

# Capítulo 8.

## Sistema automático de fertirrigación para cultivos de vegetales bajo techo

Wilmer Cruz Guayacundo<sup>1</sup>

Daniel Peñarete Moreno<sup>2</sup>

Sebastián Vásquez Fontanilla<sup>3</sup>

**Cítese como:** Cruz-Guayacundo, W., Peñarete-Moreno, D. y Vásquez-Fontanilla, S. (2023). Sistema automático de fertirrigación para cultivos de vegetales bajo techo. En F. C. Gómez-Meneses, E. M. Moncayo-Torres y T. M. Piamba (comps.), *Aplicaciones tecnológicas de la Ingeniería Mecatrónica y sus impactos al desarrollo socioeconómico* (pp. 113-126). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.214.c370>

### Resumen

La presente investigación se centra en el uso de la mecánica de fluidos para desarrollar un modelo dinámico de agricultura de precisión que permita mejorar la calidad y la cantidad de hortalizas (zanahoria) o vegetales cultivados bajo techo. Así pues, se busca caracterizar el cultivo, definir la instrumentación necesaria, establecer el sistema de control y validar el comportamiento del sistema a través de una simulación del modelo dinámico en Matlab, usando Simulink. La metodología de diseño está basada en las siete etapas de diseño en ingeniería, propuesta por Erdman y Sandor. El proyecto se encuentra en una fase de validación y desarrollo del modelo; por tanto, este artículo solo contemplará los resultados obtenidos hasta la tercera fase (sistema de control). Sin embargo, cabe destacar que uno de ellos corresponde al desarrollo de tablas comparativas para definir la instrumentación, lo cual permite organizar la información de acuerdo con los criterios técnicos más importantes tanto para sensores como actuadores, controladores y demás elementos pasivos o misceláneos que acompañen el sistema; además, establece un puntaje para cada elemento y es una herramienta fiable al momento de elegir un instrumento u otro.

**Palabras clave:** fertirriego; invernadero; cultivo de zanahoria; sistema automático de riego; Venturi.

<sup>1</sup> Universitaria Agustiniiana – Uniagustiniana. Correo: wilmer.cruz@uniagustiniana.edu.co

<sup>2</sup> Universitaria Agustiniiana – Uniagustiniana. Correo: daniel.penarete@uniagustiniana.edu.co

<sup>3</sup> Universitaria Agustiniiana – Uniagustiniana. Correo: carlos.vasquez@uniagustiniana.edu.co

## Automatic fertigation system for indoor vegetable cultivation

### Abstract

The present research focuses on the use of fluid mechanics to develop a dynamic model of precision agriculture to improve the quality and quantity of vegetables (carrots) grown indoors. Thus, the aim is to characterize the crop, define the necessary instrumentation, establish the control system, and validate the behavior of the system through a simulation of the dynamic model in Matlab, using Simulink. The design methodology is based on the seven stages of engineering design proposed by Erdman and Sandor. The project is in a phase of validation and development of the model; therefore, this article will only consider the results obtained up to the third phase (control system). However, it should be noted that one of them corresponds to the development of comparative tables to define the instrumentation, which allows organizing the information according to the most important technical criteria for sensors, actuators, controllers, and other passive or miscellaneous elements that accompany the system; it also establishes a score for each element and is a reliable tool when choosing one instrument or another.

*Keywords:* fertigation; greenhouse; carrot cultivation; automatic carrot; automatic irrigation system; Venturi.

## Sistema de fertirrigação automático para cultivo de vegetais em ambientes internos

### Resumo

A presente pesquisa se concentra no uso da mecânica dos fluidos para desenvolver um modelo dinâmico de agricultura de precisão para melhorar a qualidade e a quantidade de vegetais (cenouras) ou legumes cultivados em ambientes fechados. Assim, o objetivo é caracterizar a cultura, definir a instrumentação necessária, estabelecer o sistema de controle e validar o comportamento do sistema por meio de uma simulação do modelo dinâmico no Matlab, usando o Simulink. A metodologia de projeto é baseada nos sete estágios de projeto de engenharia propostos por Erdman e Sandor. O projeto está em uma fase de validação e desenvolvimento do modelo; portanto, este artigo considerará apenas os resultados obtidos até a terceira fase (sistema de controle). No entanto, deve-se observar que um deles corresponde ao desenvolvimento de tabelas comparativas para definir a instrumentação, o que permite organizar as informações de acordo com os critérios técnicos mais importantes para sensores, atuadores, controladores e outros elementos passivos ou diversos que acompanham o sistema; além disso, estabelece uma

puntuación para cada elemento e é uma ferramenta confiável na escolha de um instrumento ou outro.

