

Automatización del sistema de riego en módulos de agricultura urbana mediante el uso de un relé programable tipo TUE-2(A) para el municipio de Pasto.

Autor:

Junior Esteban Meneses Martínez -20451621655

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Programa de Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Universidad Antonio Nariño

Pasto - Nariño

jmeneses42@uan.edu.co

Director

Luis Enrique Arteaga Noguera

luisarteaga@uan.edu.co

Abstract— In the urban agriculture project Terrazas Verdes, the lack of control in the frequency of crop irrigation was recognized as a cause of dehydration, growth deficiency and loss of crop quality, evidencing the need for a low-cost irrigation system that propitiates an adequate development of agriculture within the cities. Therefore, this project was developed aiming at the automation of the irrigation system in urban agriculture modules through the use of a TUE-2(A) programmable relay. As a test crop, 2 modules of 50 lettuce seedlings were used. A quantitative analysis of the amount of lettuces harvested was carried out and a qualitative analysis taking into account the energy consumption, the implementation cost and the energy cost of the irrigation system compared to the benefits offered by the system. As a result, a 20% improvement in production performance was obtained, increase in the average weight of the crop and adequate control of relative humidity, with an automatic irrigation system with a low implementation and energy cost. The proposed system provides an effective mechanism to control irrigation in the cultivation modules and promote the distribution of nutrients to it.

keywords— urban agriculture, irrigation system, programmable relay, automation.

Resumen— En el proyecto de agricultura urbana Terrazas Verdes se reconoció la falta de control en la frecuencia de riego de los cultivos como un causante de deshidratación, deficiencia de crecimiento y pérdida de calidad del cultivo, evidenciando la necesidad de un sistema de riego de bajo costo que propicien un adecuado desarrollo de la agricultura al interior de las ciudades. Por lo cual se desarrolló este proyecto dirigido a automatizar el sistema de riego en módulos de agricultura urbana mediante el uso de un relé programable TUE-2(A). Como cultivo de prueba se usaron 2 módulos de 50 plántulas de lechuga. Se realizó un análisis cuantitativo de la cantidad de lechugas cosechadas y un análisis cualitativo teniendo en cuenta el costo de implementación, el peso de cada planta, la humedad relativa en el cultivo y el costo energético del sistema de riego frente a los beneficios ofrecidos del sistema. Como resultado se obtuvo una mejora del 20% del rendimiento de producción, aumento del peso promedio del cultivo y control adecuado de la humedad relativa, con un sistema de riego automático de bajo costo de implementación y energización. El sistema propuesto proporciona un mecanismo eficaz para controlar el riego en los módulos de cultivo y propiciar la distribución de los nutrientes al mismo.

Palabras clave— agricultura urbana, sistema de riego, relé programable, automatización.

I. INTRODUCCIÓN

Según la Política Nacional Colombiana de Seguridad Alimentaria y Nutricional, la seguridad alimentaria hace referencia al acceso y disponibilidad continua y suficiente de alimentos de manera oportuna y con la calidad y cantidad requerida para todas las personas, para llevar una vida activa y saludable [1].

De acuerdo a la agencia de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, se reportó que Colombia presenta un 8.8% de personas sub alimentadas de la población total, lo cual se traduce en 4.4 millones de personas [2].

Por otra parte, los resultados de la ENSIN 2015 (Encuesta Nacional de Situación Nutricional) evidencian una inseguridad alimentaria en el hogar (INSAH) del 54,2% en los hogares colombianos; cifra que asciende a 61,8% para el departamento de Nariño [3]. Esta situación se ha visto agravada por los efectos de la pandemia del COVID-19, puesto a que, como afirma la subdirectora de Salud Nutricional Elisa Cadena, el COVID-19 afectó la seguridad alimentaria y nutricional de la población, esto acorde a los cambios económicos, sociales, ambientales y de salud lo cuales fueron producto de la pandemia y falta de controles adecuados orientados a su mitigación [4].

La agricultura urbana se ha mostrado como una alternativa para solventar las necesidades alimenticias de las familias y comunidades al interior de las ciudades, siendo esta un sistema de producción de alimentos y plantas aromáticas, medicinales u ornamentales por medio de módulos de cultivo, desarrollando la agricultura en pequeñas superficies al interior de las ciudades o en sus alrededores [5].

En la ciudad de Pasto la alcaldía implementó el programa de agricultura urbana con el objetivo de impulsar la soberanía, sostenibilidad y seguridad alimentaria [6]. Entre los beneficiarios del programa de agricultura urbana se encuentra el proyecto de Terrazas Verdes, en el que se identificó que uno de los mayores inconvenientes en el manejo de los cultivos corresponde a la falta de control en la frecuencia de riego de los módulos de cultivo, provocando la deshidratación de las plantas, deficiencia en el crecimiento y por tanto pérdida en la calidad del cultivo ya que el riego es fundamental en el incremento de la producción de los alimentos y su calidad [7].

