

EVALUACIÓN DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO PARA OPTIMIZAR EL RIEGO Y CONDICIONES DE GERMINACIÓN DE LECHUGA, TACNA
EVALUATION OF AN AUTOMATED GREENHOUSE TO OPTIMIZE IRRIGATION AND GERMINATION CONDITIONS OF LETTUCE, TACNA

Autores: ¹Alexia Valeria Maquera Pilco.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-7815-7093>

¹E-mail de contacto: avmaquerap@unjbg.edu.pe

Afiliación: ¹*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 31 de junio del 2025

Artículo revisado: 1 de julio del 2025

Artículo aprobado: 12 de julio del 2025

¹Estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo automatizar un invernadero para generar condiciones óptimas de germinación de lechuga y evaluar el consumo de agua respecto a un sistema tradicional de cultivo. Se diseñó un prototipo de invernadero automatizado que integró sensores ambientales de temperatura y humedad del suelo conectados a un sistema de control mediante Arduino. Estos sensores activaron automáticamente componentes como riego por aspersión, ventilación y calefacción, manteniendo las condiciones ideales de 20 a 25 °C de temperatura y entre 60 y 80 % de humedad del suelo. Se compararon dos métodos de cultivo: el invernadero automatizado y una bandeja tipo forestry sin control ambiental. En el tercer día de observación, se registró un consumo de 400 ml de agua en el invernadero frente a 700 ml en la bandeja. Asimismo, en el invernadero se logró una germinación más rápida y uniforme, con una altura promedio de 1.5 centímetros, mientras que en la bandeja no se observaron brotes. Concluyendo que el sistema automatizado mejora tanto la eficiencia hídrica como las condiciones para el desarrollo temprano de la lechuga, siendo una alternativa viable para zonas agrícolas con limitaciones de agua.

Palabras clave: Automatización, Invernadero, Sensores, Aspersión, Germinación, Agua, Temperatura, Humedad.

Abstract

The present study aimed to automate a greenhouse to generate optimal germination conditions for lettuce and evaluate water consumption compared to a traditional cultivation system. An automated greenhouse prototype was designed that integrated environmental temperature and soil moisture sensors connected to an Arduino-based control system. These sensors automatically activated components such as sprinkler irrigation, ventilation, and heating, maintaining ideal conditions of 20 to 25°C and 60 to 80% soil moisture. Two cultivation methods were compared: the automated greenhouse and a forestry-type tray without environmental control. On the third day of observation, 400 ml of water consumption was recorded in the greenhouse versus 700 ml in the tray. Furthermore, germination was faster and more uniform in the greenhouse, with an average height of 1.5 centimeters, while no sprouts were observed in the tray. The conclusion is that the automated system improves both water efficiency and conditions for the early development of lettuce, making it a viable alternative for agricultural areas with limited water resources.

Keywords: Automation, Greenhouse, Sensors, Sprinkling, Germination, Water, Temperature, Humidity.

Sumário

O presente estudo teve como objetivo automatizar uma estufa para gerar condições ótimas de germinação para alface e avaliar o consumo de água em comparação com um

sistema de cultivo tradicional. Foi projetado um protótipo de estufa automatizada que integrou sensores de temperatura ambiente e umidade do solo conectados a um sistema de controle baseado em Arduino. Esses sensores ativaram automaticamente componentes como irrigação por aspersão, ventilação e aquecimento, mantendo condições ideais de 20 a 25 °C e 60 a 80% de umidade do solo. Dois métodos de cultivo foram comparados: a estufa automatizada e uma bandeja do tipo florestal sem controle ambiental. No terceiro dia de observação, 400 ml de consumo de água foram registrados na estufa versus 700 ml na bandeja. Além disso, a germinação foi mais rápida e uniforme na estufa, com altura média de 1,5 centímetros, enquanto nenhum broto foi observado na bandeja. A conclusão é que o sistema automatizado melhora tanto a eficiência hídrica quanto as condições para o desenvolvimento inicial da alface, tornando-se uma alternativa viável para áreas agrícolas com recursos hídricos limitados.

Palavras-chave: Automação, Estufa, Sensores, Aspersão, Germinação, Água, Temperatura, Umidade.