*Palavras-chave:* fertirrigação; estufa; cultivo de cenoura; sistema automático de cultivo de cenoura; sistema de irrigação automático; Venturi.

## Introducción

El cambio climático provocado por el ser humano está causando una alteración en el balance natural, afectando la vida de miles de millones de plantas, animales y personas, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, como se cita en Organización de las Naciones Unidas, ONU, 2022) a partir de su sexto informe sobre la crisis climática. Se estima que, durante los próximos 20 años experimentaremos un aumento de la temperatura media global de 1.5 °C que, no podrá evitarse. Esto es, en gran medida, debido a los gases de efecto invernadero (GEI), las formas de producción actuales a las que estamos acostumbrados, los patrones cambiantes de precipitación y, la mayor frecuencia de algunos fenómenos climáticos extremos, afectando la seguridad alimentaria.

Un estudio del estado de la seguridad alimentaria realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023) sostiene que, si continúan las tendencias recientes, el número de personas afectadas por el hambre superará los 840 millones de personas para 2030. Tomando como ejemplo el año 2020, se tiene que, cerca del 12 % de la población mundial se vio afectada por inseguridad alimentaria grave, lo que equivale a 928 millones de personas; es decir, 148 millones más que en 2019. No solamente preocupa la cifra, sino también que el porcentaje de inseguridad para América Latina y el Caribe es del 11 %; esto es, 267 millones de personas.

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que tiene la ONU (Naciones Unidas y CEPAL, 2018) es poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible. Para ello, es necesario llevar a cabo un cambio profundo en el sistema agroalimentario mundial, si queremos alimentar a más de 820 millones de personas que padecen hambre y a los dos millones de personas más que vivirán en el mundo en 2050. El aumento de la productividad agrícola, la producción alimentaria sostenible y el uso eficiente de los recursos hídricos son cruciales para ayudar a aliviar los riesgos del hambre.

Según el informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, FIDA, 2021), la agricultura -incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura- es, con mucho,

el mayor consumidor de agua, dado que representa el 69 % de las extracciones anuales de agua a nivel global. La industria, incluyendo la generación de energía, representa el 19 % y los hogares el 12 %. Las estimaciones sugieren que, si la degradación del medio ambiente y las presiones insostenibles sobre los recursos hídricos mundiales continúan, el 45 % del producto interior bruto (PIB) mundial, el 52 % de la población mundial y el 40 % de la producción mundial de cereales estarán en riesgo para 2050.

Actualmente, en Colombia, la agricultura se ha caracterizado por el uso de modelos extensivos de baja productividad; 43 millones de hectáreas son de uso agropecuario; la mayoría, 34 millones, asociadas a la ganadería, actividad que genera graves efectos ambientales como la deforestación y la emisión de GEI. Por su parte, cerca de dieciocho millones de hectáreas tienen potencial para ser irrigadas, pero, en la actualidad, solo un millón está en riego, lo que equivale al 6 % (Agronet MinAgricultura, 2020). No obstante, esta actividad aporta el 1,7 % del PIB nacional y el 25 % del PIB agropecuario.

Por su parte, el riego es una actividad de uso fundamental para el bienestar de un cultivo y consiste en aplicar de forma controlada y oportuna, agua al suelo para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas. Si no se riega continuamente, se corre el riesgo de que la planta se seque y empiecen a caer sus hojas; por ende, la producción del cultivo tiende a marchitarse o, si se excede el riego, las raíces pueden llegar a pudrirse; por ello es muy importante conocer las necesidades hídricas de cada planta y desarrollar un sistema automatizado de fertirriego que incorpore fertilizantes al agua, brindando al suelo los nutrientes y requerimientos hídricos que necesitan los cultivos, sin llegar a exceder o contener el suministro de la misma.

