño adecuado, se puede lograr una gestión hídrica más precisa, eficiente y adaptable en diversas realidades agrícolas.

Lo anterior se complementa con la experiencia documentada por Ríos et al. (2018), quienes diseñaron un prototipo de agricultura de precisión para cultivos de aguacate Hass con el fin de mejorar el uso eficiente del recurso hídrico. Su modelo se basó en el balance hídrico de la FAO e integró estaciones meteorológicas, sensores calibrados de bajo costo y una plataforma de monitoreo remoto mediante ThingSpeak y MatLab. Esta propuesta permitió estimar con precisión las necesidades de riego, evaluar la eficiencia del agua aplicada y reducir el desperdicio del recurso. A pesar de los logros técnicos, el estudio también evidenció retos logísticos, como la calibración constante de sensores, la conectividad en zonas rurales y la necesidad de capacitar a los agricultores en el uso e interpretación de los datos. Esta experiencia resalta que la implementación de BI requiere no solo infraestructura tecnológica adecuada, sino también acompañamiento técnico y apropiación local para garantizar su efectividad.

En síntesis, los beneficios de la implementación de Business Intelligence en el manejo del recurso hídrico no se limitan únicamente a grandes explotaciones agrícolas o entornos altamente tecnificados. También se han observado impactos positivos en contextos de menor escala, donde soluciones accesibles permiten obtener mejoras sustanciales. Tal es el caso de sistemas que integran sensores de bajo costo, almacenamiento en plataformas simples y visualización mediante herramientas como Power BI, los cuales han demostrado ser eficaces para identificar irregularidades en el riego, optimizar el uso del agua y fortalecer la trazabilidad de las actividades agronómicas. Este tipo de experiencias evidencia que, con la estrategia adecuada, el uso de BI puede adaptarse a diversas realidades productivas, facilitando una agricultura más informada, eficiente y sostenible, incluso en escenarios de recursos limitados (Cerezo, 2024).



Estas experiencias demuestran que, con una planificación adecuada, el uso de BI no solo es viable en diversos entornos agrícolas, sino que se proyecta como una herramienta estratégica para consolidar una agricultura más sostenible, inteligente y equitativa.

### ***Accesibilidad Económica de las Soluciones IoT para Pequeños Productores***

Uno de los principales desafíos para la adopción de tecnologías en el sector agrícola, especialmente entre pequeños y medianos productores, es la viabilidad económica. En contextos con recursos financieros limitados, la inversión inicial requerida para implementar soluciones avanzadas de monitoreo y análisis suele representar una barrera considerable.

No obstante, en los últimos años se han desarrollado alternativas más accesibles basadas en hardware y software libre, que demuestran que es posible implementar tecnologías IoT funcionales a bajo costo. Estas soluciones permiten recolectar y analizar datos agroclimáticos en tiempo real, sin necesidad de infraestructuras complejas ni altos niveles de inversión.

Un ejemplo destacado es el estudio de Chanchí et al. (2022), donde se diseñó un sistema de monitoreo climático para cultivos urbanos utilizando placas de bajo costo, sensores de fácil acceso y bases de datos livianas. Este enfoque no solo logró un prototipo funcional, sino que también evidenció su aplicabilidad en contextos de bajos recursos, posicionándolo como una alternativa realista para pequeños productores:

“La facilidad de implementación y el bajo costo del sistema IoT propuesto lo convierten en una alternativa viable para pequeños productores o cultivos urbanos que requieren monitoreo constante sin grandes inversiones” (Chanchí et al., 2022, p. 270).

La propuesta de Arroyo (2020) también destaca por su enfoque en la accesibilidad económica. El sistema de riego por goteo fue diseñado con sensores de bajo costo (DHT11 y HL69), microcontroladores Arduino y herramientas accesibles como MySQL (software libre) y

Power BI Desktop (gratuito). Esto permitió reducir significativamente los costos de implementación, haciendo viable la adopción tecnológica en parcelas pequeñas.