La incorporación de la tecnología en los distintos procesos de la agricultura urbana puede propiciar una serie de ventajas como el aumento en la calidad de producción y el aumento de la productividad por el ahorro en costos de electricidad, agua o gas, entre otros, mejorando así los procesos de supervisión, gestión, explotación de los cultivos [8].

En este artículo se presenta el diseño, la implementación y resultados de un sistema de riego automatizado por medio de un relé programable para módulos de cultivo de lechuga, esto como parte del proyecto de tesis del programa de Tecnología en mantenimiento electromecánico industrial, el cual fue desarrollado en el proyecto Terrazas Verdes en el municipio de Pasto.

Como antecedente de este estudio se encuentran las granjas inteligentes del proyecto “Nariño Vive Digital” desarrollado por el ministerio TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) en 2016 [9]. Estas granjas se implementaron en 34 instituciones educativas de 29 municipios del departamento de Nariño. Están compuestas de un sistema automatizado que permite el control y monitoreo remoto del riego por goteo a través de internet. Este proyecto impacta el sistema educativo y el sector agrícola, puesto que permite la apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes, que con el paso del tiempo podrán derivar en otros proyectos innovadores y tecnológicos [10].

II. OBJETIVOS

Como objetivo general del proyecto se planteó automatizar el sistema de riego en módulos de agricultura urbana mediante el uso de un relé programable tipo TUE2(A) para el municipio de Pasto.

A. *Objetivos Específicos:*

- Identificar las variables de control que influyen en el sistema de riego para el cultivo de lechuga.
- Seleccionar los elementos necesarios para la automatización del sistema de riego.
- Construir un sistema de riego para un módulo de cultivo de lechuga.
- Determinar el funcionamiento del sistema de riego y la productividad del módulo de lechuga.

III. MARCO TEÓRICO

Con el fin determinar el funcionamiento del sistema de riego se seleccionó un cultivo de rápida producción, cultivable durante todo el año y con posibilidades de consumo en diferentes edades de maduración de la planta [11], la planta seleccionada es la herbácea de la familia Asteraceae de la especie *Lactuca Sativa* la cual es propia de regiones semitempladas y es comúnmente conocida como Lechuga. En la tabla 1 se encuentra la composición química de la lechuga.

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHUGA
(TOMADA POR CADA 100 GRAMOS DE MATERIA SECA, FUENTE: DIRECCIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA [12]).

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Carbohidratos	20.1 g
Proteínas	8.4 g
Grasas	1.3 g
Calcio	0.4 g
Fosforo	138.9 mg
Vitamina C	125.7 mg
Hierro	7.5 mg

Niacina	1.3 mg
Riboflavina	0.6 mg
Tiamina	0.3 mg
Vitamina A	1155 U.I.
Calorías	18 cal

Algunas de las condiciones a tener en cuenta para el cultivo de este vegetal son [13]:

- Se cultiva en un sustrato rico en nutrientes y de fácil drenaje.
- Se requiere un sustrato con un Ph entre 6 y 7.
- El sustrato debe permanecer húmedo.
- Se puede plantar durante casi todo el año.
- Se cosecha entre los 20 a 65 días desde el plantado.
- El volumen de este líquido recomendado para plantar en maceteros es de 3 lt.
- La profundidad mínima del macetero es de 10 cm.
- La distancia entre una planta y otra en el huerto es de 25 cm.
- La distancia entre líneas de plantación en el huerto es de 30 cm.

Una de las variables más significativas en el cultivo de la lechuga corresponde a la humedad relativa, teniendo sus valores ideales entre el 60% y 70%, por otra parte, la luminosidad solar juega un papel de vital importancia en características como el color, sabor y textura, así como el rendimiento, requiriendo de 12 horas de luz diarias (Montesdeoca Pacheco, 2008).

En producciones en invernadero que son intensivas y continuas, es necesario tecnificar el riego del cultivo, esto por medio de riego por goteo, fertirriego e incluso puede llegar a usarse para el mantenimiento de la humedad, la mecanización del riego. Para decidir si es posible implementar el cultivo en invernadero es necesario reconocer la variedad de lechuga, ya que la Batavia requiere ser cultivada en campo abierto y variedades tales como la verde lisa, romana y crespas tienen la posibilidad de ser cultivadas en invernaderos [14].

Un sistema de riego corresponde a las instalaciones técnicas necesarias para la gestión de las tierras cultivables mediante el riego, el cual cumple la función de realizar la distribución de agua para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, existen diferentes tipos de riego, tales como [15]:

- Riego por superficie o por gravedad: En este tipo de riego el agua se distribuye simultáneamente a medida que avanza el agua por el suelo. Este tipo de riego se subclasifica en riego por surcos, riego por tablones o canteros, riego por fajas, entre otros.
- Riego por aspersión: Este método de riego se centra en proporcionar lluvia focalizada por medio de mecanismos de presurización de agua.
- Riego subterráneo: Es un método donde se humidifica el suelo artificialmente de forma localizada por debajo de la superficie del cultivo.
- Riego localizado: En este riego se suministra el agua en una zona radicular a las plantas de forma localizada por medio de gotas, dentro de la agricultura urbana se destacan:
 - Riego por goteo: El agua se suministra en forma de gotas a la superficie del cultivo por medio de goteros o pequeños orificios.
 - Microaspersión: Es similar al riego por aspersión, pero se ejecuta de forma más localizada y en áreas más pequeñas.