Introducción

En el Perú, la infraestructura de riego agrícola presenta una marcada desigualdad. Según el Ministerio de Agricultura y Riego (2016) solo el 36 % de las tierras de cultivo disponen de sistemas de riego, mientras que el 64 % restante depende de las precipitaciones. De la superficie agrícola que cuenta con riego, el 87 % se ubica en la costa, en contraste con apenas un 30 % en la sierra. Además, predomina el uso del riego por gravedad (88 %), frente a un escaso 4.3 % que emplea tecnologías de riego tecnificado (Palomino y Lima, 2024). Esta limitada adopción de sistemas eficientes incide negativamente en el uso racional del agua, especialmente en regiones como Tacna, donde el recurso hídrico es escaso y la actividad agrícola exige soluciones sostenibles (Limache et al., 2021). Los métodos tradicionales de riego como el goteo o la inundación, aunque

ampliamente usados en zonas como Magollo, Copare y La Yarada, presentan limitaciones. El riego por inundación, por ejemplo, desperdicia grandes volúmenes de agua, mientras que el goteo, aunque más eficiente, requiere inversiones elevadas y mantenimiento especializado (Cui et al., 2022). En este contexto, los sistemas de riego automatizados surgen como una alternativa viable. Un invernadero automatizado, estructura cerrada cubierta por material traslúcido, permite controlar variables ambientales clave como temperatura y humedad del suelo (Ticona et al., 2019; Ventura y Lima, 2024). Al integrar sensores de temperatura y humedad, es posible activar mecanismos como riego por aspersión, ventilación o calefacción, según las necesidades del cultivo (Santander, 2023). Estos sensores permiten optimizar el tiempo y la cantidad de riego, reducir el estrés hídrico de las plantas y mejorar procesos fisiológicos como la fotosíntesis, transpiración y absorción de nutrientes (SensorGO, 2022).

Particularmente, el riego por aspersión reproduce el efecto de la lluvia, proporcionando agua de manera uniforme mediante la presión hidráulica generada por bombas, lo cual lo convierte en un método adaptable y de bajo consumo (Peralta y Simfendofer, 2001). Además, permite automatización mediante programadores, facilitando el suministro eficiente de agua en zonas agrícolas con suelos de baja permeabilidad. El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) es sensible a las condiciones climáticas. Su óptimo desarrollo requiere una temperatura entre 20 °C y 25 °C y una humedad del suelo entre 60 % y 80 % (Martínez et al., 2015). En campo abierto, estas condiciones no siempre pueden ser garantizadas, y la falta de información en tiempo real sobre el estado del suelo conlleva a riesgos excesivos o deficientes, afectando la germinación (Galindo et al., 2017).

Así la automatización de un invernadero mediante la implementación del sensor de temperatura permitirá darle un ambiente óptimo para el crecimiento de la planta, mientras que, el sensor de humedad del suelo permitirá regar la planta mediante un sistema por aspersión, solo cuando sea necesario lo que significa una distribución óptima del agua (Daza et al., 2014; Valencia et al, 2021).

Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental. La variable independiente es la automatización del invernadero y las variables dependientes son consumo de agua, días de germinación de lechuga (*Lactuca sativa*). En la tabla 1 se presenta una lista de materiales empleados para el desarrollo de la investigación. Para llevar a cabo este proyecto, se requiere un listado de materiales que incluye un sensor de humedad de la tierra y un sensor de temperatura para monitorear las condiciones del entorno, un Arduino UNO como placa de control, un Protoboard y cables de conexión para realizar las conexiones necesarias, una bomba de agua sumergible para irrigar las plantas, un foco para proporcionar iluminación adicional, ventiladores para mantener una temperatura adecuada, una pantalla LCD para mostrar la información recopilada, una bandeja Forestry para colocar las semillas de lechuga y facilitar su crecimiento, y las semillas de lechuga mismas para iniciar el cultivo.

Primeramente, se comprobaron los sensores en el Arduino y Protoboard. Luego se realizó la conexión de los cables para instalar los sensores, focos, y ventiladores. Se conectó el Lcd para que se logren visualizar los datos de temperatura y humedad de la tierra a tiempo real. Se alargaron los cables para que pueda ingresar los sensores dentro del invernadero. Se instaló la bomba de agua y los tubos para el riego por aspersión. Se programó valores

óptimos de temperatura y humedad para la germinación de la lechuga dentro del prototipo de invernadero.