De allí nace el interés por esta investigación, porque se puede medir y controlar de una mejor manera una de las variables externas que afecta el buen desarrollo de las plantas: humedad relativa y caudal de riego. Esto maximiza la rentabilidad, el valor nutritivo del vegetal y la eficiencia en el uso del agua; a partir de ello se establece el objetivo de este proyecto: desarrollar una propuesta para un sistema de fertirrigación automatizado para cultivos de vegetales bajo techo.

La puesta en marcha de esta propuesta guarda correspondencia con la presentada por Castaño-Giraldo (s.f.), quien hace una descripción y explicación del modelo matemático que controla la dinámica de fluidos del sistema de tanques interconectados y, adicionalmente, brinda una solución a través de la incorporación de un controlador PID (Control Proporcional Integral Derivativo) en lazo cerrado, que se simula mediante Simulink-Matlab. Finalmente, el autor concluye cómo la incorporación de este PID mejora los tiempos de ejecución del sistema de nivel de tanques.

Además, se tiene el diseño y ejecución de un laboratorio virtual y remoto para simular, monitorizar y controlar un sistema de riego por goteo en olivos, propuesto por Capraro et al. (2010), quienes controlaron un sistema así, emplazado en un olivar ubicado en el departamento Pocito, en la provincia de San Juan, Argentina, a través de la aplicación, automatización y desarrollo de un software para efectuar la simulación, monitorización y control remoto de la planta piloto. Adicionalmente, abordaron dos configuraciones para el sistema de control de riego: la primera en un sistema de riego temporizado (lazo abierto) y la segunda en un control de riego basado en la humedad del suelo (lazo cerrado). También incorporaron una interfaz hombre-máquina desarrollada a partir del software LabView, donde el operario controlaba el sistema de riego encargado de suministrar agua al olivar. La interfaz fue programada siguiendo un modelo matemático lineal que permite hacer un análisis de la dinámica del sistema de riego.

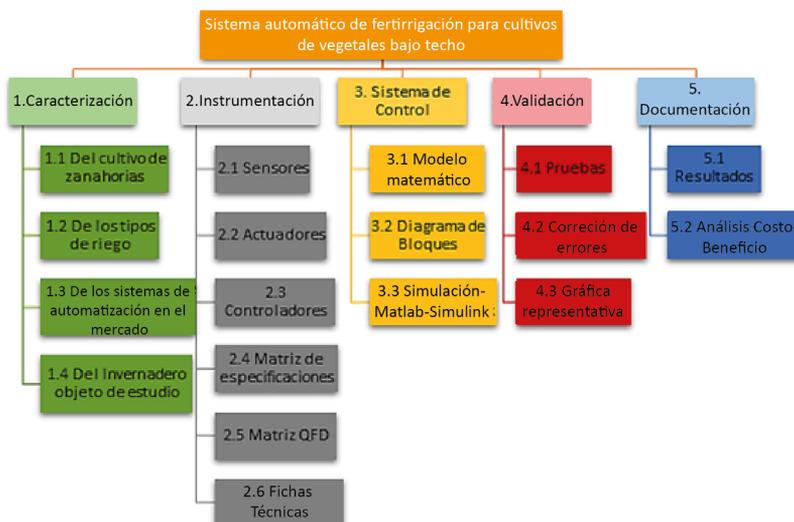
Estos trabajos están relacionados con el trabajo en curso, dado que otorgan ejemplos concretos y un modelo matemático que se puede adaptar a las necesidades y variables del desarrollo del proyecto actual.

## Desarrollo

El primer paso conforme a la gestión del proyecto fue usar como pilar, el triángulo de hierro, el cual relaciona el alcance, tiempo y costo durante la ejecución de un proyecto. En el primer apartado, el alcance se definió usando una estructura de división de trabajo (EDT) que permitió dividir jerárquicamente el trabajo en partes o fases.