Los sistemas de riego al tratarse de sistemas que permiten la disposición y dispersión del agua para el cultivo, depende directamente de la disponibilidad del recurso hídrico, enfrentando problemas al presentarse la escasez del mismo, motivando el cuidado y conservación del recurso, produciendo la necesidad de implementar métodos de tecnificación en el riego y distribución del agua en los

cultivos, adecuándose a las necesidades de la planta, condiciones agronómicas y ubicación del cultivo, procurando optimizar el uso del agua [16].

Debido a lo anterior la tecnificación del riego y su automatización han tomado fuerza en el desarrollo de la agricultura, esto debido a que ofrece las siguientes ventajas:

- Garantiza las necesidades hídricas del cultivo.
- Permite gestionar el recurso hídrico y su ahorro.
- Disminución de desperdicio de agua por exceso de riego.
- Disminución de costos de agua por exceso de riego.

La automatización del riego es una práctica que ha tomado gran relevancia en la práctica de la agricultura a nivel urbano y rural, para el proyecto campus verde, se propuso un sistema de riego por microaspersión automatizado que cuenta con los componentes:

- Timer programable EXCELITE referencia TUE-2 (A).
- Electrobomba Evans periférica (0.5) 1/2 hp B1me050
- Micro aspersores
- Mangueras de distribución

IV. METODOLOGÍA

Con el fin de desarrollar el proyecto dando cumplimiento a los objetivos planteados, se diferenciaron 4 fases, las cuales requieren de determinados procedimientos, así como se muestra en la tabla 2.

TABLA II
FASES Y PROCEDIMIENTOS.

Fases	Procedimientos
Identificación del problema	Entrevista a productores.
Diseño del prototipo	Análisis de requerimientos. Análisis documental. Plan de trabajo. Diseño agronómico. Caracterización de los componentes del sistema.
Construcción del prototipo	Prototipado del sistema de riego. Montaje de plántulas en los módulos para la realización de pruebas.
Evaluación de resultados	Análisis de resultados. Definición de trabajo futuro.

A. Identificación del problema

Realizar entrevista no estructurada a los productores sobre el cultivo, los procedimientos, la estructura y los requerimientos necesarios al realizar los procesos de agricultura.

B. Diseño del prototipo

- Realizar el análisis de los requerimientos del sistema de riego por medio de la información obtenida en la entrevista no estructurada y reconocimiento del funcionamiento del proyecto Terrazas Verdes.
- Realizar consulta en base de datos sobre proyectos de implementación tecnológica en sistemas de riego, agricultura urbana y las variables que definen el funcionamiento del sistema de riego.
- Planificar junto con los participantes del proyecto Terrazas Verdes los procedimientos a ser llevados a cabo para consolidar el diseño del prototipo, la construcción, la implementación y las pruebas de funcionamiento.
- Realizar el diseño agronómico teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo, el análisis documental y el asesoramiento del ingeniero agrónomo.

- Seleccionar los componentes del sistema de riego de acuerdo a los requerimientos del sistema de riego previamente identificados.

C. Construcción del prototipo

- Realizar el prototipo del sistema del riego integrando los componentes eléctricos del sistema, así como los hidráulicos y programando la unidad de control según los requerimientos de riego obtenidos en el diseño.
- Montar sobre los módulos las plántulas de cultivo para generar los grupos de prueba, destinados a evaluar el comportamiento del sistema de riego automatizado frente al manual.

D. Evaluación de resultados

- Analizar los resultados por medio de variables cuantitativas y cualitativas, tales como cantidad de plantas cosechadas, rendimiento del cultivo, peso promedio de cada grupo de prueba y humedad relativa del sistema.
- Proponer trabajo futuro teniendo en cuenta nuevas necesidades y oportunidades identificadas al finalizar el desarrollo del proyecto.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del proyecto se deben tener en cuenta distintos componentes y etapas, tales como los módulos de cultivo, los componentes eléctricos, montaje del sistema de riego, el grupo de muestra y finalmente la evaluación de resultados.

A. Módulos de cultivo

En el proyecto Terrazas Verdes, al ser un proyecto de agricultura urbana se hace uso de los módulos de cultivo, los cuales hacen referencia a cajones de 2,40 m de largo, por 1,20 m de ancho y profundidad de 0,35 m, los cuales se fabrican con tablas de plástico reciclado. Estos se colocan a una altura de 0.9m del nivel del piso, sobre una cama de guada que la separa del suelo y facilita su manejo. Los módulos se alojan dentro de un invernadero para crear un microambiente adecuado para el desarrollo de los cultivos.

B. Componentes Eléctricos

El invernadero se elabora con una estructura de madera recubierta de plástico translúcido; y se ubica en las terrazas de los hogares. El sustrato empleado para el cultivo es de tierra y cascarilla de arroz.