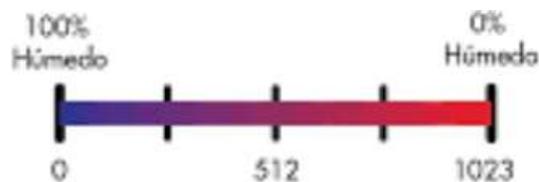


Figura 1. Valores de humedad para un sensor de humedad

Para evaluar la automatización del invernadero en relación con el consumo de agua y los parámetros climatológicos (temperatura y humedad), se realizó una comparación entre la germinación de la lechuga (*Lactuca sativa*) en un invernadero automatizado y en una bandeja tipo forestry bajo condiciones ambientales normales. Para ello, se registró la cantidad de agua utilizada en cada sistema, así como las condiciones climatológicas y el número de días requeridos para la germinación de las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) en ambos entornos.

Resultados y Discusión

Automatización del invernadero mediante sensores para generar condiciones óptimas para la germinación de lechuga y controlar el riego

Para la automatización se implementó un sistema de control programado en Arduino, utilizando sensores de temperatura y humedad del suelo para la activación automática de componentes clave del sistema: ventiladores, luminaria y riego por aspersión, esta programación son presentados en la Tabla 2 indicando que cuando la temperatura ambiental detectada es menor a 20 °C, el sistema activa un relay que enciende una fuente de calor o foco (acondicionador térmico), con el fin de mantener una temperatura mínima favorable para la germinación de *Lactuca sativa*. En caso contrario, el foco permanece apagado. Asimismo, si la temperatura supera los 25 °C,

se activan dos ventiladores conectados al sistema (ventilador y ventilador2) para regular el ambiente interno del invernadero y evitar condiciones térmicas extremas que podrían afectar negativamente el desarrollo del cultivo. En cuanto a la humedad del suelo, el sistema evalúa dos umbrales críticos. Si la humedad es mayor a 800 unidades (valor del sensor), se considera que el sustrato está seco, por lo que se activa la bomba de agua mediante el bombarelay, iniciando el riego por aspersión. Por el contrario, si la humedad es menor a 500 unidades, se asume que el sustrato está lo suficientemente húmedo, por lo que el sistema apaga automáticamente la bomba para evitar el exceso de agua.

Tabla 1. Condiciones programadas para la automatización del invernadero

Sensor	Condición detectada	Acción del sistema	Componente activado
Temperatura	T < 20 °C	Enciende fuente de calor	Relay (foco)
	T > 25 °C	Activa sistema de ventilación	Ventilador 1 y 2
Humedad del suelo	Humedad > 800 u (sustrato seco)	Activa riego por aspersión	Bomba de agua (relay)
	Humedad < 500 u (sustrato húmedo)	Desactiva riego	Bomba de agua apagada

Fuente: elaboración propia

```

if (t < 20) {
  digitalWrite(relay,HIGH);
}
//si la temperatura es menor a 20 el relay(foco) se enciendera
else {
  digitalWrite(relay,LOW);
  //caso contrario se apaga
}
if (t > 25){
  digitalWrite(ventilador,HIGH);
  digitalWrite(ventilador2,HIGH);
  // si el ventilador es > mayor a 25 enciende los ventiladores
}
if (humedad > 800) {
  //Serial.println("esta seco");
  digitalWrite(bombarelay,HIGH);
  //si la humedad > 780 el el relay(bomba de agua) se enciendera
}
if (humedad < 500) {
  //Serial.println("esta mojado");
  digitalWrite(bombarelay,LOW);
  //caso contrario se apaga
}

```

Figura 1. Código para la automatización

La Figura 2 muestra la activación de la bomba de agua cuando el sensor de humedad del suelo registró un valor de 800, correspondiente a una humedad inferior al 60 %.



Figura 2. Riego por aspersión

Evaluación del consumo de agua y el efecto de los parámetros climatológicos en la germinación de lechuga

Para evaluar el consumo de agua y el efecto de los parámetros climatológicos en la germinación de *Lactuca sativa*, se compararon dos métodos de cultivo: un invernadero automatizado y una bandeja forestry. Al tercer día, la planta en el invernadero automatizado utilizó 400 ml de agua, mientras que en la bandeja forestry el consumo fue de 700 ml, generando un excedente innecesario de 300 ml (Tabla 2). Esto evidencia que el sistema automatizado permitió un uso más eficiente del recurso hídrico, activando el riego solo cuando la humedad del suelo fue inferior al umbral programado (menos del 60 %).