**Figura 1**

*Estructura de división de trabajo (EDT)*



Esta estrategia, sumada al desarrollo oportuno de un Kanban a través del software Notion, permitió a su vez controlar la producción y los tiempos estipulados para cada actividad. Adicionalmente, a través de un diagrama de red, se estableció el tiempo total del proyecto. Por su parte, la gestión del costo, a pesar de que es una propuesta de un sistema de fertirriego simulada, es decir no hay una entrega tangible, se realizará a través de un simulador financiero, como recurso que posee la Uniagustiniana.

## Caracterización del cultivo

Como primera parte, se efectuó una investigación del cultivo de zanahoria, sistemas de riego, características y tipos de invernaderos y sistemas de automatización para fertirriego en el mercado. Es importante aclarar en este punto la variable física que se desea controlar (Véase Tabla 1)

**Tabla 1**

*Variables del problema*

Variable	Dependiente	Independiente	Cuantitativa
Temperatura		X	Continua
Humedad relativa	X		Continua
PH		X	Continua
Luz solar		X	Continua
Velocidad (viento)		X	Continua
Flujo Volumétrico / Caudal*		X	Continua

\*Estas son algunas de las variables que intervienen en el desarrollo y sano crecimiento de un cultivo; sin embargo, cabe aclarar que el **flujo volumétrico**, si bien no es una variable propia de un invernadero, sí está muy relacionada con la humedad relativa y, además, es una magnitud física medible; por tal motivo y, al ser la magnitud que se desea controlar para la propuesta del sistema automático de fertirrigación, está con un color diferente (rojo) para resaltar su importancia.

Finalmente, como segunda parte, se realizó una visita guiada al invernadero de la Uniagustiniana; los registros de la visita fueron tomados como objeto de estudio a partir de un diario de campo.

## Figura 2

### *Domo geodésico*



## Tabla 2

### *Registros de la visita guiada al domo geodésico. Descripción y Análisis*

Descripción	Análisis
Invernadero tipo domo Geodésico	El domo está cubierto en su totalidad por una lona de plástico la cual en su parte superior es transparente, suave y lisa al tacto, para soportar el clima externo, en la parte inferior tiene un plástico de color blanco más duro y áspero con una altura de 77 cm y está en la base del Domo para evitar filtración de agua y proteger la estructura. Como contrapeso para sostener la lona firmemente en el interior del domo en la zona inferior blanca, tiene unos bolsillos donde están introducidas unas varillas de acero (13 en total) delgadas de 4 mm de grosor y a las cuales están amarrados 3 sujetadores o amarres plásticos por cada varilla.
Dimensiones:	
Diámetro = 3 m	
Alto = 2.5 m	
Ancho = 2.8 m	
Profundidad = 2.7 m	Cabe destacar que en el interior del domo hay mucha condensación debido a la falta de un sistema de condensación, sin embargo, las gotas de agua no resbalan ni caen con mucha facilidad.

### Figura 3

#### Suministro de agua para los tanques



Llave para suministro de agua

Medida: 1/2 pulgada (13mm)

Conexión – Rosca: 1/2 pulgadas  
NPT

Temperatura: 85°C

Presión: 125 lbs/pulg<sup>2</sup> - 8.8 kg/cm<sup>2</sup>

Material: Acero Inoxidable

Acabado: Latón

Cabe destacar que las Figuras 2 y 3 son solo ejemplos; dentro de los registros del diario de campo se contempló los elementos estructurales del domo (con mayor detalle e información), así como las materas, bases, soportes y elementos pasivos (filtros, tanques, etc.) y activos (válvulas, bombas, etc.) correspondientes al sistema de riego.

#### Definición de la instrumentación

A partir de una investigación exhaustiva sobre sensores, actuadores y controladores disponibles en el mercado a nivel industrial, se elaboró las tablas comparativas con los componentes de instrumentación industriales elegidos, la selección por puntaje y la ficha técnica de cada uno de los instrumentos.

### Figura 4

#### Inyector Venturi



La Figura 4 presenta un medidor de caudal que hace uso del efecto Venturi, fenómeno físico que consiste en que, durante el movimiento de un fluido a través de un conducto, este, al experimentar una reducción de sección, aumenta su velocidad y disminuye su presión, generadas por la diferencia de presiones en su entrada y salida de succión.

