

Artículo de investigación

Sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa

Smart irrigation system for the maintenance of green areas in an educational institution.



Daniel Armando Jaramillo Chamba
Washington Virgilio Panchana Gonzalez
Angel Yoel Cumbicos Calva
Nevison Eduardo Escudero Molina

✉ <https://orcid.org/0000-0002-7695-2628>
✉ <https://orcid.org/0009-0002-8997-6263>
✉ <https://orcid.org/0009-0005-6758-8907>
✉ <https://orcid.org/0009-0002-1204-920X>

Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones | La Libertad - Ecuador
| CP 240350

✉ djaramillo@upse.edu.ec

<https://doi.org/10.26423/rctu.v10i2.740>
Páginas: 50- 63

Resumen

En este estudio se evaluó la efectividad de un sistema de riego inteligente en comparación con un sistema de riego convencional en el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa local. Se utilizó un diseño experimental que permita comparar el crecimiento del césped versus la maleza programando frecuencias de riego durante los meses de junio a octubre. Los resultados indican que el sistema de riego inteligente fue más efectivo en el mantenimiento de áreas verdes en comparación con el sistema de riego convencional. Se concluye que el uso de la automatización en un sistema de riego puede mejorar el crecimiento del césped y reducir la presencia de maleza en áreas verdes en una institución educativa, lo que puede llevar a un uso más eficiente del agua y una reducción en los costos de mantenimiento. Este estudio puede tener implicaciones importantes para la gestión de áreas verdes en instituciones educativas y otros espacios públicos.

Palabras clave: Riego inteligente, eficiencia hídrica, mantenimiento de áreas verdes, automatización.

Abstract

In this study, the effectiveness of a smart irrigation system was evaluated compared to a conventional irrigation system in maintaining green areas in an educational institution. An experimental design with two treatments and four replications was used during the months of June to October. The results indicate that the smart irrigation system was more effective in maintaining green areas compared to the conventional irrigation system. It is concluded that the use of automation in an irrigation system can improve grass growth and reduce weed presence in green areas in an educational institution, which can lead to more efficient water use and a reduction in maintenance costs. This study may have important implications for the management of green areas in educational institutions and other public spaces.

Keywords: Smart irrigation, water efficiency, maintenance of green areas, automation..

Recepción: 15/04/2023 | Aprobación: 13/12/2023 | Publicación: 22/12/2023

UPSE • INCYT • La Libertad, Ecuador • <https://incyt.upse.edu.ec> •
Revista Científica y Tecnológica UPSE • e-ISSN: 1390-7697 • ISSN: 1390-7638 • Vol.10 N°2 • Edición Diciembre 2023

1. Introducción

En un mundo donde la tecnología avanza a pasos agigantados, es esencial que la innovación se entremezcle con la naturaleza para lograr un equilibrio sostenible. La tecnología y el entorno natural juegan un papel crucial en este panorama [1]. Las áreas verdes en instituciones educativas son más que simples adornos paisajísticos, son espacios utilizados para el aprendizaje, el esparcimiento y de conexión de los estudiantes y personal con la naturaleza. Sin embargo, a menudo se enfrentan a desafíos de mantenimiento que pueden socavar su valor educativo y estético. La gestión del riego es uno de los aspectos críticos que a menudo se pasan por alto y que, en última instancia, afecta la salud de estas áreas verdes. Es aquí donde la tecnología puede desempeñar un papel transformador.

Para comprender completamente la relevancia y el impacto de un sistema de riego inteligente en una institución educativa, se debe considerar los desafíos que enfrentan las áreas verdes en estos entornos. Las condiciones climáticas, la variabilidad en las necesidades de riego de diferentes plantas y la disponibilidad limitada de recursos humanos para el mantenimiento son solo algunos de los factores que complican la gestión de estas áreas. En este sentido la institución educativa a intervenir tiene amplios espacios verdes cuya tarea de riego es difícil y costosa al realizarse de manera convencional. Los sistemas de riego tradicionales a menudo requieren una intervención manual constante, y el riego en exceso o la falta de riego pueden dañar las plantas y agotar los recursos de agua [2]. Además, la programación del riego debe ser precisa y adaptable a las condiciones climáticas cambiantes.

También es importante destacar el aspecto educativo de estas áreas verdes ya que sirven como aulas abiertas donde los estudiantes pueden también pueden recibir su clase en contacto con la naturaleza. La gestión ineficiente del riego no solo compromete el crecimiento y salud de las plantas, sino que también perjudica la calidad de la experiencia educativa que una institución puede ofrecer [3].

Ante estos desafíos, la implementación de un sistema de riego inteligente emerge como una solución revolucionaria. Este sistema aprovecha las capacidades de la tecnología moderna para garantizar que las áreas

verdes de una institución educativa reciban el agua necesaria de manera eficiente, sin desperdicio y con una mínima intervención humana.

El sistema de riego utiliza sensores de humedad que monitorean constantemente el nivel del suelo, también utilizan algoritmos avanzados para optimizar la programación de riego en función de las necesidades específicas del área verde y determinar la cantidad y frecuencia del riego, lo que permite un uso más eficiente del agua y una reducción en los costos de mantenimiento, además, los responsables del mantenimiento pueden supervisar y controlar el sistema de riego a través de una reprogramación del sistema. Esto facilita la gestión y permite realizar ajustes de ser necesario.

