



# **Agricultura de precisión aplicada a la producción sostenible de césped bermuda (*Cynodon dactylon*): propuesta tecnológica basada en sensores IoT para la optimización del riego en superficies deportivas**

Precision agriculture applied to sustainable bermuda grass (*Cynodon dactylon*) production: an IoT sensor-based technological proposal for irrigation optimization in sports turf surfaces

 <https://doi.org/10.47230/ra.v9i1.152>

**Recibido:** 10-01-2026    **Aceptado:** 15-05-2026    **Publicado:** 10-06-2026

Selena María Parrales Villacreses<sup>1</sup>  
 <https://orcid.org/0009-0006-0107-4193>

Oscar David Villacreses Pincay<sup>4</sup>  
 <https://orcid.org/0000-0002-7858-7740>

Geanfrank Isaias Cruz Lucas<sup>2</sup>  
 <https://orcid.org/0000-0002-0881-6499>

Julissa Eufemia Marcillo Valverde<sup>3</sup>  
 <https://orcid.org/0009-0006-0107-4193>

1. Universidad Estatal del Sur de Manabí-Instituto de Posgrado; Jipijapa, Ecuador.
2. Universidad Estatal del Sur de Manabí-Instituto de Posgrado; Jipijapa, Ecuador.
3. Universidad Estatal del Sur de Manabí-Instituto de Posgrado; Jipijapa, Ecuador.
4. Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación, Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa, Ecuador.

**Volumen:** 9

**Número:** 1

**Año:** 2026

**Paginación:** 175-185

**URL:** <https://alcance.unesum.edu.ec/index.php/alcance/article/view/152>

**\*Correspondencia autor:** selena.parrales@unesum.edu.ec

## RESUMEN

La gestión eficiente del agua constituye uno de los principales desafíos para el mantenimiento y producción sostenible de céspedes deportivos, especialmente en regiones donde la disponibilidad hídrica se encuentra condicionada por factores climáticos y ambientales. En este contexto, el césped bermuda (*Cynodon dactylon*) representa una de las especies más utilizadas en superficies deportivas debido a su capacidad de adaptación, resistencia al tránsito y rápido crecimiento vegetativo. Sin embargo, el manejo inadecuado del riego puede afectar significativamente su calidad, cobertura y desarrollo agronómico. El objetivo de esta investigación fue analizar la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión para formular una propuesta tecnológica basada en sensores IoT orientada a optimizar el riego y la producción sostenible de *Cynodon dactylon* en superficies deportivas. La investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica de carácter descriptivo y documental, considerando literatura científica publicada entre 2015 y 2026 en bases de datos indexadas de alto impacto. Se analizaron estudios relacionados con agricultura de precisión, sensores de humedad del suelo, Internet de las Cosas (IoT), sistemas de riego automatizado y manejo agronómico de céspedes deportivos. La información recopilada permitió identificar las principales tecnologías empleadas para el monitoreo de variables ambientales y el control inteligente del riego en sistemas agrícolas y paisajísticos. Los resultados evidencian que la integración de sensores IoT en sistemas de riego automatizado favorece una gestión más eficiente del recurso hídrico, permitiendo ajustar la aplicación de agua de acuerdo con las necesidades reales del cultivo. Asimismo, la literatura científica reporta mejoras en la eficiencia hídrica, reducción de costos operativos y optimización de las condiciones de crecimiento vegetal cuando se implementan herramientas de agricultura de precisión. Con base en estos hallazgos, se diseñó una propuesta tecnológica conceptual que integra sensores de humedad del suelo, plataformas de monitoreo remoto y sistemas automatizados de control del riego para futuras aplicaciones en superficies deportivas. Se concluye que la agricultura de precisión constituye una alternativa tecnológica viable para fortalecer la sostenibilidad y eficiencia en el manejo de *Cynodon dactylon*, contribuyendo a la modernización de los sistemas de mantenimiento de céspedes deportivos mediante el uso racional del agua y la incorporación de tecnologías digitales.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, Césped bermuda, Sensores IoT, Riego automatizado, Sostenibilidad hídrica.