**Figura 5**

*Tanques*

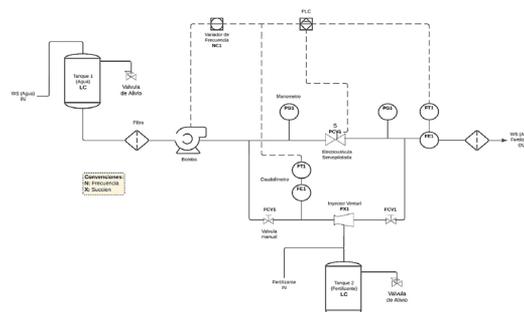


El tanque de agua presentado en la Figura 5 es cónico, en polietileno 100 % virgen, con aditivo contra la radiación ultravioleta UV, avalado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) (s.f.) de Estados Unidos, para contener alimentos y bebidas.

Cabe destacar que las Figuras 4 y 5 son elementos elegidos del sistema de instrumentación y misceláneos respectivamente; y que, en las tablas comparativas se especifica con más detalles técnicos los elementos y demás componentes del sistema de control (sensores, actuadores, controladores). Adicionalmente, se elaboró el diagrama del sistema de instrumentación bajo la norma ANSI/ISA 5.1.

**Figura 6**

*Diagrama P&ID de instrumentación*

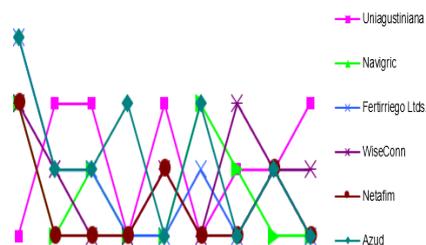


Finalmente, el equipo de diseño anexó la matriz QFD (por sus siglas en inglés: *Quality Function Deployment*: Despliegue de la Función de la Calidad) en aras de desarrollar un sistema adaptativo a las necesidades del usuario final y, de esta forma, conocer los puntos fuertes de nuestro diseño en comparación con otras marcas.

**Tabla 3***Requerimientos del cliente vs. especificación de ingeniería*

Requerimientos del cliente	Especificación de Ingeniería
Control del flujo de agua y fertilizante	Sistema de control
Medición de la presión del agua	Sistema de medición de presión
Seguridad del sistema	Control de seguridad y paro de emergencia
Materiales resistentes a corrosión por agua	Protección IP >= 65
Sistema con dos tanques	Automatización del proceso
Fluido sin impurezas	Sistema de filtrado
Estructura física	Integración con el entorno
Sistema de riego	Sistema de riego por goteo
Tipo de planta (zanahoria)	Sistema adaptativo a las necesidades de riego de las hortalizas
Factor económico	Selección de instrumentación de bajo costo.

Para identificar las ventajas o desventajas del sistema propuesto, se hace una comparación con los sistemas ofertados por cinco empresas nacionales e internacionales y una evaluación respecto a los requerimientos del cliente, como se observa en la Figura 7.

**Figura 7***Comparación de la casa de calidad*

Frente a la información contenida en la Figura 7, se puede concluir que las empresas evaluadas tienen altas calificaciones en la estructura física del sistema, el control de flujo de agua y fertilizante y la seguridad del sistema, debido a que cuentan con mejores sistemas automatizados que usan elementos de instrumentación más avanzados y que, además, poseen una interfaz para manipular las variables designadas, así como también, generar un reporte o informe acerca del desarrollo y crecimiento del cultivo bajo diferentes parámetros que pueden ser preconfigurados en el sistema.

Sin embargo, se identifica que los puntos fuertes del diseño propuesto corresponden a los requerimientos de resistencia a la corrosión por agua, eliminación de impurezas y adaptabilidad a las necesidades de riego de diferentes hortalizas.