El sistema de riego inteligente no solo ahorra tiempo y mano de obra, sino que también conserva agua al evitar el riego excesivo o innecesario. Esto no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino que también reduce los costos, aunque la inversión inicial en un sistema de riego inteligente puede ser significativa, a largo plazo, puede generar ahorros sustanciales en costos de agua y mano de obra, estos recursos ahorrados pueden reinvertirse en mejoras educativas y en el mantenimiento general de la institución. La implementación de un sistema de riego inteligente en una institución educativa no solo tiene ventajas prácticas, sino que también ofrece beneficios estéticos ya que las áreas verdes bien cuidadas mejoran la imagen de una institución educativa, un sistema de riego inteligente asegura que las plantas se mantengan saludables y exuberantes, lo que a su vez contribuye a un entorno más agradable y acogedor [4]. Se tiene un beneficio ambiental significativo como el ahorro del agua demostrando un compromiso con la conservación de recursos hídricos y puede servir como ejemplo de prácticas sostenibles para la comunidad escolar y la comunidad en general.

La implementación de un sistema de riego inteligente en una institución educativa no solo es una inversión en la gestión eficiente de áreas verdes, sino también una declaración de compromiso con la sostenibilidad y la educación ambiental. Este enfoque innovador combina la tecnología moderna con la naturaleza, creando un entorno en el que los estudiantes pueden aprender

sobre la importancia de conservar recursos, promover prácticas sostenibles y vivir en armonía con el medio ambiente.

A medida que se avanza hacia un futuro donde la tecnología y la conciencia ambiental son cada vez más importantes, la implementación de sistemas de riego inteligente se presenta como una estrategia inteligente y visionaria [5]. No solo mejora la calidad de vida en el ambiente educativo, sino que también prepara a las futuras generaciones para enfrentar los desafíos ambientales con ingenio y capacidad de adaptación, por lo que se puede transformar el verde en algo más que un adorno paisajístico a una fuente de aprendizaje y sostenibilidad.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de un sistema de riego inteligente para el mantenimiento de áreas verdes en una institución educativa en comparación con un sistema de riego convencional. Se espera que el sistema de riego inteligente mejore el crecimiento del césped y reduzca la presencia de maleza en comparación con el sistema de riego convencional

2. Materiales y métodos

Se aplicó una metodología de investigación mixta que consiste en la recopilación y el análisis de datos, tanto cuantitativos como cualitativos para proporcionar una comprensión más completa [6]. A continuación, en la Figura 1 se muestran los pasos seguidos para el diseño e implementación del sistema de riego inteligente y la evaluación de su eficacia en la institución educativa.

Se identificó el problema en la Unidad Educativa Santa Teresita en la ciudad de La Libertad de la provincia de Santa Elena, con respecto a desafíos en el riego de sus amplios espacios verdes, lo que resulta costoso y complicado mediante métodos convencionales, el sistema tradicional de riego requiere la intervención manual de un empleado de mantenimiento en el que deja el riego constante por varias horas y otros días en cambio no se realiza esta tarea, esta actividad manual puede causar daños a las plantas ya que se puede dar riego excesivo o insuficiente [7], en esta etapa se seleccionó dos áreas verdes como muestra que requerirán el sistema de riego inteligente y se mapeó su extensión, el tipo de césped, se evaluó la calidad del suelo para determinar su capacidad de retención de agua y se determinó la disponibilidad de fuentes de agua y su capacidad para satisfacer las demanda del sistema.

Culminada estas etapas se pasa al diseño del sistema de riego inteligente para lo cual se estableció la ubicación óptima de sensores de humedad del suelo para una cobertura adecuada, la conectividad con el microcontrolador y se planificó la disposición de las zonas de riego y se determinó la cantidad de aspersores y goteadores necesarios [8]. Una vez instalado, el microcontrolador utiliza un algoritmo de control para determinar la frecuencia y duración del riego en función de la humedad del suelo y riega automáticamente las áreas verdes, según lo determinado por el algoritmo; para el sistema de riego convencional se programó un temporizador para regar las áreas verdes todos los días a las 6 a.m. durante 10 minutos.

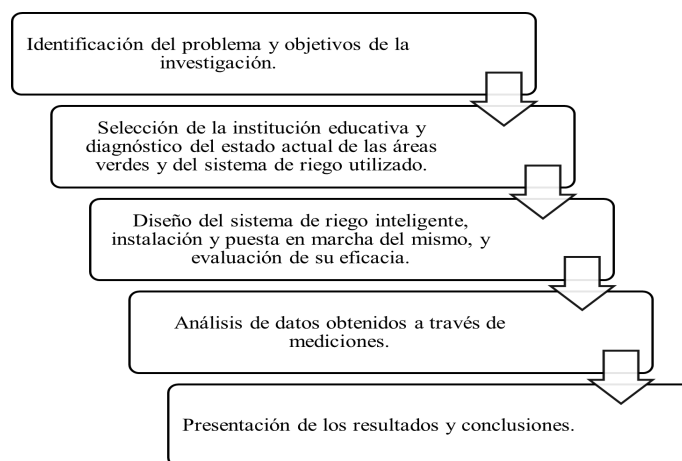


Figura 1: Metodología de investigación

La instalación del sistema de riego inteligente y del convencional se realizó siguiendo las pautas del diseño y se tuvo que realizar pruebas para asegurarse de que los sistemas estén completamente operativos. Además, se calibró los sensores de humedad del suelo para que proporcionen datos precisos. En el microcontrolador también se configuró alarmas para prevenir sobre posibles problemas en el sistema.