Para realizar el sistema de riego se usaron los siguientes elementos:

- Relé programable EXCELITE referencia TUE-2 (A), el cual cuenta con un tamaño reducido, propiciando ventajas en su implementación y mantenimiento, además de una excelente relación costo-beneficio en tareas que requieran temporización.
- Electrobomba Evans periférica (0.5) 1/2 hp B1me050 la cual es de bajo costo y satisface las necesidades de caudal para abastecer de agua todos los módulos.
- Micro aspersores que proporcionan un ahorro en consumo de agua y una absorción de la planta más eficaz

C. Montaje del sistema de riego

El montaje del sistema de riego se realizó acorde a las pruebas de irrigación de componente hídrico, determinando el centro de los módulos como la ubicación óptima, esto apoyado por el diseño estructural. El diseño estructural y del sistema de riego se mostrará con mayor detalle en la siguiente sesión.

D. Grupos de prueba

Para la elaboración de los grupos de prueba se usaron 100 plántulas de *Lactuca Sativa* crespita, estas fueron obtenidas en el invernadero del proyecto terrazas verdes, debido a que para su germinación se requiere mayor control de las variables ambientales. Estas plántulas se sembraron en dos módulos distintos, componiendo dos grupos de prueba, un grupo con control de riego por aspersión automatizado y otro con control de riego manual.

E. Evaluación de resultados

Para la evaluación de resultados se usaron los dos grupos de prueba, cada uno con 50 plántulas de *Lactuca Sativa* (lechuga). En el proceso de cosecha se realizaron medidas de humedad relativa cada media hora durante 24 horas, observando la influencia del sistema de riego sobre la misma para ser mantenida en sus valores ideales, estas medidas fueron realizadas con un termohigrómetro digital Htc-1. Al terminar el periodo de cosecha, se evaluarán los resultados de acuerdo al rendimiento de la cosecha, el cual por sugerencia del ingeniero agrónomo del proyecto Terrazas Verdes, se determinará de acuerdo a la sobrevivencia de lechugas obtenidas en cada grupo y al peso promedio de las lechugas por cada grupo.

Con el fin de obtener una visión clara del costo beneficio también se escogieron como variables de evaluación, el costo de los componentes, costo de implementación y costo energético del sistema de riego, estas variables serán comparadas frente al beneficio dado por el rendimiento del cultivo. Para realizar la estimación del costo energético se realizaron distintas lecturas del sistema tales como consumo de corriente con el sistema encendido como apagado, además del consumo de voltaje, esto para determinar el consumo activo y pasivo de potencia del sistema de riego y de acuerdo a las tarifas usadas para el municipio de pasto, determinar el costo energético.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para establecer el problema y proponer una solución se requirió conocer los criterios y experiencias de los participantes del proyecto Terrazas Verdes, se realizó un proceso de entrevista no estructurada con los participantes del proyecto en el proceso de entrevista se reconoció la importancia de controlar la frecuencia de riego con el fin de mejorar el crecimiento y rendimiento del cultivo y particularmente en el cultivo de lechuga el cual fue seleccionado para realizar este proyecto. Teniendo en cuenta la tendencia a la tecnificación que han tenido los proyectos de agricultura tanto urbana como rural.

Dentro del proceso de entrevista donde participo María del Carmen Cortez, dueña del proyecto, estableció que la profundidad de los módulos de cultivo es de apenas 30 cm por lo cual se quieren tiempos reducidos de riego, además a la cosecha se le suministran nutrientes para aportar en su proceso de crecimiento hasta su tiempo de cultivación. Se reconoció que el proyecto Terrazas Verdes contaba con dos tanques de agua de 200 litros y una electrobomba Evans periférica B1me050. Lechuga rizada es la variedad usada, esta al igual que las variedades de lectura pueden ser consumidas desde la formación de su primera hoja, esta variedad particular tiene un tiempo de consumo ideal a partir de los 30 días después de formada la plántula.

El diseño agronómico tiene el objetivo de suplir los requerimientos hídricos del cultivo en condiciones de mayor demanda, para la variedad de lechuga rizada, la cual es la usada en el proyecto, la etapa fenológica del cultivo cuenta con un papel de importante puesta que esta y las condiciones climáticas varían la intensidad del riego. Por este motivo para el diseño agronómico se entrevistó al ingeniero agrónomo perteneciente al proyecto Terrazas Verdes, en el proceso de

entrevista se logró reconocer recomendaciones sobre horarios de riego, tiempo de riego, cantidad de nutrientes y distribución de nutrientes.

A. Diseño del prototipo



Fig. 1 Módulo de lechuga.

Inicialmente fue necesario realizar un reconocimiento de la estructura de los módulos de siembra, en la figura 1 se muestran los módulos de lechuga, en la figura 2 se muestra el levantamiento del vivero, mientras que en la figura 3 se ilustra el módulo de cultivo usado para la lechuga.