## ABSTRACT

Efficient water management represents one of the main challenges for the sustainable maintenance and production of sports turf, particularly in regions where water availability is influenced by climatic and environmental factors. In this context, Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) is one of the most widely used species for sports surfaces due to its adaptability, traffic tolerance, and rapid vegetative growth. However, inadequate irrigation management can significantly affect its quality, coverage, and agronomic performance. The objective of this study was to analyze the application of precision agriculture technologies in order to formulate a technological proposal based on Internet of Things (IoT) sensors aimed at optimizing irrigation and sustainable production of *Cynodon dactylon* on sports fields. The research was conducted through a descriptive and documentary literature review considering scientific publications indexed between 2015 and 2026. Studies related to precision agriculture, soil moisture sensors, Internet of Things technologies, automated irrigation systems, and agronomic management of sports turf were analyzed. The collected information enabled the identification of the main technologies currently employed for environmental monitoring and intelligent irrigation control in agricultural and landscaping systems. The findings indicate that integrating IoT sensors into automated irrigation systems promotes more efficient water management by adjusting water application according to the actual requirements of the crop. Furthermore, scientific evidence reports improvements in water-use efficiency, reductions in operational costs, and enhanced plant growth conditions when precision agriculture tools are implemented. Based on these findings, a conceptual technological proposal was designed, integrating soil moisture sensors, remote monitoring platforms, and automated irrigation control systems for future applications in sports turf management. It is concluded that precision agriculture constitutes a viable technological alternative to improve sustainability and efficiency in the management of *Cynodon dactylon*, contributing to the modernization of sports turf maintenance systems through rational water use and the incorporation of digital technologies.

**Keywords:** Precision agriculture, Bermuda grass, IoT sensors, Automated irrigation, Water sustainability.



Creative Commons Attribution 4.0  
International (CC BY 4.0)

## Introducción

Las superficies deportivas requieren coberturas vegetales que garanticen condiciones adecuadas de funcionalidad, seguridad y calidad estética. Entre las especies más utilizadas para este propósito destaca el césped bermuda (*Cynodon dactylon*), una gramínea perenne ampliamente adaptada a climas tropicales y subtropicales debido a su rápido crecimiento, elevada resistencia al tránsito y capacidad de recuperación ante el desgaste mecánico. Estas características han favorecido su utilización en canchas deportivas, parques y áreas recreativas.

El crecimiento y la calidad de *Cynodon dactylon* dependen de diversos factores agronómicos, entre los que sobresalen la disponibilidad de agua, las condiciones climáticas y las prácticas de manejo. La aplicación inadecuada del riego puede afectar la cobertura vegetal, disminuir el vigor del césped y generar pérdidas significativas de agua, especialmente en regiones donde este recurso es limitado. En este contexto, la gestión eficiente del agua constituye uno de los principales desafíos para el mantenimiento sostenible de superficies deportivas.

La agricultura de precisión ha surgido como una alternativa tecnológica orientada a optimizar el uso de recursos mediante la integración de herramientas digitales que permiten monitorear y controlar variables agrícolas en tiempo real. Dentro de estas tecnologías, el Internet de las Cosas (IoT) ha adquirido relevancia por su capacidad para conectar sensores, dispositivos y plataformas digitales que facilitan la recopilación y análisis de información relacionada con las condiciones del suelo y del ambiente.

La incorporación de sensores de humedad del suelo en sistemas de riego automatizado permite determinar con mayor precisión las necesidades hídricas de la vegetación, favoreciendo una aplicación más eficiente del agua y reduciendo pérdidas asociadas a métodos convencionales de riego. Diversas investigaciones han evidenciado que la au-

tomatización basada en datos obtenidos en tiempo real contribuye a mejorar la eficiencia hídrica y optimizar el crecimiento vegetal, convirtiéndose en una herramienta estratégica para el manejo sostenible de áreas verdes y superficies deportivas.

A pesar de los avances tecnológicos observados a nivel internacional, la adopción de sistemas inteligentes de riego para el manejo de céspedes deportivos aún es limitada en muchos contextos locales. Esta situación evidencia la necesidad de generar propuestas tecnológicas fundamentadas en la agricultura de precisión que contribuyan a mejorar la gestión del agua y la sostenibilidad de las superficies deportivas.

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo analizar la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión en la producción sostenible de césped bermuda (*Cynodon dactylon*) y formular una propuesta tecnológica basada en sensores IoT para la optimización del riego en superficies deportivas.

## Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo documental, descriptivo y propositivo, orientado al análisis de la agricultura de precisión aplicada a la producción sostenible de césped bermuda (*Cynodon dactylon*) en superficies deportivas. El estudio se fundamentó en la revisión y análisis de literatura científica relacionada con tecnologías IoT, sistemas de riego automatizado, monitoreo de variables ambientales y manejo agronómico de céspedes deportivos.

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos científicas de alto impacto, entre ellas Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, IEEE Xplore y Google Scholar. Se consideraron publicaciones científicas realizadas entre los años 2015 y 2025, con el propósito de recopilar información actualizada sobre agricultura de precisión, sensores inteligentes y optimización del riego.

Para la recuperación de información se utilizaron palabras clave en español e inglés, tales como: *Cynodon dactylon*, césped bermuda, agricultura de precisión, Internet de las Cosas (IoT), sensores de humedad del suelo, riego automatizado, gestión hídrica, céspedes deportivos y sostenibilidad agrícola. La combinación de estos términos permitió identificar investigaciones relacionadas con la producción y manejo eficiente de superficies deportivas.

Como criterios de inclusión se consideraron artículos científicos indexados, revisiones sistemáticas, documentos técnicos y estudios experimentales que abordaran el uso de tecnologías digitales aplicadas al manejo del agua, monitoreo ambiental y producción de céspedes. Se excluyeron publicaciones duplicadas, documentos sin revisión por pares y estudios cuya temática no guardara relación directa con los objetivos de la investigación.

La información recopilada fue organizada y clasificada de acuerdo con las principales temáticas identificadas: producción de *Cynodon dactylon*, agricultura de precisión, sensores IoT, automatización del riego, sostenibilidad ambiental y eficiencia hídrica. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de los hallazgos reportados por los diferentes autores con la finalidad de identificar tendencias tecnológicas, beneficios potenciales y oportunidades de aplicación en superficies deportivas.

Finalmente, con base en la evidencia científica analizada, se formuló una propuesta tecnológica conceptual para futuras implementaciones en sistemas de producción y mantenimiento de césped bermuda, integrando herramientas de agricultura de precisión orientadas a optimizar el uso del agua y mejorar la sostenibilidad de las superficies deportivas.

## Desarrollo temático

### Producción agropecuaria de *Cynodon dactylon*

*Cynodon dactylon* (L.) Pers., conocido como césped bermuda, es una gramínea perenne ampliamente utilizada en superficies deportivas debido a su rápido crecimiento, elevada capacidad de recuperación y resistencia al tránsito continuo. Su adaptación a climas cálidos y su capacidad para formar coberturas densas y uniformes la convierten en una de las especies más utilizadas en canchas deportivas y áreas recreativas.

El crecimiento y desarrollo de esta especie están influenciados por factores como la temperatura, radiación solar, fertilidad del suelo y disponibilidad de agua. Las condiciones óptimas de crecimiento se presentan en ambientes cálidos, donde la planta puede desarrollar una cobertura vegetal uniforme y mantener características funcionales adecuadas para actividades deportivas.

La disponibilidad hídrica constituye uno de los factores más determinantes para la calidad del césped. Déficits prolongados de agua pueden reducir la densidad y el vigor de la cobertura vegetal, mientras que aplicaciones excesivas favorecen pérdidas de agua y problemas asociados al deterioro del suelo. Por ello, la gestión eficiente del riego resulta fundamental para mantener condiciones óptimas de crecimiento y sostenibilidad.

Debido a sus características agronómicas y requerimientos de manejo, *Cynodon dactylon* representa una especie con alto potencial para la aplicación de tecnologías orientadas a optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia de los sistemas de mantenimiento en superficies deportivas.

### Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es una estrategia de gestión que utiliza tecnologías digitales para monitorear y controlar variables agrícolas con el objetivo de optimizar la productividad y el uso eficiente de los recursos. Su aplicación permite tomar decisiones fundamentadas en información obtenida en tiempo real sobre las condiciones del suelo, el cultivo y el ambiente.

Entre las principales ventajas de este enfoque destacan la optimización del uso del agua, la reducción de costos operativos y la mejora de la eficiencia en las prácticas de manejo agronómico. Estas características han favorecido su incorporación en diferentes sistemas de producción vegetal, incluyendo el mantenimiento de céspedes deportivos.