Para la etapa final con respecto al análisis de datos y presentación de resultados previamente se debe tener en cuenta las variables a analizar, se tiene la variable independiente que fue el sistema de riego (convencional vs. inteligente), las variables dependientes fueron la altura del césped y la presencia de maleza. Se midieron estas variables cada dos semanas durante los meses de junio a octubre, estas mediciones se realizaron de forma manual y se fueron registrando en una planilla. Se utilizó un análisis de varianza de medidas repetidas para comparar la altura del césped y la presencia de maleza en las áreas verdes con los dos sistemas de riego. Se realizó una prueba de Tukey para detectar las diferencias significativas entre las medias. Se utilizó un nivel de significancia de $p < 0,05$, con este análisis se determina si había diferencias significativas en la altura del césped y la presencia de maleza entre los dos sistemas de riego [9].

2.1. Materiales: Arduino

El Arduino Uno es una placa electrónica de prototipado diseñada para ser fácil de usar y programar. Es compatible con todo el ecosistema de hardware y software de Arduino y se basa en el microcontrolador ATmega328P de 8 bits de Atmel. El Arduino Uno tiene 14 pines digitales de entrada / salida, 6 de los cuales se pueden usar como salidas PWM, 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un botón de reinicio. [10]

Además, el Arduino Uno cuenta con una memoria flash de 32 KB (de los cuales 0,5 KB se utilizan para el bootloader), SRAM de 2 KB y EEPROM de 1 KB. Puede funcionar con una fuente de alimentación externa de 7 a 20 voltios o mediante USB. La placa tiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o alimente con una fuente de alimentación externa para empezar.



Figura 2: Arduino Uno R3. Fuente: [11]

2.2. Sensor de humedad capacitivo V1.2

El sensor de humedad capacitivo V1.2 es un dispositivo electrónico que permite medir la humedad presente en el suelo utilizando el principio de capacitancia entre electrodos. A diferencia de otros modelos de sensores de humedad, este utiliza capacitores en lugar de resistencias, lo que prolonga su vida útil y ofrece una mayor precisión en las mediciones.

Este sensor cuenta con una capa de protección anticorrosión que le brinda una mayor durabilidad y lo hace resistente a las condiciones climáticas adversas. Además, es compatible con diferentes plataformas como Arduino, PIC, ESP8266/NodeMCU/NodeMCU 32, lo que lo hace versátil y fácil de integrar en diferentes proyectos electrónicos. La salida de este sensor es analógica, con un rango de voltaje de 0V a 5V, lo que permite una fácil lectura por parte de la plataforma de control. Su voltaje de alimentación oscila entre 3.3V y 5V DC, con una corriente de operación de 5mA. [12].



Figura 3: Sensor de humedad de suelo capacitivo V1.2. Fuente: [13]

2.3. Sensor de temperatura DS18B20

El sensor de temperatura es un dispositivo electrónico que permite medir la temperatura en un ambiente o en un objeto en particular. Existen diferentes tipos de sensores de temperatura, pero en general, todos funcionan midiendo un cambio en alguna propiedad física que varía con la temperatura, como la resistencia eléctrica, el voltaje o la frecuencia de una señal. Estos sensores son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, como el control de procesos industriales, la medición de la temperatura en el cuerpo humano, la medición de la temperatura en motores y componentes electrónicos, entre otros. [14]

Cabe destacar que el sensor DS18B20 es muy popular debido a su alta precisión y resolución programable, así como también a su fácil integración con otros dispositivos gracias al protocolo de comunicación 1-Wire. Además, su amplio rango de temperatura de medición lo hace útil en una variedad de aplicaciones, desde mediciones en ambientes fríos hasta mediciones en entornos industriales de alta temperatura.

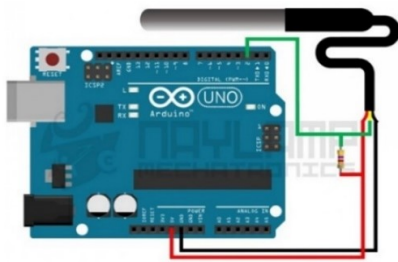


Figura 4: Sensor de temperatura DS18B20. Fuente: [15]

2.4. NodeMCU v2 ESP8266

El NodeMCU v2 ESP8266 es un microcontrolador de bajo costo basado en el chip ESP8266, que incluye un procesador Tensilica L106 de 32 bits y una antena Wi-Fi integrada. Es una placa muy popular para proyectos de IoT debido a su capacidad para conectarse a Internet y a otras redes inalámbricas.

La placa cuenta con 11 pines de entradas/salidas digitales, 1 entrada analógica, soporte para comunicación UART, I2C, SPI, conexión micro-USB para alimentación y programación, y un botón de reinicio. Además, incluye 4MB de memoria flash

para almacenamiento de programas y datos además es compatible con el entorno de desarrollo de Arduino, lo que permite programarlo fácilmente usando el lenguaje de programación de Arduino y sus bibliotecas. Además, cuenta con una amplia comunidad de usuarios y desarrolladores que ofrecen soporte y documentación para su uso. [16].

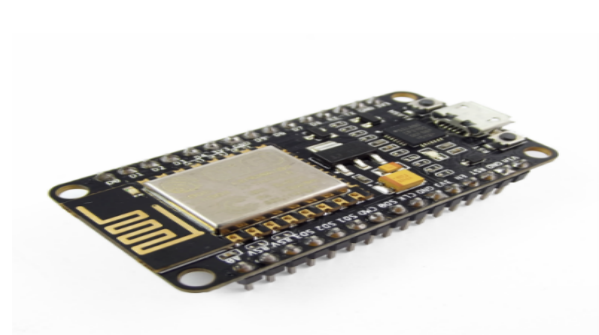


Figura 5. NodeMCU v2 ESP8266. Fuente: [17]

2.5. Módulo reloj de tiempo real RTC DS3231

El módulo de reloj de tiempo real RTC DS3231 es un dispositivo compacto y preciso utilizado para mantener un registro de la fecha y la hora actuales. Utiliza un cristal de cuarzo para lograr una precisión de tiempo de hasta ± 2 partes por millón (ppm) y cuenta con una batería de respaldo que mantiene la hora y la fecha en caso de una pérdida de alimentación.

