

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA UNA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO EN INVERNADERO  
(Resumen Analítico)**

***AUTOMATED SYSTEM FOR HYDROPONIC GREEN FODDER PRODUCTION IN  
A GREENHOUSE  
(Analytical Summary)***

**Autores (*Authors*):** Moncayo Solarte Jose David, Cerón Delgado Santi Sebastián y Cantuca Legarda Francisco Duván

**Facultad (*Faculty*):** Facultad de Ingeniería

**Programa (*Program*):** Ingeniería Mecatrónica

**Asesor (*Support*):** M.Sc. Fabio Camilo Gómez Meneses

**Fecha de terminación del estudio (*End of the research*):** Noviembre 2024

**Modalidad de Investigación (*Kind of research*):** Trabajo de Grado

**PALABRAS CLAVE**

HIDROPONÍA  
AUTOMATIZACIÓN  
CONTROL  
FORRAJE

**KEY WORDS**

*HYDROPONICS  
AUTOMATION  
CONTROL  
FODDER*

**RESUMEN:** En este proyecto se desarrolla un sistema automatizado de cultivo de forraje verde hidropónico (FVH) en un invernadero a escala. El forraje que se utiliza para el desarrollo del proyecto son semillas de maíz y trigo, seleccionados por su alta adaptabilidad al cultivo hidropónico. De manera tradicional, este tipo de cultivos se realiza en condiciones no controladas, como en bandejas o directamente en la tierra, lo que implica limitaciones debido a la dependencia del clima, calidad del suelo y demás factores, además de requerir tareas repetitivas como el riego y la supervisión constante.

Como objetivo se tiene desarrollar un sistema que permita mejorar la eficiencia del

proceso de producción frente a métodos tradicionales. Esto se logra mediante la implementación del sistema que permite controlar las variables de temperatura y humedad y procesos como el riego y la activación de luz artificial. Adicionalmente, se implementa un monitoreo mediante una plataforma IoT donde se monitorea el cultivo, recolectando valores de temperatura, humedad y peso del cultivo.

El procedimiento requirió identificar los requerimientos de producción, el diseño y programación del sistema de control, y la validación del sistema comparando un cultivo expuesto a condiciones naturales sin control frente a los ubicados en el invernadero. Como resultado, se observa la capacidad del sistema de mantener las condiciones que aseguran la calidad del forraje.

**ABSTRACT:** *This project develops an automated system for the cultivation of hydroponic green fodder in a scale greenhouse. The seeds used for the development of the project are corn and wheat seeds, selected for their high adaptability to hydroponic cultivation. Traditionally, this type of crop is grown under uncontrolled conditions, such as in trays or directly in the soil, which implies limitations due to the dependence on climate, soil quality and other factors, in addition to requiring repetitive tasks such as irrigation and constant supervision.*

*The objective is to develop a system to improve the efficiency of the production process compared to traditional methods. This is achieved through the implementation of a system that allows controlling temperature and humidity variables and processes such as irrigation and artificial light activation. Additionally, monitoring is implemented through an IoT platform where the crop is monitored, collecting temperature, humidity and crop weight values.*

*The procedure required identifying the production requirements, the design and programming of the control system, and the validation of the system by comparing a crop exposed to natural conditions without control versus those located in the greenhouse. As a result, the ability of the system to maintain conditions that ensure forage quality is observed.*

**CONCLUSIONES:** De acuerdo al primer objetivo, “Identificar los requerimientos de producción y de automatización de un forraje verde hidropónico”, se establecieron las condiciones necesarias para el crecimiento del forraje, como la temperatura, humedad, luz y cantidad de riego necesarias. Se definieron los componentes electrónicos clave para la automatización (sensores y actuadores), debido a esto se diseñó un sistema que asegure el control y monitoreo de las variables.

Para el segundo objetivo, “Diseñar un sistema de control y automatización para controlar las variables que afectan el desarrollo del forraje (Temperatura, luz y humedad)”, se diseñó e implementó un sistema funcional que respondió a la variabilidad de las condiciones ambientales. El sistema tuvo una buena respuesta

para la activación de los actuadores, para la activación programada de la luz artificial y riego, y para el envío de datos a la plataforma IoT.