En superficies deportivas, la agricultura de precisión facilita el monitoreo continuo de variables relacionadas con el crecimiento del césped y las condiciones de humedad del suelo. La información generada permite ajustar oportunamente las actividades de manejo y mejorar la calidad de la cobertura vegetal.

La integración de tecnologías digitales en el manejo de *Cynodon dactylon* constituye una alternativa para incrementar la sostenibilidad de las superficies deportivas, favoreciendo una gestión más eficiente de los recursos y mejores condiciones para el desarrollo del césped.

### **Sensores IoT en sistemas agropecuarios**

El Internet de las Cosas (IoT) corresponde a una red de dispositivos interconectados capaces de recopilar, transmitir y procesar información en tiempo real mediante sensores y sistemas de comunicación. En el sector agropecuario, esta tecnología ha adquirido importancia debido a su capacidad para generar información precisa sobre las condiciones ambientales y del suelo, facilitando una gestión más eficiente de los recursos productivos.

Los sensores constituyen el componente principal de los sistemas IoT, ya que permiten medir variables relevantes para el crecimiento vegetal, tales como humedad del suelo, temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar y precipitaciones. La información recopilada es transmitida a plataformas digitales donde puede ser analizada para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el manejo del cultivo.

En el caso de *Cynodon dactylon*, los sensores de humedad del suelo representan una herramienta especialmente útil para determinar las necesidades hídricas del césped y optimizar la aplicación del riego. El monitoreo continuo permite identificar variaciones en la disponibilidad de agua y realizar ajustes oportunos que favorezcan el crecimiento y mantenimiento de una cobertura vegetal uniforme.

La integración de sensores IoT en sistemas agropecuarios contribuye a mejorar la eficiencia operativa, reducir el desperdicio de recursos y fortalecer la sostenibilidad de los procesos de producción y mantenimiento. Estas ventajas convierten a esta tecnología en una alternativa viable para el manejo inteligente de superficies deportivas.

### **Agricultura de precisión**

La automatización del riego consiste en la utilización de dispositivos electrónicos y sistemas de control que permiten regular la aplicación de agua sin necesidad de intervención manual permanente. Esta tecnología busca suministrar la cantidad de agua requerida por la vegetación en el momento adecuado, mejorando la eficiencia del uso del recurso hídrico.

Los sistemas de riego automatizado pueden operar mediante información proporcionada por sensores instalados en el suelo o en el ambiente. Cuando los niveles de humedad descienden por debajo de valores previamente establecidos, el sistema activa automáticamente el suministro de agua y lo detiene una vez alcanzadas las condiciones óptimas para el crecimiento vegetal.

En superficies deportivas con *Cynodon dactylon*, la automatización del riego permite mantener niveles adecuados de humedad que favorecen la densidad, uniformidad y calidad del césped. Además, contribuye a reducir pérdidas de agua asociadas a prácticas tradicionales basadas únicamente en horarios fijos de riego.

La combinación de sistemas automatizados con tecnologías IoT posibilita el monitoreo remoto y la gestión eficiente de los recursos, mejorando las condiciones de mantenimiento y sostenibilidad de las áreas deportivas.

### **Beneficios ambientales**

La incorporación de tecnologías de agricultura de precisión y sistemas de riego automatizado genera beneficios ambientales asociados principalmente al uso eficiente del agua. El monitoreo continuo de las condiciones del suelo permite aplicar únicamente la cantidad de agua necesaria para el desarrollo del césped, reduciendo pérdidas por evaporación, escorrentía y sobreirrigación.

La optimización del recurso hídrico contribuye a disminuir la presión sobre las fuentes de abastecimiento y favorece prácticas de manejo más sostenibles. Asimismo, una adecuada gestión del riego ayuda a conservar las propiedades físicas del suelo y reduce riesgos asociados a procesos de degradación ambiental.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la integración de sensores IoT y sistemas inteligentes de control representa una alternativa tecnológica que permite equilibrar la productividad, la conservación de recursos naturales y la eficiencia operativa en el mantenimiento de superficies deportivas.