Este tipo de desarrollos refuerzan la idea de que la transformación digital del agro no debe limitarse a grandes explotaciones agrícolas, sino que puede extenderse de manera inclusiva a comunidades rurales y agricultores familiares, mediante soluciones tecnológicas adaptadas a sus condiciones.

### ***Aspectos Legales, Éticos y de Accesibilidad de los Datos en la Gestión Hídrica Agrícola***

La adopción de modelos de Business Intelligence (BI) en la agricultura, especialmente en la gestión hídrica, implica no solo beneficios técnicos y operativos, sino también desafíos en torno a la privacidad, el acceso y la gobernanza de los datos. A medida que se integran tecnologías como sensores IoT, plataformas en la nube y sistemas de análisis predictivo, surgen interrogantes sobre quién controla, accede y se beneficia de la información generada.

Desde el punto de vista legal, la recolección y tratamiento de datos en entornos agrícolas debe cumplir con marcos regulatorios que protegen la privacidad y garantizan el uso responsable de la información. En Colombia, la Ley 1581 de 2012 establece las disposiciones generales para la protección de datos personales (Congreso de Colombia, 2012), mientras que, a nivel internacional, normativas como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea han establecido estándares para el tratamiento, almacenamiento y portabilidad de datos, incluso cuando no se trate de datos personales sino de información sensible para la operación agrícola.

En los sistemas inteligentes de riego y monitoreo, como los documentados por Dias et al. (2024) y Cerezo (2024), se recopilan variables como humedad del suelo, temperatura ambiente, volumen de agua aplicado, y ubicación geoespacial. Aunque estos datos no siempre contienen

información personal directa, pueden ser vinculados con predios o decisiones estratégicas de los productores, lo que requiere definir claramente la titularidad y los permisos de uso. La soberanía de los datos agrícolas, entendida como el derecho del productor sobre la información generada en su explotación, es un tema emergente que cobra relevancia cuando los datos se procesan en plataformas externas como Azure o Power BI.

En Colombia, la Ley Estatutaria 1581 de 2012 establece las disposiciones generales para la protección de datos personales, reconociendo el derecho que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar la información que se haya recopilado sobre ellas en bases de datos o archivos (Congreso de Colombia, 2012). Esta ley regula tanto a entidades públicas como privadas que realicen tratamiento de datos personales en el país, y establece principios rectores como la legalidad, finalidad, libertad, veracidad, seguridad, confidencialidad y acceso restringido. En el contexto agrícola, aunque muchos datos recolectados por sensores o plataformas tecnológicas no sean estrictamente “personales”, su uso puede estar vinculado a productores individuales o comunidades rurales, lo que exige precauciones en cuanto al consentimiento, el uso autorizado y la seguridad del almacenamiento de la información.

A nivel internacional, el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea establece principios fundamentales para el tratamiento de datos personales, muchos de los cuales pueden aplicarse como referentes en proyectos agrícolas que manejan información sensible. El artículo 5 del reglamento enfatiza aspectos como la licitud, transparencia, limitación de la finalidad, minimización de datos, exactitud, limitación del almacenamiento y seguridad en el tratamiento. Aunque el GDPR se centra en datos personales, estos principios resultan especialmente relevantes cuando los datos recolectados (como el consumo hídrico, la productividad por parcela o las condiciones edafoclimáticas) están

vinculados a personas naturales o pueden generar impactos sociales. Así, conceptos como la privacidad por diseño, la trazabilidad y el consentimiento informado son claves para fortalecer la confianza de los productores en las soluciones basadas en Business Intelligence (Regulation [UE] 2016/679, art. 5).

La accesibilidad también se vincula con la transparencia y la comprensión de los datos generados. Herramientas como Power BI permiten crear dashboards intuitivos, pero su utilidad real depende de la capacitación de los usuarios para interpretar los resultados. Como lo demuestra la experiencia de Cerezo (2024), incluso en huertas urbanas de pequeña escala, el acceso a indicadores claros sobre tiempo de riego y eficiencia por parcela promueve un manejo más informado y equitativo del recurso hídrico.