### Establecimiento del sistema de control

Se desarrolló el modelo matemático definido a través del caudal de entrada menos el caudal de salida del sistema.

$$Q_{in} - Q_{out} = Q_{agua} + Q_{fertilizante} \quad (1)$$

Seguidamente, se estableció que el caudal de agua más el caudal de fertilizante se representaba a través del diferencial de presiones sobre el porcentaje de apertura de la electroválvula, multiplicando, además, la capacidad de succión del Venturi más el caudal de entrada.

$$\frac{\Delta P}{CV} \times Q_s + Q_{in} \quad (2)$$

Los datos suministrados en las fichas técnicas de los componentes de instrumentación elegidos permitieron conocer la capacidad de succión.

Una vez definidas las ecuaciones, se realizará el diagrama de bloques con el fin de representar el comportamiento interno del sistema y así, poder pasar a la simulación en Matlab y validar el comportamiento con la ayuda de la herramienta Simulink, lo cual corresponde a la cuarta fase del proyecto.

Cabe resaltar que, durante el desarrollo del proyecto la metodología de diseño usada fue la propuesta por Erdman y Sandor (1998), dado que es una metodología práctica, fácil de entender y, adaptativa para principiantes en la gestión de proyectos.

### Resultados

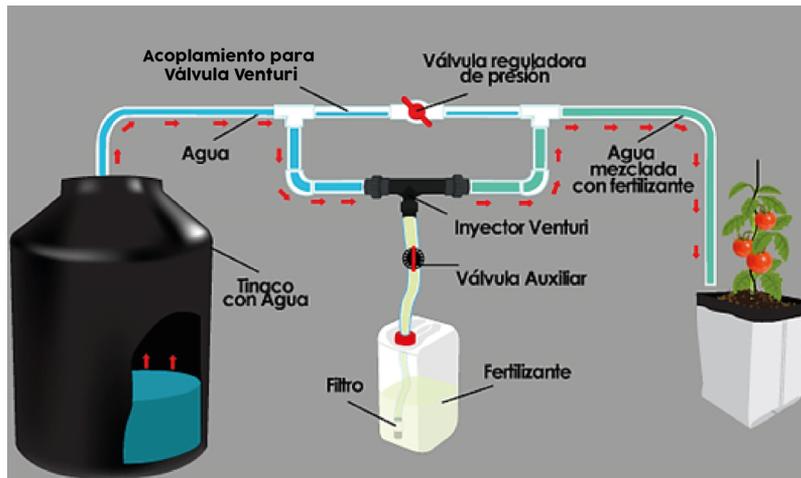
Como se puede evidenciar, una vez realizada la metodología expuesta, se puede tomar como base el invernadero objeto de estudio y, proponer un sistema de riego más confortable a los requerimientos del usuario que, a su vez, contemple un modelo que atienda las necesidades hídricas del cultivo en función del tipo de planta y que, además, controle el flujo de fertirriego.



Debido a que el proyecto no presenta una entrega tangible, se considera implementar un software de simulación para modelos de fertirrigación; a la fecha está en proceso de validación, desarrollo y ajuste del modelo; para ello, la Figura 8 explica de una manera más interactiva y vivida, el sistema Venturi.

**Figura 8**

### *Sistema Venturi*



Fuente: Hydro Environment (2023).

## Conclusiones

El impacto que está generando el cambio climático provocado por el ser humano, en gran medida por la emisión de GEI a la atmósfera a través de los métodos de producción actuales, está generando un efecto adverso al desarrollo sostenible de la agricultura en el mundo; por tanto, la implementación de un sistema de fertirrigación automatizado mediante el uso de sensores y actuadores controlados por un modelo matemático que defina el comportamiento del sistema y que se retroalimente de la información que abstrae en tiempo real, es práctica y necesaria, ya que permite gestionar los recursos de una manera mucho más óptima y en función de las necesidades hídricas y las propiedades de las hortalizas y demás cultivos dentro del invernadero.

La caracterización del invernadero objeto de estudio de la Universidad Uniagustiniana es un buen punto de partida para familiarizarse con la gestión y control de los procesos productivos dentro de un invernadero a través de la descripción y análisis de los elementos que lo componen.

De otro lado, es igualmente importante comprender los aspectos técnicos de la instrumentación elegida y, es aquí donde las tablas comparativas

desempeñan un papel esencial, ya que permiten organizar la información de acuerdo con los criterios técnicos fundamentales tanto para sensores como para actuadores controladores y demás elementos pasivos o misceláneos que acompañen el sistema; además, establecen la diferencia de puntaje y son una herramienta fiable al momento de elegir un instrumento u otro.