### **Propuesta tecnológica**

#### **Objetivo de la propuesta**

Diseñar una propuesta tecnológica basada en principios de agricultura de precisión que permita optimizar el riego y mejorar las condiciones de crecimiento del césped bermuda (*Cynodon dactylon*) en superficies deportivas mediante el uso de sensores IoT para el monitoreo continuo de variables ambientales y edáficas.

#### **Descripción general del sistema**

La propuesta consiste en un sistema inteligente de monitoreo y control del riego capaz de recopilar información en tiempo

real sobre las condiciones de humedad del suelo y transmitirla a una plataforma digital para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el manejo hídrico del césped. El sistema busca automatizar el suministro de agua de acuerdo con las necesidades reales de la cobertura vegetal, contribuyendo al uso eficiente del recurso hídrico y al mantenimiento de condiciones adecuadas para el desarrollo de la especie.

### **Componentes de la propuesta**

El sistema propuesto estaría conformado por los siguientes elementos:

- Sensores de humedad del suelo para monitorear el contenido de agua disponible en la zona radicular del césped.
- Sensor de temperatura y humedad ambiental para registrar las condiciones climáticas que influyen en el crecimiento vegetal.
- Microcontrolador ESP32 o dispositivo equivalente encargado de procesar la información generada por los sensores.
- Módulo de comunicación inalámbrica para la transmisión de datos hacia una plataforma digital.
- Electroválvula automatizada para controlar la apertura y cierre del sistema de riego.
- Plataforma IoT para la visualización y almacenamiento de información en tiempo real.

### **Funcionamiento del sistema**

El sistema operaría mediante la captura continua de información relacionada con la humedad del suelo y las condiciones ambientales presentes en la superficie deportiva. Los datos recopilados serían procesados por el microcontrolador y enviados a una plataforma digital donde podrían ser visualizados por los responsables del mantenimiento.

Cuando los sensores detecten niveles de humedad inferiores a los parámetros previamente establecidos para el adecuado crecimiento de *Cynodon dactylon*, el sistema activaría automáticamente la electroválvula permitiendo el suministro de agua. Una vez alcanzado el nivel óptimo de humedad, el sistema suspendería el riego de forma automática, evitando aplicaciones innecesarias y reduciendo pérdidas de agua.

### **Aplicación en superficies deportivas**

La propuesta tecnológica está orientada a futuras implementaciones en canchas deportivas establecidas con césped bermuda. Su utilización permitiría disponer de información actualizada sobre las condiciones del suelo y optimizar la programación del riego de acuerdo con las necesidades reales de la vegetación.

La incorporación de este tipo de tecnologías contribuiría a mantener una cobertura vegetal uniforme, mejorar la calidad estética y funcional de la superficie deportiva y reducir los costos asociados al consumo de agua. Asimismo, facilitaría la toma de decisiones basada en datos objetivos y promovería prácticas de manejo más sostenibles.

### **Modelo conceptual de la propuesta**

La propuesta tecnológica se fundamenta en los principios de la agricultura de precisión y el Internet de las Cosas (IoT), integrando componentes de monitoreo, procesamiento, comunicación y automatización orientados a optimizar el riego del césped bermuda (*Cynodon dactylon*) en superficies deportivas.

El modelo conceptual está estructurado en cuatro niveles funcionales:

#### **Nivel 1. Captura de información**

Corresponde a la recolección de datos provenientes del entorno mediante sensores instalados estratégicamente en la superficie deportiva. Los dispositivos registran variables que influyen directamente en el crecimiento del césped, entre ellas:

- Humedad del suelo.
- Temperatura ambiental.
- Humedad relativa.
- Condiciones climáticas locales.

La información obtenida permite conocer el estado hídrico de la zona radicular y las condiciones ambientales que afectan el desarrollo de *Cynodon dactylon*.

#### **Nivel 2. Procesamiento y análisis**

Los datos recopilados por los sensores son enviados a un microcontrolador ESP32, encargado de procesar la información y compararla con parámetros previamente establecidos para el crecimiento óptimo del césped.

Cuando los valores registrados se encuentran dentro de los rangos adecuados, el sistema continúa monitoreando las condiciones del entorno. Si se detectan niveles de humedad inferiores a los requeridos, se genera una señal para activar el sistema de riego.

#### **Nivel 3. Comunicación y monitoreo remoto**

La información procesada es transmitida mediante conexión inalámbrica hacia una plataforma IoT, donde los datos pueden visualizarse en tiempo real mediante dispositivos móviles o computadoras.