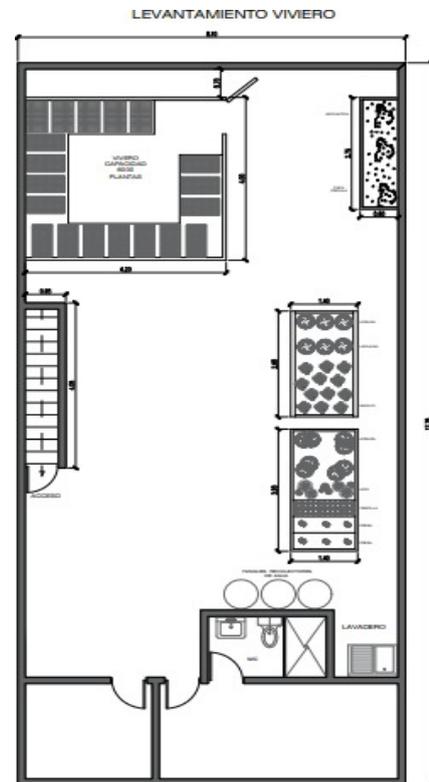


Fig. 2: Levantamiento de vivero

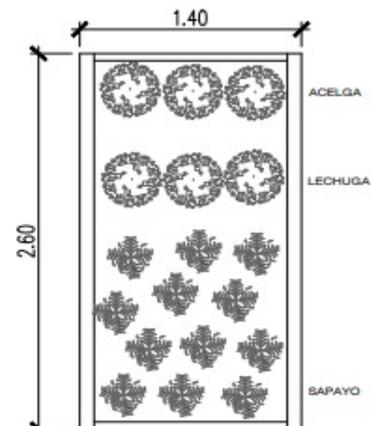


Fig. 3: Módulo de siembra de lechuga

El diseño para la distribución de riego se adecuó a los módulos, ubicando en el centro para obtener una irrigación pareja, para determinar este diseño se realizaron pruebas con tres diferentes aspersores, un aspersor de riego de anclaje, un aspersor aéreo y un micro aspersor aéreo. A través de estas pruebas el ingeniero agrónomo del proyecto determinó que el uso del micro aspersor aéreo obtuvo una irrigación pareja y de mayor cobertura, por tanto se determinó el uso de micro aspersores aéreos distribuidos con la ayuda de la estructura de los módulos de siembra.

El diseño agronómico se realizó con ayuda de la experiencia del ingeniero agrónomo el cual fijó los periodos de riego y horarios por día, mostrados en la tabla 3, los cuales son necesarios para suplir las necesidades hídricas y controlar la humedad relativa del cultivo.

TABLA III

CARACTERIZACIÓN DEL RIEGO.

Periodos de riego por día	2
Horario de riego	6 am y 6 pm
Tiempo de riego	2 min a 4 min, dependiendo de lo fenología de la planta.
Fertilizante	Lombricomposta producto de la composta de lombrices californianas.
Proporción de fertilizante	1 litro de abono orgánico por cada 20 litros de agua.
Aplicación del fertilizante	1 vez cada 8 o 15 días dependiendo de la fenología en que se encuentre del cultivo.

El riego automatizado, presenta una ventaja para la aplicación del fertilizante al cultivo, debido a que este se vierte en el agua que es distribuida por el sistema de riego.

Para el diseño del sistema se tuvieron en cuenta los componentes eléctricos mostrados en la tabla 4, además de los micro aspersores y mangueras de distribución.

TABLA III

COMPONENTES ELÉCTRICOS DEL SISTEMA DE RIEGO.

Timer programable EXCELITE referencia TUE-2 (A)	
Voltaje	110 – 130 VAC
Frecuencia	60 Hz
Potencia de la carga	1650 W
Electrobomba Evans periférica (0.5) 1/2 hp B1me050	
Voltaje	110 – 127 VAC
Frecuencia	60 Hz
Corriente a flujo máximo	5.0 A
Marca del motor	Evans
Revoluciones por Minuto	3450 RPM
Potencia del motor	0.50 HP
Flujo Máximo	32 l/min
Potencia a máximo flujo a 120V	600 W

El costo de los componentes eléctricos es el siguiente:

- Electrobomba EVANS: \$ 279.028 (Tomado de Evans Colombia).
- Timer programable: \$ 39.900 (Tomado de Mercado Libre).
- Tanto las mangueras, tanques como los micro aspersores fueron proporcionados por el proyecto Terrazas Verdes.

En la figura 4.A y 4.B se ilustra la electrobomba y Timer usados como componentes principales del sistema de riego.



Fig. 4.A: Timer usado en el proyecto



Fig. 4.B: Electrobomba usada en el proyecto

El Timer permite la activación y desactivación de la carga conectada al mismo, para esto, por medio de los botones del dispositivo se ingresan las fechas, hora de activación y periodo de activación, lo cual se ajustó al diseño agronómico mostrado en la tabla 2, esto permite que el riego del sistema se realice de forma automatizada no solo por un día o más, lo cual representa un ahorro de tiempo y mano de obra en la realización del cultivo.

El costo del Timer programable representa un ahorro en la automatización, ya que representa una relación de uno a cuatro en comparación con el precio de un PLC, puesto que un PLC industrial representa un costo de 500 mil a 1 millón de pesos.