Finalmente, el uso de plataformas abiertas o de software libre se presenta como una alternativa para garantizar la democratización del acceso a los datos. El empleo de bases de datos como MySQL y herramientas gratuitas como Power BI Desktop ha sido fundamental en varios estudios revisados para reducir costos y mejorar la autonomía tecnológica de los productores.

### ***Perspectivas Futuras***

El avance hacia una agricultura más tecnificada, sostenible y basada en datos es ya una realidad tangible. En este contexto, Madruga et al. (2019) propusieron una arquitectura de red de sensores inalámbricos para casas de cultivo con fertirriego, utilizando hardware y software de código abierto. Este sistema es capaz de recolectar en tiempo real datos críticos como la temperatura, humedad relativa, luminosidad y humedad del suelo. Además de su alta eficiencia energética —con una autonomía de hasta 487 días por nodo sensor—, su diseño modular permite la integración con modelos de Business Intelligence, generando información valiosa para la automatización y optimización de decisiones de riego. Este tipo de soluciones demuestra que es

posible implementar tecnologías eficaces, sostenibles y de bajo costo incluso en entornos controlados de producción agrícola.

Los desarrollos recientes en visualización de datos con Power BI abren nuevas oportunidades para extender su uso más allá del monitoreo local de variables como el riego. Iniciativas como la de Sanabia-Lizarraga et al. (2024) han demostrado que es posible integrar información multifuente (económica, geoespacial, logística) en una sola plataforma para apoyar decisiones en el sector agrícola a nivel macro. Esta visión puede extrapolarse a la gestión hídrica, integrando datos meteorológicos, sensores de humedad y proyecciones climáticas con indicadores económicos y de comercialización agrícola para una planificación más eficiente del recurso agua.

A futuro, la implementación de modelos de BI para la gestión hídrica en la agricultura no solo representa una respuesta técnica al desafío del uso eficiente del agua, sino también una estrategia clave para enfrentar la variabilidad climática, mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas y fortalecer la seguridad alimentaria. La integración de sensores IoT, algoritmos de machine learning y herramientas de visualización como Power BI permite transformar datos en decisiones precisas, optimizando el riego, reduciendo pérdidas y minimizando el impacto ambiental.

En este marco, se vuelve crucial seguir promoviendo políticas y programas que faciliten la adopción de estas tecnologías, especialmente entre pequeños productores. Capacitación técnica, incentivos económicos, desarrollo de soluciones de bajo costo y cooperación entre actores del agro serán elementos esenciales para democratizar el acceso a la inteligencia de negocios en el campo.

## Conclusiones

La implementación de modelos de Business Intelligence (BI) en la agricultura de precisión ha demostrado ser una estrategia eficaz para optimizar la gestión del recurso hídrico, especialmente en un contexto de creciente demanda alimentaria y presión sobre los ecosistemas. El análisis de casos, plataformas tecnológicas y estudios recientes permitió identificar que la combinación de sensores IoT, algoritmos de machine learning y herramientas de visualización como Power BI permite transformar datos agroclimáticos en decisiones oportunas y basadas en evidencia.

Entre los principales beneficios identificados destacan la automatización del riego, la reducción del desperdicio de agua y fertilizantes, y el fortalecimiento de la resiliencia frente a eventos climáticos adversos. Estas mejoras no solo impactan la sostenibilidad ambiental, sino que también generan eficiencia económica al reducir costos operativos y aumentar el rendimiento de los cultivos.

Asimismo, se evidenció que las soluciones basadas en BI pueden ser adaptadas a distintos niveles productivos. Desde sistemas complejos de monitoreo en plataformas gubernamentales (como el caso de Perú) hasta prototipos de bajo costo en predios pequeños (como los desarrollos de Dias et al., 2024 y Arroyo, 2020), lo cual demuestra su escalabilidad y flexibilidad.