Este nivel permite:

- Supervisar las condiciones del césped.
- Consultar históricos de información.
- Detectar variaciones en la humedad del suelo.
- Apoyar la toma de decisiones de mantenimiento.

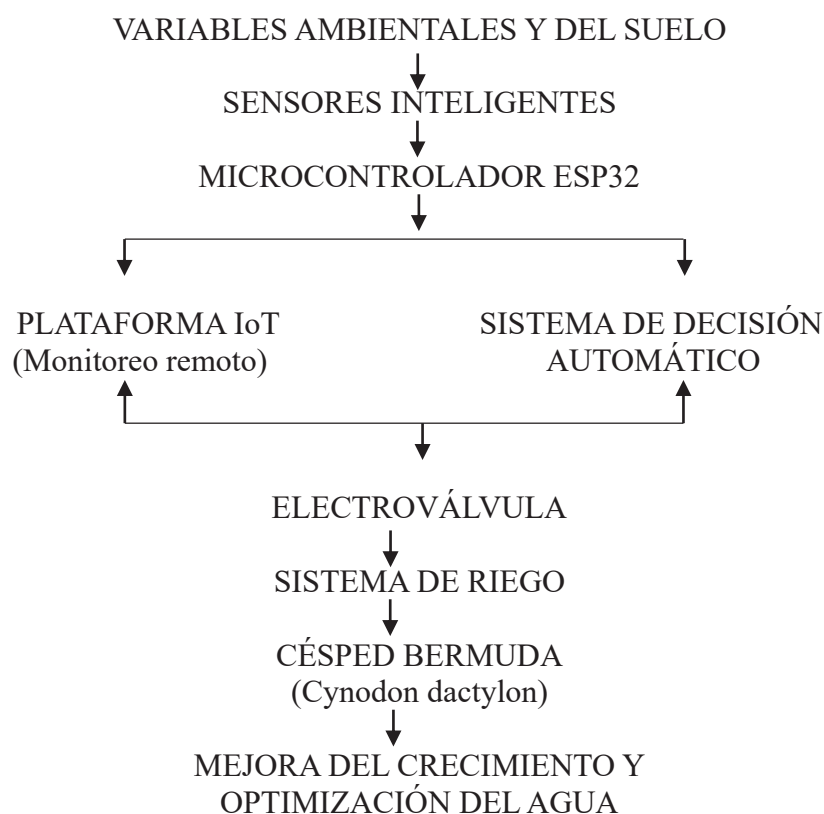
#### **Nivel 4. Automatización del riego**

Con base en la información generada por los sensores y procesada por el sistema, una electroválvula controla automáticamente la activación o suspensión del riego.

El sistema suministra agua únicamente cuando la humedad del suelo se encuentra por debajo del nivel establecido para el cre-

cimiento adecuado de *Cynodon dactylon*, optimizando el consumo hídrico y reduciendo pérdidas por sobreirrigación.

**Figura 1.** Arquitectura conceptual del sistema



La propuesta plantea un sistema de gestión inteligente capaz de integrar monitoreo, análisis y automatización para mejorar la eficiencia hídrica y favorecer el desarrollo sostenible del césped bermuda en superficies deportivas, constituyéndose en una alternativa tecnológica para futuras implementaciones en el cantón Jipijapa y otros contextos similares.

## Discusión

La evidencia científica analizada demuestra que la agricultura de precisión se ha consolidado como una alternativa eficaz para optimizar la gestión de recursos en sistemas de producción vegetal. Su aplicación en el manejo de céspedes deportivos permite incorporar herramientas tecnológicas que facilitan el monitoreo continuo de variables críticas para el crecimiento de

*Cynodon dactylon*, especialmente aquellas relacionadas con la disponibilidad de agua en el suelo. En comparación con los métodos tradicionales de riego, basados generalmente en horarios preestablecidos, los sistemas inteligentes ofrecen una mayor capacidad de adaptación a las condiciones reales del entorno, favoreciendo una gestión más eficiente del recurso hídrico.