B. Construcción del prototipo

En la figura 5 se ilustra la construcción de los módulos, mientras que en la figura 6 se muestra la adecuación de los mismo con el sistema de distribución de riego.



Fig. 5: Construcción de los módulos de siembra

En la figura 7 se muestra la conexión de los dispositivos del sistema de riego, donde el Timer se conecta a la corriente eléctrica domiciliar por medio de un cajillo típico, mientras que la electrobomba se conecta directamente al Timer, a su vez, está conectada con el suministro hídrico de los tanques de almacenamiento de lluvia y para cuando hay agua almacenada se conecta directamente al suministro domiciliar de agua, a la salida de la electrobomba se conecta una manguera como la mostrada en la figura 6.



Fig. 6: Adecuación del sistema de riego a la estructura



Fig. 7. Instalación del sistema de control de riego

Para la realización de los dos grupos de prueba, inicialmente se realizó la obtención de las plántulas de lechuga, las cuales se obtienen en el invernadero, las cuales se muestran en la figura 8, las cuales fueron trasplantadas a los módulos de siembra como lo muestra la figura 9.



Fig. 8: Plántulas de lechuga



Fig. 9: Siembra de las plántulas de lechuga

C. Evaluación de Resultados

Para la evaluación del rendimiento del sistema de riego se usó dos grupos de control, uno en el cual el riego se realizó de forma manual y el segundo de forma automatizada, para cada grupo se usó 50 plántulas las cuales se muestran en la figura 8, estas se trasplantaron a los módulos para iniciar con su proceso de cultivo.

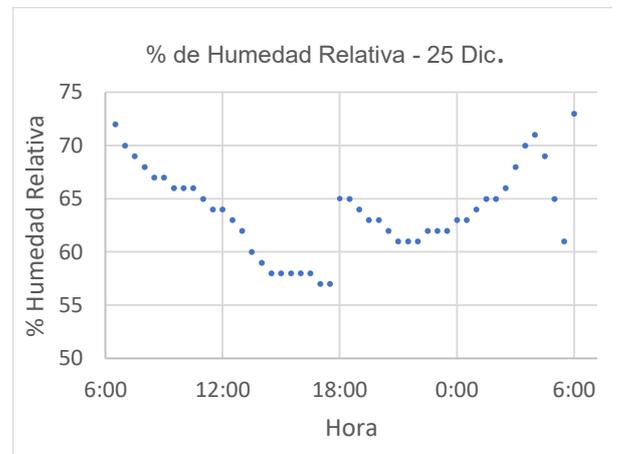


Fig. 10. Humedad Relativa durante 1 día.

A los 25 días de haber sido plantadas las plántulas de lechuga se realizaron mediciones periódicas de la humedad relativa en el módulo de riego automatizado, con un periodo de muestreo de 30 minutos durante 24 horas. En la figura 10

se muestran gráficamente los datos de humedad relativa obtenidos, mostrando un valor mínimo de 57% y un valor máximo de 73%. Teniendo en cuenta que los valores ideales de humedad relativa para el cultivo de lechuga son entre 60% y 80%, el sistema de riego esta proporcionando valores adecuados manteniendo al cultivo el 83,3% del tiempo en el rango de humedad deseado.

Posterior a los 35 días de cultivo, en el módulo donde el riego se realizó manualmente se cosecharon 38 plantas de lechuga frente a las 50 sembradas, mientras que en el usando el sistema de riego por micro aspersión automatizado se obtuvieron 48 plantas cosechadas, en la tabla 4 se muestra el resumen de la prueba piloto, mientras que en la figura 11 se muestra las lechugas en su etapa final de cultivo.

TABLA IV
RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO.

Grupo de control con riego manual	
Plántulas sembradas	50
Plantas muertas	12
Plantas cosechadas	38
Rendimiento	76%
Grupo de control con riego automatizado	
Plántulas sembradas	50
Plantas muertas	2
Plantas cosechadas	48
Rendimiento	96%



Fig. 11: Plantación de lechuga con riego por aspersión automatizado.

Con el fin de verificar cualitativamente el beneficio obtenido por medio del sistema de riego, se realizó el pesaje de las lechugas cultivadas, la figura 12 muestra los resultados obtenidos. Como se muestra gráficamente, el peso de las lechugas cultivadas con riego automatizado fue superior al de las cultivadas con riego manual, obteniendo un 297.5 g y 282.5 g respectivamente.

Teniendo en cuenta que la lechuga rizada tiene un precio de \$2500 por kilogramo y que con el riego automatizado se obtuvieron 3.55 kilogramos a comparación del riego manual, podemos decir que por cada módulo de cultivo de lechuga con el sistema automatizado se obtendrá un beneficio adicional de \$8800.