Este módulo se comunica a través de la interfaz de bus I2C y es compatible con diversos microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi, entre otros. Además, cuenta con una alarma programable y una memoria de 56 bytes para almacenar datos adicionales. [18].

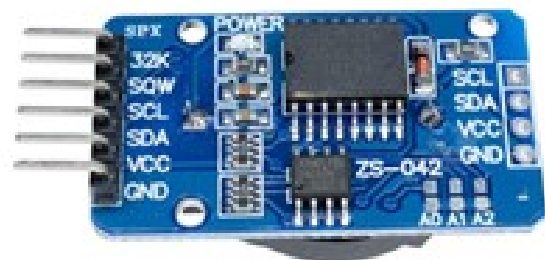


Figura 6. Módulo reloj de tiempo real RTC DS3231. Fuente: [19]

2.6. Módulo Relé 4 Canales

El Módulo Relé 4 Canales es un dispositivo que permite controlar cargas eléctricas mediante la activación de relés, los cuales actúan como interruptores controlados electrónicamente. Cada canal del módulo consta de un relé y un LED indicador de estado. Este dispositivo es ampliamente utilizado en proyectos de automatización y control, así como en aplicaciones de domótica. [20]

Este módulo es compatible con diferentes plataformas de desarrollo, como Arduino, Raspberry Pi y otras placas similares.



Figura 7. Módulo Relé 4 Canales. Fuente: [21]

2.7. Electroválvula plástica con solenoide

Una electroválvula plástica con solenoide es un dispositivo que utiliza un solenoide para abrir y cerrar un orificio en una tubería o conducto para permitir o detener el flujo de líquidos o gases. Se compone de un cuerpo de plástico, un solenoide y un conjunto de válvula. Estas electroválvulas son comúnmente utilizadas en aplicaciones de control de fluidos en la industria alimentaria, farmacéutica, agrícola y en sistemas de riego. [22]

El solenoide es una parte esencial de la electroválvula ya que es responsable de abrir y cerrar la válvula. Cuando se aplica una corriente eléctrica al solenoide, se genera un campo magnético que mueve un núcleo en su interior. Este movimiento activa el mecanismo de la válvula, permitiendo o deteniendo el flujo de líquido o gas. [23]. Las electroválvulas plásticas son ideales para aplicaciones donde se necesita resistencia a la corrosión y a los productos químicos. Además, el uso de materiales plásticos reduce el costo de producción y la necesidad de mantenimiento.



Figura 8. Electroválvula plástica con solenoide. Fuente: [24]

3. Resultados y Discusión

El sistema de riego inteligente diseñado consistió en un controlador de riego automático, un conjunto de sensores de humedad del suelo y de temperatura distribuidos en tres sectores del área verde, y también un conjunto de aspersores de alta eficiencia activados por las electroválvulas. El esquema del sistema de riego inteligente se muestra en la Figura 9.

Se procedió a realizar el diseño del sistema en el software Proteus que permite simular el funcionamiento del circuito utilizando todos los elementos electrónicos antes mencionado; en la Figura 10 se muestra el circuito diseñado con todas las conexiones de los dispositivos, el software también permite modelar el circuito para imprimir y proceder con su armado PCB.

Después de armar el circuito con todos los componentes electrónicos y realizar las conexiones pertinentes se obtiene el sistema implementado el cual se puede visualizar en la Figura 11, el sistema es controlado por el Arduino UNO R3 y el módulo NodeMCU v2 ESP8266. El sensor de humedad capacitivo y el sensor DS18B20 se utilizaron para medir la humedad del suelo y la temperatura respectivamente. El módulo de reloj DS3231 se utiliza para programar la frecuencia de riego, y el módulo relay 4 canales para activar la electroválvula con solenoide 24VAC que controla el flujo de agua al sistema de riego.

En conjunto, este sistema permite una gestión eficiente del riego de las plantas, al mantener un monitoreo constante de la humedad del suelo y ajustar el flujo de agua según sea necesario, este sistema automatizado

ayuda a reducir el consumo de agua y el costo de mantenimiento, al tiempo que mejora el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos.