Diversas investigaciones coinciden en que la utilización de sensores de humedad del suelo permite mejorar la precisión en la programación del riego y reducir pérdidas asociadas a aplicaciones excesivas o insuficientes. En el caso de superficies deportivas, donde la calidad del césped constituye un factor determinante para el desarrollo de actividades recreativas y competitivas, la disponibilidad de información en tiempo

real representa una ventaja significativa para mantener condiciones adecuadas de cobertura, uniformidad y resistencia al desgaste.

La integración de tecnologías IoT amplía las posibilidades de monitoreo y control mediante la transmisión remota de datos y la automatización de procesos. Estas características favorecen una gestión más eficiente de las actividades de mantenimiento y permiten tomar decisiones fundamentadas en información actualizada. Además, la disponibilidad de plataformas digitales facilita el seguimiento permanente de las condiciones del sistema y la identificación temprana de posibles problemas relacionados con el riego o el estado del césped.

Desde la perspectiva ambiental, la propuesta tecnológica presenta ventajas asociadas a la optimización del uso del agua y a la reducción del desperdicio de recursos. La automatización basada en sensores permite suministrar únicamente la cantidad de agua requerida por la vegetación, contribuyendo a la conservación de fuentes hídricas y fortaleciendo prácticas de manejo sostenibles. Estos beneficios adquieren especial relevancia en contextos donde la disponibilidad de agua puede verse afectada por factores climáticos o por el incremento de la demanda de este recurso.

En el contexto del cantón Jipijapa, la implementación futura de tecnologías basadas en agricultura de precisión podría representar una oportunidad para modernizar el manejo de superficies deportivas y promover procesos de innovación tecnológica vinculados al sector agropecuario. La disponibilidad de dispositivos electrónicos de bajo costo y el avance de las tecnologías de comunicación facilitan el desarrollo de soluciones adaptadas a las necesidades locales.

No obstante, la propuesta planteada presenta algunas limitaciones derivadas de la naturaleza documental de la investigación. Al tratarse de una propuesta tecnológica conceptual, no fue posible evaluar experimentalmente el comportamiento del

sistema ni cuantificar indicadores relacionados con el ahorro de agua, costos operativos o mejoras en la calidad del césped. Por esta razón, futuras investigaciones deberán contemplar procesos de implementación y validación en condiciones reales que permitan determinar la efectividad de la tecnología propuesta.

En términos generales, los hallazgos obtenidos evidencian que la integración de sensores IoT y sistemas de riego automatizado constituye una alternativa prometedora para optimizar la producción sostenible de *Cynodon dactylon* en superficies deportivas. La combinación de herramientas de monitoreo, automatización y análisis de datos ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia operativa, fortalecer la sostenibilidad ambiental y contribuir a la modernización de los sistemas de mantenimiento de áreas deportivas.

## Conclusiones

*Cynodon dactylon* constituye una de las especies más utilizadas en superficies deportivas debido a su capacidad de adaptación, resistencia al tránsito y rápida recuperación, características que la convierten en una alternativa adecuada para el establecimiento y mantenimiento de canchas deportivas en condiciones climáticas tropicales.

La revisión bibliográfica permitió identificar que la disponibilidad de agua es uno de los factores que mayor influencia ejerce sobre la calidad y desarrollo del césped bermuda, por lo que la optimización de las prácticas de riego representa un aspecto fundamental para garantizar la sostenibilidad y eficiencia de su manejo.

La agricultura de precisión y las tecnologías basadas en Internet de las Cosas ofrecen herramientas que facilitan el monitoreo de variables ambientales y edáficas en tiempo real, permitiendo mejorar la toma de decisiones relacionadas con el suministro de agua y el mantenimiento de la cobertura vegetal.

La propuesta tecnológica formulada integra sensores de humedad del suelo, dispositivos de comunicación y sistemas automatizados de control del riego, constituyendo una alternativa viable para futuras implementaciones orientadas a mejorar la gestión hídrica y las condiciones de crecimiento de *Cynodon dactylon* en superficies deportivas.

Finalmente, se concluye que la incorporación de tecnologías inteligentes en el manejo de céspedes deportivos puede contribuir a fortalecer la sostenibilidad ambiental, optimizar el uso del recurso hídrico y promover procesos de innovación tecnológica aplicados al sector agropecuario. Se recomienda que futuras investigaciones desarrollen pruebas experimentales en campo para evaluar el desempeño técnico y económico de la propuesta planteada.