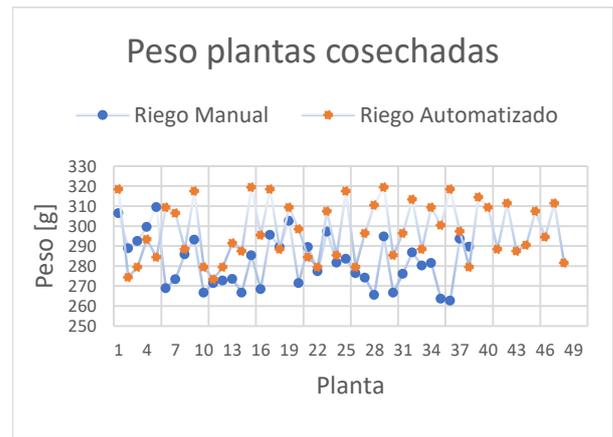


Fig. 12: Plantación de lechuga con riego por aspersión automatizado.

Una de las desventajas este sistema de riego automatizado es el aumento por costes de energía, por lo cual es necesario realizar una estimación de los costos generados, para ello se formuló la ecuación 1, la cual tiene como variables:

- C: Costos de consumo eléctrico
- Ce: Corriente del sistema encendido
- Ca: Corriente con el sistema apagado
- RCDe: Relación de consumo diario con el sistema encendido (minutos encendido sobre la cantidad de minutos en un día)
- RCDa: Relación de consumo diario con el sistema apagado.
- Vn: voltaje nominal
- P: Costo por KW-h.

$$C = \frac{(Ce * RCDe + Ca * RCDa) * Vn}{1000} * 30 \text{ dias} * P \quad (1)$$

Considerando que el sistema de riego mantiene encendido 4 minutos por cada activación y son dos activaciones, tenemos que RCDe es una relación de 8/1440, mientras que la relación de consumo diario del sistema apagado es de 1432/1440, el consumo de corriente cuando el sistema este encendido es de 3.2A mientras que para cuando el sistema esta apagado únicamente hay un consumo pasivo del Timer de 0.2A. Para el costo de kWh se usó la tarifa proporcionada por las Centrales Eléctricas de Nariño (CEDENAR) para diciembre del 2021, la cual corresponde a 645.73 pesos por kilovatio hora para una propiedad de un usuario sin subsidio. Considerando lo anterior tenemos para la ecuación 1.

$$C = \frac{(3.2A * \frac{8}{1440} + 0.2A * \frac{1432}{1440}) * 120V}{1000} * 30 \text{ dias} * 645.73 \frac{\$}{kWh}$$

$$C = 0.026 \frac{KWh}{\text{dia}} * 30 \text{ dias} * 645.73 \frac{\$}{kWh}$$

$$C = \$503.66$$

El costo de energía por el funcionamiento del sistema de riego automático es de 503 pesos, este costo representa un precio despreciable teniendo en cuenta los beneficios proporcionados por el sistema automatizado. El costo es únicamente por un módulo en uso, por lo cual vemos que económicamente es viable expandir el sistema a más módulos de cultivo.

Es necesario considerar el costo de implementación del sistema de riego automatizado, así como el costo de operación. La tabla 5 muestra los costos del sistema de riego implementado.

TABLA V
COSTO DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO.

Costo de inversión (\$460.574)	
Elementos Eléctricos del sistema	\$318.900
Mano de Obra	\$61.446
Guaduas, tornillos, microaspersores y alambres	\$80.200

Debido a que el beneficio económico al usar el sistema de riego automatizado es de \$8800 cada 35 días, que el costo mensual de consumo eléctrico del sistema es de \$503.66 y la inversión para la implementación del sistema fue de \$460.574, podemos deducir que la inversión económica es recuperada en 5 años y medio, adicional a esto se deben tener en cuenta los beneficios adicionales, como el aumento de la calidad del cultivo y cantidad de producción, la disminución de tiempo de los productores dedicado a tareas de riego, el aumento de la eficiencia de la distribución del recurso hídrico para cumplir las necesidades hídricas del cultivo y también la distribución de los aditivos requeridos por las plantas. Además, debido a que el riego se realiza de forma automática sin ninguna operación adicional posterior a la programación del Timer, se disminuyen los costos por exceso de riego o falta de ellos.

D. Trabajo Futuro

El sistema de riego automatizado demostró una mejora considerable del rendimiento de cultivo de lechuga, aun así, es necesario que el sistema de riego sea automatizado teniendo en cuenta variables del control del cultivo en tiempo real, es decir, teniendo en cuenta la humedad del cultivo el sistema cambie la temporización del riego, esto se puede realizar por medio del uso de plataformas IoT, beneficiando a los productores debido a que proporcionara una herramienta para visualizar las variables del cultivo, teniendo mayor control en su proceso.

VII. CONCLUSIONES

La incorporación de la tecnología en el proyecto de agricultura urbana Terrazas Verdes demostró proporcionar ventajas de producción agronómica a un bajo costo de implementación, disminuyendo el consumo de agua y a un bajo costo energético.

En la realización de este proyecto de implementación tecnológica fue menester tener en cuenta el diseño estructural de los módulos de cultivo y obtener los datos necesarios sobre proceso de cultivo y las características del mismo con el fin de realizar el diseño agronómico necesario y de acuerdo a ello realizar el diseño del sistema de riego, esto con el fin de reducir costos de implementación y funcionamiento, obteniendo un sistema que supla las necesidades hídricas del cultivo con un buen rendimiento.