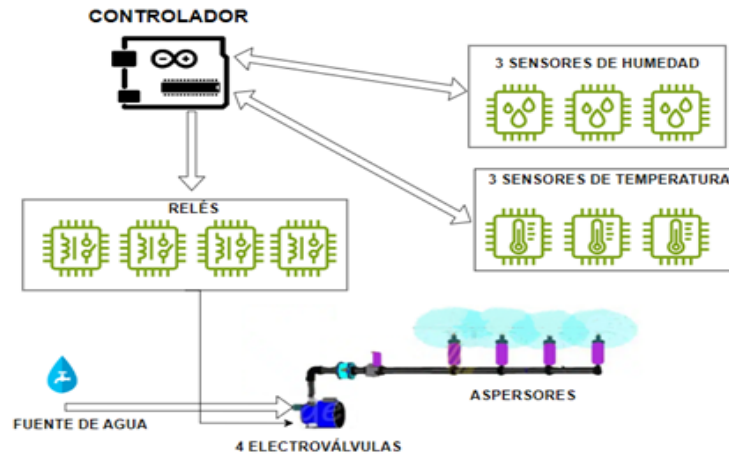


Figura 9: Esquema general del sistema de riego inteligente

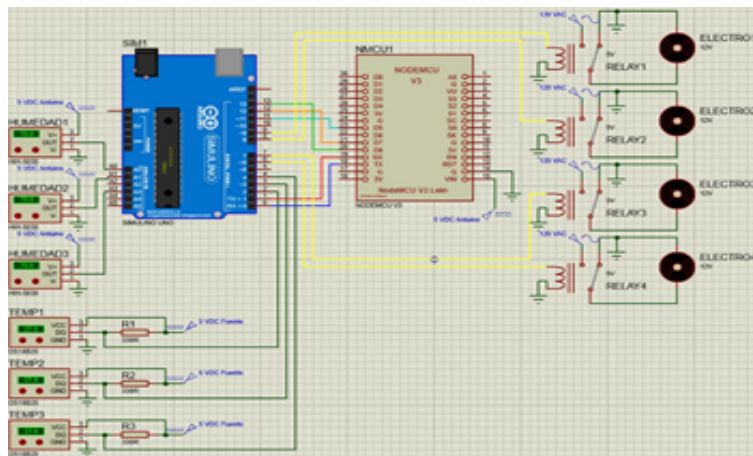


Figura 10: Diseño electrónico del sistema de riego inteligente

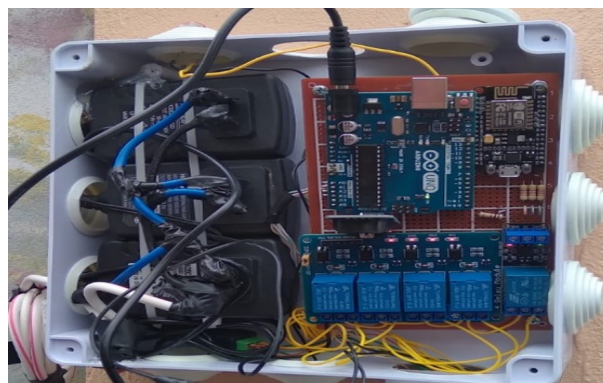


Figura 11: Implementación del sistema de riego inteligente

Los datos se recopilaban en los meses de junio a octubre y se registraron en tablas; para el almacenamiento de las mediciones se utilizó la memoria EEPROM del dispositivo y cada dos semanas se descargaba la información exportando a Excel, estos datos se promediaron para obtener un valor referencial para cada mes. Cabe recalcar que la humedad del suelo se obtuvo directamente del sensor de humedad capacitivo V1.2 y el dato de las precipitaciones (mm), del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). En la Tabla 1 se muestran los datos de humedad del suelo y de precipitaciones durante el periodo de estudio.

Como se puede observar en la Tabla 1, la humedad del suelo disminuyó a medida que avanzaba el periodo de estudio, lo cual indica que las condiciones climáticas fueron más secas. Las precipitaciones también disminuyeron en los meses de septiembre y octubre.

En la Tabla 2 se muestran los datos de consumo de agua y de frecuencia de riego para dos áreas verdes: una con el sistema de riego inteligente y otra con un sistema de riego convencional. Las áreas verdes son de similares características con una superficie aproximada de 25m². Se debe tener en cuenta que solo se cuenta con un medidor de agua por lo que la comparativa de consumo

se realiza con las planillas del consumo del año anterior en el mismo intervalo de tiempo donde ambas áreas verdes fueron regadas por el sistema convencional.

Como se observa en la Tabla 2, el consumo de agua en el año 2023 con la implementación de sistema de riego inteligente fue menor que en el 2022 que sólo se utilizó el sistema de riego convencional. Además, la frecuencia de riego en el área verde con el sistema de riego inteligente fue mayor que en el área verde con el sistema de riego convencional, ya que el sistema inteligente también regaba los fines de semana. Esto indica que el sistema de riego inteligente permitió un uso más eficiente del agua al ajustar la frecuencia y duración del riego en función de la humedad del suelo.

La eficacia del sistema de riego inteligente se evaluó mediante el análisis de la calidad del césped en ambas áreas verdes. Como se mencionó, se realizaron mediciones de la altura del césped y de la presencia de maleza en ambas áreas verdes durante el intervalo de estudio. Para la medición del césped se lo pudo para iniciar con una altura inicial de dos centímetros.

En la Tabla 3 y Figura 12 se muestran los datos de altura del césped y la Tabla 4 y Figura 14 muestra la presencia de maleza en ambas áreas verdes.

Tabla 1: Datos de altura del césped (cm)

sistema de riego	JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Convencional	2	2.5	3.2	3.8	4.2	4.9	5.4	5.9	6.5	7.2
Inteligente	2	2.8	3.5	4.3	4.8	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1

Tabla 2: Datos de humedad del suelo y precipitaciones durante el periodo de estudio

Mes	Humedad del suelo (%)	Precipitaciones (mm)
Junio	24.3	87.2
Julio	22.1	109.8
Agosto	23.7	82.5
Septiembre	20.5	43.6
Octubre	19.2	26.3

Tabla 3: Datos de consumo de agua y frecuencia de riego para dos áreas verdes

Área verde	Sistema de riego	Consumo de agua (L)	Frecuencia de riego (días)
2022	convencional	86 250	5
2023	inteligente	57 900	7

La Figura 13 muestra claramente un mejor crecimiento del césped regado por el sistema inteligente creciendo aproximadamente un centímetro más.