Tabla 2. Consumo de agua de 3 días

Método	Consumo de agua
Invernadero automatizado	400 ml
Bandeja forestry	700 ml

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 nos muestra al tercer día bajo condiciones controladas de temperatura (20–25 °C) y humedad del suelo (60–80 %), la germinación en el invernadero fue más rápida y

uniforme (Figura 3), a diferencia de la bandeja forestry, donde no se observó un crecimiento significativo en el mismo periodo (Figura 5). Esta diferencia se atribuye al monitoreo y control automatizado que mantuvo las condiciones óptimas para el desarrollo de la planta.

Tabla 3. Condiciones en las que se encuentra la planta para su crecimiento

Método	Parámetro		
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Altura (cm)
Invernadero automatizado	20-25°C	60-80%	1.5
Bandeja forestry	No controlado	No controlado	0

Fuente: elaboración propia



Figura 3. Germinación de la planta en el invernadero automatizado al tercer día

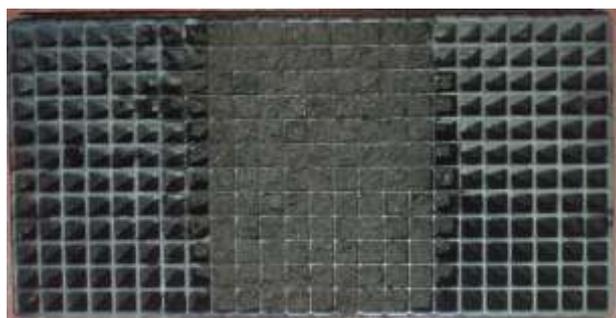


Figura 4. Germinación de la planta en la bandeja forestry al tercer día

Los resultados evidenciaron que el sistema automatizado respondió eficazmente ante las condiciones climáticas internas del invernadero. Cuando la temperatura descendía por debajo de los 20 °C, se activaban automáticamente los focos para generar calor, y al superar los 25 °C, se encendían ventiladores para mantener el rango ideal. Asimismo, al detectar un valor de humedad mayor a 800

unidades (indicación de suelo seco), el sistema activaba la bomba para iniciar el riego por aspersión, apagándose automáticamente cuando el nivel de humedad descendía por debajo de 500 unidades. Esta dinámica de control automático es coherente con lo mencionado por SensorGO (2022), quien sostiene que los sensores permiten monitorear y mantener condiciones fisiológicas adecuadas para el cultivo al activar funciones clave como la transpiración, fotosíntesis y absorción de nutrientes. Además, se cumplió el criterio técnico propuesto por Bustos (2017), quien establece que, para una buena germinación de *Lactuca sativa*, la temperatura debe oscilar entre 18 y 20 °C y la humedad relativa debe mantenerse entre 60 y 80%. Estas condiciones fueron replicadas con éxito en el invernadero automatizado gracias al sistema programado en Arduino, lo cual no fue posible en la bandeja forestry, donde no se tenía control ambiental. De esta manera, la automatización del invernadero no solo ofreció un entorno constante, sino que también aseguró el cumplimiento de los rangos fisiológicos óptimos para el crecimiento de la lechuga, mostrando una germinación más uniforme y rápida.

En cuanto al uso del recurso hídrico, se observó una diferencia sustancial entre ambos sistemas. El invernadero automatizado consumió solo 400 ml al tercer día, mientras que la bandeja forestry requirió 700 ml, lo que representa un exceso de 300 ml de agua. Esto demuestra que el sistema automatizado, al regar únicamente cuando el sensor lo indica, promueve un uso racional del agua. Según Palomino y Lima (2024), el riego tecnificado por aspersión permite conservar las propiedades físicas del suelo y mejora la eficiencia en la distribución del agua, al aplicarla en la cantidad necesaria y solo cuando es requerido por el cultivo. Esta

afirmación es respaldada en este estudio, donde la automatización redujo el desperdicio de agua sin afectar negativamente el desarrollo de la planta. Respecto al efecto de los parámetros climatológicos, se evidenció que bajo condiciones controladas (20–25 °C de temperatura y 60–80 % de humedad), la germinación de la lechuga en el invernadero fue más acelerada, alcanzando una altura de 1.5 cm al tercer día. En contraste, en la bandeja forestry, donde no hubo control de temperatura ni humedad, no se observó crecimiento en el mismo periodo. Este hallazgo concuerda con SensorGO (2022), quien destaca la importancia de sensores ambientales para garantizar una adecuada apertura estomática y funcionamiento metabólico de la planta. Asimismo, refuerza la afirmación de que el rendimiento de los cultivos está estrechamente vinculado al control preciso del microclima. Por tanto, el uso de un invernadero automatizado no solo mejora la eficiencia del riego, sino que también optimiza el desarrollo fisiológico del cultivo.