En el tercer objetivo, “Evaluar el sistema automatizado frente a un cultivo tradicional para implementarlo en invernadero a escala con el fin de que permita mantener un ambiente óptimo para la producción de forraje verde hidropónico”, se realizó un análisis donde se observó que la bandeja expuesta al sistema automatizado crece de manera uniforme y logró tener una mejor calidad que un cultivo tradicional expuesto a condiciones naturales y riego manual. Esto es debido a que la estabilidad de condiciones ambientales que ofrece el invernadero son buenas para el cultivo y redujo la dependencia a factores externos como el clima y una correcta implementación del ciclo de riego.

Por último, con la implementación de la plataforma IoT se pudo hacer un monitoreo constante de las variables de temperatura, humedad y peso del cultivo, lo que facilitó la detección de anomalías y redujo la necesidad de intervención manual, eliminando tareas repetitivas como el riego.

**CONCLUSIONS:** *According to the first objective, “To identify the production and automation requirements of a hydroponic green fodder”, the necessary conditions for the growth of the forage were established, such as temperature, humidity, light and amount of irrigation. The key electronic components for automation (sensors and actuators) were defined, and a system was designed to ensure the control and monitoring of the variables.*

*For the second objective, “Design a control and automation system to control the variables that affect fodder development (temperature, light and humidity)”, a functional system was designed and implemented that responded to the variability of environmental conditions. The system had a good response for the activation of the actuators, for the programmed activation of artificial light and irrigation, and for sending data to the IoT platform.*

*In the third objective, “To evaluate the automated system against a traditional crop to implement it in a greenhouse scale in order to maintain an optimal environment for the production of hydroponic green fodder”, an analysis was carried out where it was observed that the tray exposed to the automated system grows uniformly and achieved a better quality than a traditional crop exposed to natural conditions and manual irrigation. This is because the stability of environmental conditions offered by the greenhouse are good for the crop and reduced dependence on external factors such as climate and a correct implementation of the irrigation cycle.*

*Finally, with the implementation of the IoT platform it was possible to constantly monitor temperature, humidity and crop weight variables, which facilitated the detection of anomalies and reduced the need for manual intervention, eliminating repetitive tasks such as irrigation.*

**RECOMENDACIONES:** Si bien se puede tener un buen resultado con las variables que se decidió controlar en el sistema (temperatura, humedad y luz), se sugiere ampliar el sistema integrando sensores de concentración de CO<sub>2</sub> y sensores de pH en el agua utilizada para el riego, estos factores también podrían tener una influencia en la calidad final del forraje. Esto optimizaría aún más el proceso de cultivo del forraje.

Para este proyecto no se utilizaron fuentes de energía alternativas para cubrir las necesidades de iluminación, ventilación y activación de bomba para el riego. Se considera evaluar la implementación de estas fuentes para aumentar la sostenibilidad y disminuir los costos asociados a la electricidad a largo plazo.

Finalmente, la inclusión de una plataforma IoT resultó ser de gran utilidad para seguir el proceso de germinación del cultivo, midiendo su peso conforme el paso de los días y monitoreando el clima dentro del invernadero. Sin embargo, sería beneficioso implementar un sistema de avisos que notifiquen al usuario sobre cualquier anomalía en las variables mostradas en la interfaz con el fin de que permita una intervención rápida para mantener a salvo la integridad del cultivo.

***RECOMMENDATIONS:** Although it is possible to have a good result with the variables that were decided to control in the system (temperature, humidity and light), it is suggested to expand the system by integrating CO<sub>2</sub> concentration sensors and pH sensors in the water used for irrigation, as these factors could also have an influence on the final quality of the forage. This would further optimize the forage cultivation process.*

*For this project, no alternative energy sources were used to cover the needs of lighting, ventilation and pump activation for irrigation. Consideration is given to evaluating the implementation of these sources to increase sustainability and decrease costs associated with electricity in the long term.*

*Finally, the inclusion of an IoT platform proved to be very useful to follow the germination process of the crop, measuring its weight as the days go by and monitoring the climate inside the greenhouse. However, it would be beneficial to implement a warning system that notifies the user of any anomaly in the variables displayed on the interface in order to allow quick intervention to keep the crop's integrity safe.*