Para la medición de la presencia de maleza primero se realizó una limpieza total de la maleza de forma manual sin utilizar ningún herbicida por lo que se inicia con una presencia del 0 % de maleza, la recolección de datos se realizó de forma visual identificando la aparición de nuevas plantas que no son parte del jardín y que se consideran dañinas para el crecimiento del césped, para este dato se suma el área aproximada cubierta

por maleza dividida para el área total de estudio, por ejemplo para el sistema inteligente la 2da semana se observa algunas plantas que han aparecido y cubren aproximadamente 0.4m² por lo tanto el porcentaje de maleza que ha aparecido es:

En la Figura 13 se puede observar cómo la presencia de la maleza fue mayor en el área con el sistema convencional cubriendo un 22,3 % de la superficie utilizada, sin embargo, este porcentaje se lo ha logrado reducir considerablemente a 12,5 % con la utilización del sistema inteligente.

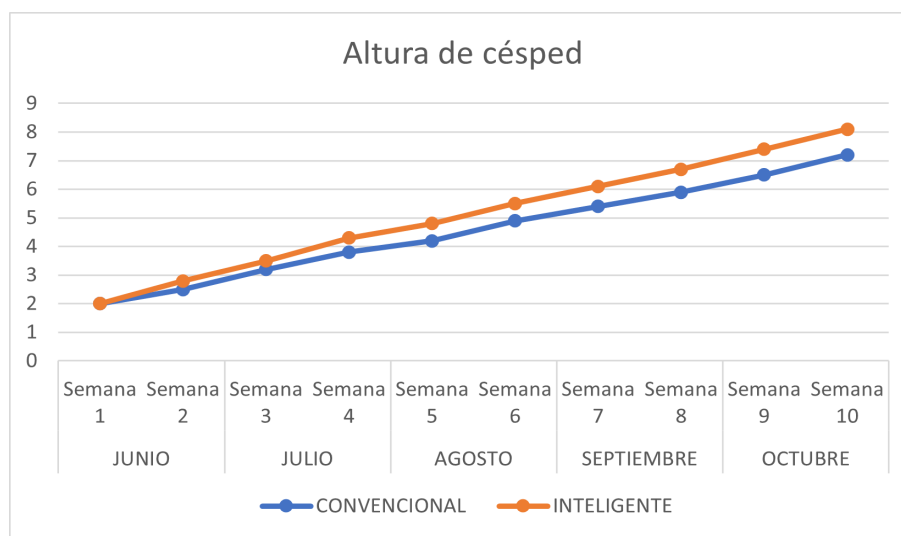


Figura 12: Comportamiento del crecimiento del césped de los dos sistemas.

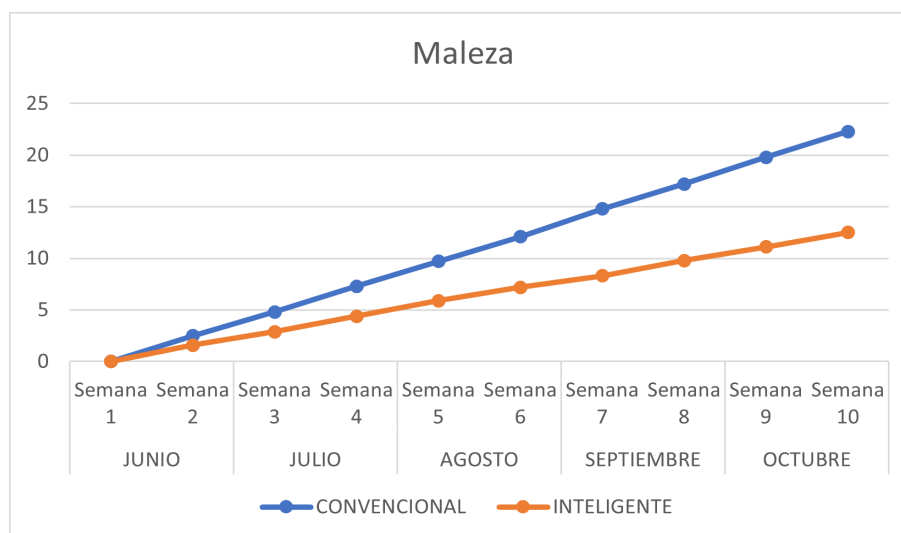


Figura 13: Comportamiento de la presencia de maleza.

Estos resultados se pueden comprobar utilizando el análisis de varianza, primero se calcula la suma de cuadrados total (SCT), la suma de cuadrados entre

grupos (SCG) y la suma de cuadrados dentro de grupos (SCD). Luego, se calcula los grados de libertad (gl) y los correspondientes cuadrados medios (CM) [25].

$$Porcentajedemaleza = \frac{Porcentajedemaleza}{AreaTotal} \times 100\% = \frac{0,4m^2}{25m^2} \times 100\% = 1,6$$

Tabla 4: Datos de altura del césped (cm)

sistema de riego	JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Convencional	0	2.5	4.8	7.3	9.7	12.1	14.8	17.2	19.8	22.3
Inteligente	0	1.6	2.9	4.4	5.9	7.2	8.3	9.8	11.1	12.5