Sin embargo, la adopción de estas tecnologías enfrenta retos importantes, principalmente para pequeños productores. Las barreras de acceso a la tecnología, la falta de conectividad en zonas rurales, y la necesidad de formación técnica adecuada, son factores que limitan su implementación. Para superarlos, se plantea la necesidad de políticas públicas inclusivas, programas de capacitación, y la promoción de soluciones de bajo costo y código abierto.

Finalmente, la inteligencia de negocios aplicada al riego no debe entenderse únicamente como una herramienta tecnológica, sino como un componente clave dentro de un enfoque integral de transformación agrícola. Su integración adecuada puede marcar una diferencia significativa en la seguridad alimentaria, la sostenibilidad del agua y la competitividad del sector agropecuario en el corto y largo plazo.

## Recomendaciones

Con base en los hallazgos de esta monografía, se considera prioritario fomentar la adopción de tecnologías de bajo costo y código abierto que permitan a los pequeños y medianos productores acceder a soluciones de monitoreo hídrico basadas en Business Intelligence. El uso de sensores IoT, plataformas como Power BI y servicios en la nube representa una alternativa viable y escalable para mejorar la gestión del riego.

Asimismo, es fundamental fortalecer los procesos de capacitación en el sector agrícola, dotando a productores, técnicos y tomadores de decisión de conocimientos prácticos sobre análisis de datos, interpretación de dashboards y uso de herramientas digitales para el monitoreo en tiempo real. La formación técnica debe acompañarse de políticas públicas que impulsen la transformación digital del agro, a través de incentivos, financiamiento e infraestructura tecnológica, especialmente en zonas rurales con acceso limitado.

También se recomienda integrar las plataformas de análisis de datos con fuentes oficiales de información meteorológica y agroclimática, con el fin de mejorar la precisión de los modelos predictivos aplicados a la planificación del riego y la fertilización. En este sentido, el uso de datos abiertos y estandarizados facilitará el desarrollo de soluciones más robustas y contextualizadas.

Del mismo modo, se debe promover la asociatividad y la cooperación entre productores, facilitando el acceso compartido a sensores, plataformas y servicios técnicos. Las redes de innovación y las alianzas entre instituciones, universidades y comunidades rurales pueden ser claves para escalar estas tecnologías.



### Referencias Bibliográficas

- Acero, M. (2023). *Mejorando la toma de decisiones en la agricultura de la papa en Cundinamarca con visualización analítica y Power BI* [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería]. Repositorio Institucional Escuelaing.  
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/3294>
- Aguilar, R., Cárdenas, M., Rodríguez, J., & Romero, M. (2023). Monitoring of temperature through a sensor network to improve the water usage in agriculture. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-11. e1626. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1626>
- Arroyo, L. (2020). *Diseño de un sistema de riego por goteo para el Valle de Chira* [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias y Humanidades]. Repositorio Institucional UCH.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12872/667>
- Cerezo, J. (2024). *Diseño de un sistema de monitoreo, basado en tecnologías IoT para la optimización y toma de decisiones de huertas urbanas en casas, en el barrio La Estrellita (Usaquén)* [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12494/56029>
- Chanchí, G., Ospina, M., & Saba, M. (2022). Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana. *Revista científica*, 257–271.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8917600>
- Congreso de Colombia. (2012, 17 de octubre). *Ley estatutaria 1581 de 2012: Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales*. Diario Oficial No. 48.587. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

- Corporación colombiana de investigación agropecuaria. (2024a). Importancia del agua: el agua y la nutrición de los cultivos. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/40004>.
- Corporación colombiana de investigación agropecuaria. (2024b). Integración del sistema en red IoT: estructura del sistema IoT. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/40011>.
- Cortez, J., Zepeda, M., García, M., Hernández, B., & Aguirre, A. (2024). Monitoreo de áreas de cultivo de maíz en la zona noroeste del Estado de México a través de sensores remotos. *Revista Cartográfica*, 109(septiembre), 7–27. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i109.4528>
- Dias, D., Monge, J., & Postolache, O. (2024). Potentiostat network for precision agriculture. *2024 IEEE 22nd Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*. <https://doi.org/10.1109/MELECON56669.2024.10608673>
- European Parliament and Council. (2016). *Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (General Data Protection Regulation)*. Official Journal of the European Union, L119, 1–88. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R0679>
- Ferraz, S., Souza, B., Reynaldo, É., Santos, S., Gonçalves, J., & Ferreira, P. (2019). Variabilidad espacial del pH del suelo muestreado por dos metodologías utilizadas en agricultura de precisión en granjas bajo rotación de cultivos. *DYNA*, 86(209), 289–297. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70897>
- Karn, S., Kotecha, R., & Pandey, R. (2024). Towards Sustainable Farming: Leveraging AIoT for Precision Water Management and Crop Yield Optimization. *Procedia Computer Science*, 233, 772–781. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.266>