El proyecto de investigación se implanto satisfactoriamente proporcionando un sistema de riego automatizado al proyecto Terrazas Verdes, proyecto que está dentro del marco de agricultura urbana y se enfoca en la seguridad alimentaria. Para el desarrollo de este sistema se probó e implemento el Timer programable ECXELITE TUE-2(A) el cual demostró ser una alternativa más económica, de buen rendimiento y fácil instalación y manejo para el usuario a comparación de los PLC tradicionales.

El sistema automático de riego diseñado e implementado demostró ser eficiente puesto que aumento el rendimiento de la productividad del cultivo en 20%, aumento el peso promedio en 5.38%, además de proporcionar un mecanismo eficaz para la distribución de los aditivos requeridos para el cultivo, un control de humedad relativa dentro de los rangos

ideales y permitir un ahorro de tiempo destinado al riego por parte de los productores, beneficios obtenidos a un costo reducido teniendo en cuenta las ventajas ofrecidas al proyecto Terrazas Verdes.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Observatorio de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Colombia,» [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/sostenibilidad-sectores-productivos/seguridad-alimentaria-y-nutricional>. [Último acceso: 26 02 2021].
- [2] FAO en Colombia, «Colombia en una mirada,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/colombia/fao-en-colombia/colombia-en-una-mirada/es/>. [Último acceso: 27 02 2021].
- [3] Gobernación de Nariño, Plan Decenal Dhana 2020 - 2029, Pasto.
- [4] Ministerio de Salud y Protección, «Boletín de Prensa No 618; Social, Gobierno Nacional promueve acciones en pro de la seguridad alimentaria durante covid-19,» Ministerio de Salud y Protección Social, 19 08 2020. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Gobierno-Nacional-promueve-acciones-en-pro-de-la-seguridad-alimentaria-durante-covid-19.aspx>. [Último acceso: 27 02 2021].
- [5] J. Alfaro, A. Corbacho y J. Prada, Análisis del internet de las cosas (IoT) y su aplicabilidad en el control remoto del sistema de riego de la finca la Josefa ubicada en macondo zona bananera del departamento de la magdalena, Santa Marta., p. 35, 2018.
- [6] L. Chaparro, «Alcalde de Pasto hizo entrega del proyecto de cabildos “Terrazas Verdes” en la Comuna Cuatro,» Asociación de Ciudades Capitales, 30 04 2019. [En línea]. Available: <https://www.asocapitales.co/html/alcalde-de-pasto-hizo-entrega-del-proyecto-de-cabildos-terrazas-verdes-en-la-comuna-cuatro>. [Último acceso: 27 02 2021].
- [7] R. S. Ayers y D. W. Wstcot, Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper.29 Rev. 1., Roma, Italy, 1995.
- [8] A. T. Solutions, «Granjas inteligentes: ¿Qué son?,» Alpha Telecom Solutions, 19 02 2012. [En línea]. Available: <https://alphaingenieria.com/granjas-inteligentes/>. [Último acceso: 28 02 2021].
- [9] Noticia, Sala de prensa, «Más de 525 campesinos se beneficiarán con el proyecto Nariño Vive Digital,» Sala de prensa del Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, 06 12 2016. [En línea]. Available: <https://www.mintic.gov.co/porta/inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/27241:Mas-de-525-campesinos-se-beneficiaran-con-el-proyecto-Narino-Vive-Digital>. [Último acceso: 26 02 2021].

- [10] M. d. I. Rosa, «La era digital llegó a las granjas de Nariño,» *Diario el Tiempo*, 13 10 2014. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14681459>. [Último acceso: 28 02 2021].
- [11] El Huerto de Urbano, «Como producir lechuga,» 9 06 2012. [En línea]. Available: <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/lechuga/>. [Último acceso: 04 04 2021].
- [12] I. T. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, «Guía de producción de lechuga: sistema de raíz flotante (en línea). Honduras, Secretaría de Agricultura y Ganadería,» [En línea]. Available: http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html. [Último acceso: 17 Marzo 2002].
- [13] R. Cromos, «Dies razones para comer lechuga,» *Diario El Espectador*, 19 04 2017. [En línea]. Available: <https://www.elespectador.com/cromos/estilo-de-vida/diez-razones-para-comer-lechuga-a-diario/>. [Último acceso: 04 04 2021].
- [14] Camara de Comercio de Bogota, «Manual LECHUGA,» 2015. [En línea].
- [15] iagua, «Cuantos tipos de riego hay,» [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/cuantos-tipos-riego-hay>.
- [16] Angela María Hernández Arango, *Sistema de Riego Automatizado por Micro Aspersión para el Cultivo de Cacao en el Municipio de Cabuyaro, Meta, Bogotá*, 2019.
- [17] M. Hazem-Kalaji y S. Pietkiewicz, Salinity effects on plant growth and other physiological proceses. *Physiol. Plant.*, vol. 15., 1993.