Para la altura del césped:

$$SCT. = ((7,2 - 7,65)^2 + (8,1 - 7,65)^2) = 0,6625$$

$$SCG = \frac{(7,2 - 7,65)^2}{1} + \frac{(8,1 - 7,65)^2}{1} = 0,485$$

$$SCD = \frac{((7,2 - 7,35)^2 + (7,2 - 7,55)^2 + (8,1 - 7,95)^2 + (8,1 - 8,25)^2)}{4} = 0,1775$$

$$glG = 1$$

$$glD = 4 * (2 - 1) = 4$$

$$CMG = \frac{SCG}{glG} = 0,485$$

$$CMD = \frac{SCD}{glD} = 0,0444$$

$$F = \frac{CMG}{CMD} = 10,91$$

Para la presencia de maleza:

$$SCT. = ((22,3 - 17,4)^2 + (12,5 - 17,4)^2) = 67,45$$

$$SCG = \frac{(22,3 - 17,4)^2}{1} + \frac{(12,5 - 17,4)^2}{1} = 44,8$$

$$SCD = \frac{(22,3 - 20,9)^2 + (22,3 - 21,5)^2 + (12,5 - 15,1)^2 + (12,5 - 13,7)^2}{4} = 22,65$$

$$glG = 1$$

$$glD = 4 * (2 - 1) = 4$$

$$CMG = \frac{SCG}{glG} = 44,8$$

$$CMD = \frac{SCD}{glD} = 5,6625$$

$$F = \frac{CMG}{CMD} = 7,91$$

Para la altura del césped:

$$Diferencia_{medias} = 0,9$$

$$Intervalo_{critico} = 2,77 * \sqrt{\frac{0,0444}{2}} = 0,532$$

Para la presencia de maleza:

$$Diferencia_{medias} = 9,9$$

$$Intervalo_{critico} = 2,77 * \sqrt{\frac{5,6625}{2}} = 2,312$$

Luego, se realiza la prueba de Tukey para comparar las medias entre los grupos. El nivel de significancia es $p < 0,05$

La diferencia de medias es mayor que el intervalo crítico, por lo que la diferencia es significativa ($p < 0,05$).

La diferencia de medias es mayor que el intervalo crítico, por lo que la diferencia es significativa ($p < 0,05$).

Por tanto, la altura del césped fue significativamente mayor en el área verde con el sistema de riego inteligente en comparación con el sistema de riego

convencional ($p < 0,05$). Además, la presencia de maleza fue significativamente menor en el área verde con el sistema de riego inteligente en comparación con el sistema de riego convencional ($p < 0,05$).

Estos resultados sugieren que el sistema de riego inteligente tiene un efecto positivo en el crecimiento del césped y en la reducción de la presencia de maleza. Para la implementación se ha utilizado una variedad de componentes electrónicos para la construcción de un sistema de riego inteligente. En la Tabla 5 se muestran los componentes utilizados, así como su cantidad, precio unitario y el total.

Los componentes más costosos son las cuatro electroválvulas con solenoide de 24VAC, que tienen un costo total de \$184,00. Estos componentes son esenciales para el sistema de riego automatizado, ya que controlan el flujo de agua a través del sistema. Los sensores de humedad capacitivos y los sensores DS18B20 son componentes importantes para medir la humedad del suelo y la temperatura del agua, y tienen un costo total de \$15.00 y \$12.00, respectivamente. Estos sensores son fundamentales para garantizar que el sistema de riego funcione de manera eficiente y se ajuste a las necesidades específicas de las plantas.

Los otros componentes, como el Arduino UNO R3, el módulo NodeMCU v2 ESP8266, el módulo reloj DS3231 y el módulo relay de 4 canales, tienen costos unitarios más bajos, pero todavía son necesarios para el funcionamiento del sistema de riego. En conjunto, estos componentes tienen un costo total de \$36,00.

Es importante tener en cuenta que el presupuesto presentado es una estimación aproximada y que los costos reales pueden variar según el proveedor y la ubicación geográfica. Además, es posible que se necesiten otros componentes o materiales que no se incluyen en este presupuesto, como cables, conectores, baterías, entre otros.

En general, el presupuesto proporciona una idea de los costos asociados con el proyecto y permite una planificación más precisa y eficiente de los recursos necesarios. Conociendo los costos, se puede ajustar el diseño del proyecto para que se ajuste al presupuesto disponible y se puedan tomar decisiones informadas sobre qué componentes comprar y de qué proveedores.

La implementación del riego inteligente en la institución educativa demostró ser efectiva en la reducción del uso de agua en las áreas verdes. Estos resultados son consistentes con estudios anteriores que

han demostrado que el riego inteligente puede reducir el uso de agua hasta en un 50 %. Además, el aumento en el crecimiento de las áreas verdes sugiere que el riego inteligente permitió un uso más eficiente del agua, lo que a su vez podría tener un impacto positivo en la conservación de recursos hídricos.

Es importante tener en cuenta que el riego inteligente es una tecnología que requiere de una inversión inicial, pero a largo plazo puede generar ahorros significativos en el uso de agua. Además, la implementación del riego inteligente puede tener un impacto positivo en la conservación de recursos hídricos y en la sostenibilidad ambiental de las instituciones educativas.

4. Conclusiones

El sistema de riego inteligente desarrollado mejora significativamente la eficiencia en el uso del agua en el mantenimiento de áreas verdes en esta institución educativa. Este sistema ajusta el riego en función de la humedad del suelo, promoviendo un crecimiento saludable del césped y reduciendo la competencia de la maleza. Además, es fácil de usar, lo que lo convierte en una opción ideal para instituciones educativas y espacios públicos sin necesidad de capacitación técnica extensa, la implementación debe ser planificada cuidadosamente, eligiendo el equipamiento adecuado.