Conclusiones

La automatización del invernadero permitió crear un ambiente controlado y favorable para la germinación de lechuga (*Lactuca sativa*). Gracias a los sensores de temperatura y humedad, fue posible activar de forma automática el sistema de riego por aspersión, los ventiladores y la fuente de calor, manteniendo la temperatura entre 20 y 25 °C y la humedad del suelo entre 60 y 80 %. Estas condiciones, recomendadas por diversos estudios, facilitaron una germinación más rápida y uniforme, alcanzando una altura de 1.5 cm al tercer día. Esto demuestra que, al automatizar el control del ambiente, se mejora significativamente el desarrollo inicial de la planta, reduciendo riesgos y variaciones propias del cultivo tradicional. Se comparó el consumo de agua entre el invernadero automatizado y una

bandeja forestry sin control ambiental, donde el invernadero solo necesitó 400 ml de agua en tres días, mientras que la bandeja usó 700 ml para el mismo periodo, confirmando que el sistema automatizado permite regar únicamente cuando la planta lo necesita, evitando el desperdicio del recurso hídrico.

Referencias Bibliográficas

- Abraham, G. (2020). Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11 con Arduino. <https://www.automatizacionparatodos.com/sensor-dht11-arduino/>
- Bustos, D. (2017). *Propuesta de un sistema de control y automatización con administración remota a través de un smartphone android para el riego del cultivo de lechuga en la finca los almendros del departamento de jinotega en el año 2017*. [Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Electronica]. <https://repositorio.unan.edu.ni/8246/1/97476.pdf>
- Cui, Z., Yan, B., Gao, Y., Wu, B., Wang, Y., Wang, H., Xu, P., Zhao, B., Cao, Z., Zhang, Y., Xie, Y., Hu, Y., Ma, X., & Niu, J. (2022). Agronomic cultivation measures on productivity of oilseed flax: A review. *Oil Crop Science*, 7(1), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2022.02.006>
- Daza, J., Gómez, G. y Maestre, J. (2014). Diseño de la automatización de un invernadero de plántulas de tomate rojo. *Revista Interdisciplinaria de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías*.1(2), 16-30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8742408>
- Galindo, D; Vargas, M.; Corredor, J. (2017). Caracterización de Temperatura y Humedad de Suelos Agrícolas. *Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central*.
- Limache, E., Choque, V., Piaggio, M., Limache, E., Choque, V., & Piaggio, M. (2021). Propuesta de programa para la optimización de los recursos hídricos en zonas áridas de Tacna, Perú. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 521-535.
- Martínez, G.; Lara, A.; Padilla, L.; Luna, M.; Avelar, J y Llamas, J. (2015). Evaluación

- técnica y financiera del cultivo de lechuga en invernadero, como alternativa para invierno. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.* 33(3) 251-260. Chapingo, México. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57341186007.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2016). *Diagnóstico y características del agro peruano*. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/novedades/2013/presentaciones/Ministerio-de-Agricultura-y-Riego.pdf
- Santander, B. (2023). Invernaderos inteligentes, qué son y cómo funcionan. *Banco Santander*. <https://www.bancosantander.es/blog/pymes-negocios/invernaderos-inteligentes-que-son>
- SensorGO, M. K. T. (2022). *Utilidad del Sensor de Humedad para el Cultivo de Plantas en Invernaderos*. <https://sensorgo.mx/sensor-de-humedad/>
- Palomino y Lima (2024). *Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba 2022*. [Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Electricista]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14202/1/IV_FIN_109_TE_Ventura_Lima_2024.pdf
- Peralta J., y Simfendofer C., (2001). *Riego por aspersión*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1#:~:text=El%20riego%20por%20aspersi%C3%B3n%20consiste,las%20boquillas%20de%20un%20aspersor>
- Ticona, J., García, M., & Miranda, R. (2019). Evaluación de un sistema de control automatizado de manejo climático en relación al manejo tradicional de invernadero en el centro experimental Cota. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 46-59.
- Valencia, Y., Henao, C. A., Polanco, M. F., Valencia, Y., Henao, C. A., & Polanco, M. F. (2021). Validación de un Prototipo Electrónico para el Control de Fertirrigación e Invernaderos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(29), 28-36. <https://doi.org/10.31908/19098367.1705>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Alexia Valeria Maquera Pilco.