El diagrama de instrumentación elaborado bajo la norma ANSI/ISA 5.1 permite establecer un procedimiento uniforme para designar e identificar las funciones de los instrumentos empleados en el sistema automático de fertirriego, así como también, mejorar la comprensión al momento de realizar la instalación, operación, puesta en marcha y mantenimiento del sistema.

La matriz QFD es una herramienta fiable y completa para hacer seguimiento a los requerimientos del cliente; esto se traduce en un diseño más realista que permite hacer más confortable y adaptativo el sistema.

El modelo matemático define el comportamiento del sistema de fertirriego propuesto ante un estímulo; en este caso, la variable que se desea controlar es el caudal o flujo volumétrico del sistema. Por tanto, el principio de Bernoulli es primordial para el cálculo del diferencial de presiones generados en los puntos de entrada y salida del inyector Venturi.

De igual forma, conocer la capacidad de succión del inyector permite comprender cuál debe ser el caudal máximo y mínimo que debe circular en el sistema para generar dicho diferencial de presión en ambos puntos y que haya succión de fertilizante; dicha información se encuentra en las fichas técnicas del fabricante y es por ello que se requiere una tabla comparativa que abstraiga la información y la presente de una forma más sencilla de entender y de buscar.

Desarrollar un sistema automatizado de fertirriego asegura que el agua y los nutrientes (fertilizante) lleguen a la planta en una proporción justa y necesaria; esto tendrá un efecto positivo en el sano crecimiento de la hortaliza o vegetal y así se podrá incrementar la rentabilidad, producción y calidad nutritiva, además de prolongar el tiempo de vida del cultivo. Si no se hace un riego adecuado, la planta puede llegar a marchitarse, pues empezará a secarse o, se le caerán las hojas. Si se sobrepasa el umbral de riego, las raíces del cultivo pueden llegar a pudrirse.

Lo anterior permite mitigar el impacto del cambio climático provocado por el ser humano (en gran medida por la emisión de GEI a la atmósfera) y cumplir los ODS que formula la ONU para combatir el hambre en el mundo, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición de las personas y, promover la agricultura sostenible.

## Referencias

- Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA). (s.f.). Administración de Alimentos y Medicamentos. <https://www.usa.gov/es/agencias/administracion-de-alimentos-y-medicamentos>
- Agronet MinAgricultura. (2020). ¿Cómo está Colombia en materia de riego? <https://agronet.gov.co/Noticias/Paginas/C%C3%B3mo-est%C3%A1-Colombia-en-materia-de-riego.aspx>
- Capraro, F., Tosetti, S. y Vita, F. (2010). Laboratorio virtual y remoto para simular, monitorizar y controlar un sistema de riego por goteo en olivos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 7(1), 73-84. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70010-8](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70010-8).
- Castaño-Giraldo, S. A. (s.f.). Descubre cómo usar Simulink para el modelado y control de procesos sin tener que ser un experto. <https://controlautomaticoeducacion.com/wp-content/uploads/Masterclass-Simulink-2.pdf>
- Erdman, A. G. y Sandor, G. N. (1998). *Diseño de mecanismos: Análisis y síntesis* (J. de la Cera, Trad.; 3.ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). (2021). ¿Por qué el agua es esencial para los sistemas alimentarios sostenibles? <https://www.ifad.org/es/web/latest/-/por-que-el-agua-es-esencial-para-los-sistemas-alimentarios-sostenibles>
- Hydro Environment. (2023). ¿Qué es el Sistema Venturi? [https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=427](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=427)
- Naciones Unidas y CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y El Caribe*. Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio climático 2022. <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexto-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). Informe mundial sobre las crisis alimentarias: en 2022, el número de personas en situación de inseguridad alimentaria aguda aumentó hasta los 258 millones en 58 países. <https://www.fao.org/newsroom/detail/global-report-on-food-crises-GRFC-2023-GNAFC-fao-wfp-unicef-ifpri/es>