Kumar, A., Doddabasappa, N., Bairwa, B., Kumar, A., Raju, G., & Madhu. (2023). IoT-based water harvesting, moisture monitoring, and crop monitoring system for precision agriculture. *2023 International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE)*. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ICDCECE57866.2023.10150893>

Madrugá, A., Estevez, A., Sosa, R., García, C., & Santana, I. (2019). Red de sensores inalámbricos para la adquisición de datos en casas de cultivo. *Ingeniería*, 24(3), 224–234.

<https://doi.org/10.14483/23448393.14437>

Microsoft. (2023). *Visualización de datos en tiempo real desde Azure IoT Hub con Power BI*.

Learn. <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/iot-hub/iot-hub-live-data-visualization-in-power-bi>

Microsoft. (2024). *¿Qué es Power BI?* Learn. [https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi](https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/fundamentals/power-bi-overview)

[/fundamentals/power-bi-overview](https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/fundamentals/power-bi-overview)

Microsoft. (2025). *Transmisión de datos en tiempo real en Power BI*. Learn.

<https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/connect-data/service-real-time-streaming>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. (2024). *Análisis de intenciones de siembra 2024/2025*. Power BI.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMGVhODcyMzktMGViZS00Yjg2LTgzMWItYjFIMGI5MDE1NzVjIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>

Molin, J., Bazame, H., Maldaner, L., Corredo, L., Martello, M., & Canata, T. (2020). Precision agriculture and the digital contributions for site-specific management of the fields.

*Revista Ciência Agronômica*, 51(Special Agriculture 4.0), e20207720.

<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200088>

Quilambaqui, M., Capelo, J., Mora, B., Abril, G., & Delgado, E. (2024). Design of an agroclimatic system for intelligent monitoring, advance notice, and business model for cocoa cultivation in Naranjito; [Diseño de un sistema agroclimático en el monitoreo, preaviso inteligente y su modelo de negocio para el cultivo de cacao en Naranjito].

*LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*.

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1311>

Ríos, A., Gómez, C., Betancur, L., Vélez, L., Llano, M., Sierra, M., Medina, T., & Hincapié, R. (2018). MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUACATE HASS MEDIANTE UN PROTOTIPO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN QUE PERMITA EL USO

EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO. *Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería*. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/673>

Ruiz, W., Ferro, R., & Moncada, J. (2020). Application of a Supervised Learning Model to Analyze the Behavior of Environmental Variables in a Coffee Crop. *Ingeniería*, 25, 410–424. <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v25n3/0121-750X-inge-25-03-410.pdf>

Sanabia-Lizarraga, K. G., Carballo-Mendivil, B., Arellano-González, A., & Bueno-Solano, A. (2024). Business Intelligence for Agricultural Foreign Trade: Design and Application of Power BI Dashboard. *Sustainability*, 16(21), 9576. <https://doi.org/10.3390/su16219576>

Swarnkar, S., Prajapati, T., Dewangan, L., Rabbi, F., & Dewangan, O. (2023). AI-enabled crop health monitoring and nutrient management in smart agriculture. *2023 6th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/IC3I59117.2023.10398035>

Tovar-Quiroz, Ana (2023). Agricultura 4.0: uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores. *Informador Técnico*, 87(2), 64-80.

<https://doi.org/10.23850/22565035.5536>