Con estos resultados, futuras investigaciones podrían explorar la integración de sensores adicionales para una precisión aún mayor. En conjunto, el sistema de riego inteligente representa una solución innovadora y sostenible para el cuidado de áreas verdes en instituciones educativas y espacios públicos lo que contribuye a fomentar prácticas sostenibles y la implementación de soluciones tecnológicas en jardinería y agricultura urbana, promoviendo el cuidado del medio ambiente.

Tabla 5: Presupuesto del proyecto

Artículo	Cantidad	Precio unitario	Total
Arduino UNO R3	1	\$18.00	\$18.00
Sensor de humedad capacitivo	3	\$5.00	\$15.00
Sensor DS18B20	3	\$4.00	\$12.00
Módulo NodeMCU v2 ESP8266	1	\$13.50	\$13.50
Modulo reloj DS3231	1	\$8.00	\$8.00
Módulo relay 4 canales	1	\$8.50	\$8.50
Electroválvula con solenoide 24VAC	4	\$46.00	\$184.00
			\$259.00

5. Financiamiento

Los autores expresan que no ha sido necesario financiamiento para realizar esta obra de investigación.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

7. Referencias

1. TACE, Y.; TABAA, M.; ELFILALI, S.; LEGHRIS, C.; BENSAG, H. y RENAULT, E. "Sistema de riego inteligente basado en IoT y aprendizaje automático". *presentado en la Conferencia Internacional sobre Tecnologías y Materiales para la Energía Renovable, el Medio Ambiente y la Sostenibilidad (TMREES22-Fr, EURACA), Metz-Grand Est, Francia* (2022).
2. LERMA SÁNCHEZ, Sara. Sistema de riego inteligente para jardines verticales (2020).
3. HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Carlo. Sistema de riego inteligente de bajo coste (2019).
4. CARRASCO MEDINA, Ebner Smith; YGNACIO CORAL, Marco Antonio. Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado. *ReCIBE, Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica* **11**, C1-19 (2022).
5. VILLEGAS VALENCIA, Yenier; CASADIEGO SEPÚLVEDA, Yulian. Implementación de sensores en los sistemas de riego automatizado. *Documentos de Trabajo ECAPMA* **3** (2019).
6. TORRES, R. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Mexicana. México* (2019).
7. ZAPATERA RODRÍGUEZ, Paula. Sistema de riego automatizado para pequeñas instalaciones. (2022).
8. ZAVALA PACHECO, Cesar. Monitoreo inteligente de invernadero a escala basado en el Internet de las Cosas (IOT). *JÓVENES EN LA CIENCIA* **21**, 1-4 (2023).
9. BORJAS NEGRETE, Alejandro Ismael. Desarrollo de un sistema de riego residencial automatizado. *Difu100ci@, Revista de difusión científica, ingeniería y tecnologías* **15**, 162-167 (2021).
10. HERNÁNDEZ, J. M. "Arduino Uno Rev3", *Arduino*, [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
11. "Arduino Uno R3 Microcontrolador A000066", *Yaesta.com. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://www.yaesta.com/b008grtsv6-arduino-uno-r3microcontrolador-a000066/p>.
12. Naylamp Mechatronics. "Sensor de Humedad de Suelo FC-28," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-de-suelo-fc-28.html> (2017).
13. Naylamp Mechatronics. "Sensor de humedad de suelo capacitivo V1," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://media.naylampmechatronics.com/2205-medium-default/sensor-de-humedad-de-suelo-capacitivo-v1.jpg>.
14. Programar Fácil. DS18B20, sensor de temperatura para Arduino, [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/> (2019).
15. Naylamp Mechatronics. "Sensor digital de temperatura DS18B20," [abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://media.naylampmechatronics.com/upload/stblog/1/46/14/4614large.jpg>.
16. Naylamp Mechatronics. "NodeMCU v2 ESP8266 WiFi Development Board," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>.

17. Naylamp Mechatronics. "NodeMCU v2 ESP8266 WiFi Development Board," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: https://media.naylampmechatronics.com/474-medium_default/nodemcu-v2-esp8266-wifi.jpg.
18. El octavo bit. "Módulo reloj de tiempo real RTC DS3231," *Eloctavobit*, [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://eloctavobit.com/arduino/modulo-reloj-de-tiempo-real-rtc-ds3231/> (2017).
19. El octavo bit. "Módulo reloj de tiempo real RTC DS3231," *Eloctavobit*, [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://eloctavobit.com/wp-content/uploads/2020/12/DS3231-modulo-RTC.jpg> (2020).
20. Dynamo Electronics. "Módulo Relé 4 Canales," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://dynamoelectronics.com/tienda/modulo-rele-4-canales-4-reles-en-1/>.
21. AVElectronics. "Rele4ch," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://i0.wp.com/avelectronics.cc/wp-content/uploads/2018/03/rele4ch-1.jpg?w=500&ssl=1> (2018).
22. SUÁREZ CASTILLO, Darla Denisse. Diseño y fabricación de un sistema de riego ecológico (2018).
23. Altec Dust. "Cómo funcionan las electroválvulas o válvulas solenoides de uso general," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://altecdust.com/como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general/>.
24. La Casa del Riego. "Electroválvula Bermad," [Accedido: abr. 14, 2023]. Disponible en: <https://lacasadelriego.com/wp-content/uploads/2021/09/electrovalvula-bermad.jpg>.
25. LORENZO, Jorge. Estadística Básica: introducción a la prueba y análisis de la varianza (2019).



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite que otros remezclem, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.