## Bibliografía

- Antony, A. P., Leith, K., Jolley, C., Lu, J., & Sweeney, D. J. (2020). A review of practice and implementation of the Internet of Things (IoT) for smallholder agriculture. *Sustainability*, 12(9), 3750. <https://doi.org/10.3390/su12093750>
- Beard, J. B. (2002). *Turf management for golf courses* (2nd ed.). Ann Arbor Press.
- Burton, G. W. (1964). Tifgreen bermudagrass. *Crop Science*, 4(1), 107.
- Carrow, R. N., Waddington, D. V., & Rieke, P. E. (2001). *Turfgrass soil fertility and chemical problems: Assessment and management*. John Wiley & Sons.
- Christians, N. E., Patton, A. J., & Law, Q. D. (2016). *Fundamentals of turfgrass management* (5th ed.). Wiley.
- Fry, J., & Huang, B. (2004). *Applied turfgrass science and physiology*. John Wiley & Sons.
- García, L., Parra, L., Jiménez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. *Sensors*, 20(4), 1042. <https://doi.org/10.3390/s20041042>
- Huang, B. (2006). *Plant-environment interactions in turfgrass systems*. Springer.
- Li, W. (2020). Review of sensor network-based irrigation systems using IoT and remote sensing. *Advances in Meteorology*, 2020, 8396164. <https://doi.org/10.1155/2020/8396164>
- Navarro, E., Costa, N., & Pereira, A. (2020). A systematic review of IoT solutions for smart farming. *Sensors*, 20(15), 4231. <https://doi.org/10.3390/s20154231>
- Pannell, D. J., Griffin, T., Ferraro, P., Ribaudo, M., & Walter, C. (2014). Sustainable intensification in agriculture. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 58(1), 1–17.
- Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, 67, 1–85.
- Qin, Y., & Zhang, X. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>
- Stowell, L. J., Gelernter, W., Johnson, M. E., Brown, C. D., & Kopec, D. M. (2005). Turfgrass growth and quality responses to irrigation management. *Crop Science*, 45(6), 2511–2520.
- Trenholm, L. E., Unruh, J. B., & Cisar, J. L. (2012). *Warm-season turfgrass management*. University Press of Florida.
- Turgeon, A. J. (2012). *Turfgrass management* (9th ed.). Pearson Education.
- United States Golf Association. (2018). *Recommendations for a method of putting green construction*. USGA.
- Food and Agriculture Organization. (2017). *Water for sustainable food and agriculture*. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture*. FAO.
- Kumar, S. V., Singh, C. D., & Upendar, K. (2020). Review on IoT based precision irrigation system in agriculture. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(45), 15–26. <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i4531156>
- Patton, A. J., Richardson, M. D., & Karcher, D. E. (2017). Turfgrass establishment and management practices. *Crop Science*, 57(6), 2919–2934.
- Bell, G. E., Martin, D. L., Wiese, S. G., Dobson, D. D., Smith, M. W., Stone, M. L., & Solie, J. B. (2000). Vehicle-mounted optical sensing: An objective means for evaluating turf quality. *Crop Science*, 40(5), 1488–1495.

- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436.
- Evans, R. G., & Sadler, E. J. (2008). Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research*, 44(7), 1–15.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
- Khanna, M., & Kaur, P. (2019). Internet of Things (IoT), applications and challenges. *Procedia Computer Science*, 132, 321–326.
- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019, 1–11.
- Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26.
- Elshafie, A. H., Al-Muqdad, S. W., & Al-Rousan, M. A. (2015). Automated irrigation systems for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 157, 1–10.
- Da Silva, J. M., & Teixeira, E. I. (2018). Smart irrigation technologies for sustainable water management. *Agricultural Engineering International*, 20(4), 123–134.

**Cómo citar:** Parrales Villacreses, S. M., Cruz Lucas, G. I., Marcillo Valverde, J. E., & Villacreses Pincay, O. D. (2026). Agricultura de precisión aplicada a la producción sostenible de césped bermuda (*Cynodon dactylon*): propuesta tecnológica basada en sensores IoT para la optimización del riego en superficies deportivas. *REVISTA ALCANCE*, 9(1), 175–185. <https://doi.org/10.47230/ra.v9i1.152>