



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.1998>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

Análisis de un sistema automático para controlar el microclima y mejorar las condiciones de germinación y enraizamiento

Analysis of an automatic system to control the microclimate and improve germination and rooting conditions

Análise de um sistema automático para controlar o microclima e melhorar as condições de germinação e enraizamento

Telmo Jesús Gerardo Moreno-Romero ^I
telmomoreno@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9354-5995>

Jorge Isaías Caicedo-Reyes ^{II}
iscarey@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9875-6348>

Mishell Carolina Moreno-Samaniego ^{III}
mishell.moreno@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5679-5485>

Danny Santiago Tite-Pilaguano ^{IV}
danny.stite@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4680-4947>

Correspondencia: telmomoreno@hotmail.com

***Recibido:** 28 de mayo del 2021 ***Aceptado:** 25 de junio del 2021 * **Publicado:** 02 de julio del 2021

- I. Especialista en Computación Aplicada al Ejercicio Docente, Master en Ciencias, Ingeniero Mecánico, Docente Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Magister en Diseño Mecánico, Ingeniero Mecánico, Formación de Formadores, Docente Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Master Universitario en Biología Celular y Molecular, Bioquímica Clínica, Docente Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniero Mecánico, Investigador Independiente, Ecuador.

Resumen

Actualmente, varias especies de plantas ornamentales son importadas en el Ecuador, generando altos costos de inversión al productor. El objetivo de esta investigación fue analizar, diseñar y construir un sistema automatizado de control microclimático para la germinación y enraizamiento de estas plantas. Se determinaron los valores de los parámetros climáticos necesarios para la germinación y enraizamiento de especies como Cyclamen, Begonia, Poinsettia y Geranio. Se diseñó un prototipo experimental, iniciando con el modelado de la cámara, y se seleccionaron los equipos de calentamiento, ventilación, nebulización y renovación del aire al interior de la cámara. Las variables climáticas se controlaron por el microordenador Raspberry Pi3B+, que, mediante una interfaz gráfica creada por programación, interpreta los datos obtenidos por sensores de humedad y temperatura dentro de la cámara; y las compara con los parámetros seteados por el usuario para finalmente emitir la orden de encendido o apagado de los equipos. Las pruebas se realizaron por el lapso de 2 meses con 1000 semillas y 1000 esquejes de cada especie en condiciones normales de clima. Fuera de la cámara se obtuvo un porcentaje de eficiencia del 30-40% y dentro de la cámara automatizada se obtuvo un 80-90% de semillas germinadas y esquejes enraizados, concluyendo que el proyecto define buenos resultados.

Palabras Clave: Diseño mecánico; agronomía; cámara de germinación; microclima; enraizamiento; germinación; microordenador.

Abstract

Nowadays, several species of ornamental plants are imported in Ecuador, generating high investment costs to the producer. The objective of this research was to analyze, design and build an automated microclimate control system for the germination and rooting of these plants. The necessary values of the climatic parameters for the germination and rooting of species such as Cyclamen, Begonia, Poinsettia and Geranium were established. An experimental prototype was designed, starting with the modeling of the chamber, and selecting the equipment for heating, ventilation, nebulization, and air renewal inside of the chamber. The climatic variables were controlled by the Raspberry Pi3B+ microcomputer which, through a graphical interface created by programming, interprets the data obtained by the humidity and temperature sensors located inside the chamber. And then, it compares them with the parameters set by the user to finally issue the order to turn the equipment on/off. The

tests were carried out for a period of 2 months with 1000 seeds and 1000 cuttings for each specie, in normal weather conditions. Finally, important results were shown, outside the chamber we obtained an efficiency percentage of 30-40% and inside of the automated chamber an 80-90% efficiency, by the indicator of the germinated seeds and rooted cuttings, concluding that the project defines good results.

Keywords: Mechanical design; agronomy; germination chamber; microclimate; rooting; germination; microcomputer.

Resumo

Atualmente, várias espécies de plantas ornamentais são importadas para o Equador, gerando altos custos de investimento para o produtor. O objetivo desta pesquisa foi analisar, projetar e construir um sistema de controle microclimático automatizado para a germinação e o enraizamento dessas plantas. Foram determinados os valores dos parâmetros climáticos necessários à germinação e enraizamento de espécies como Ciclâmen, Begônia, Poinsetia e Gerânio. Foi elaborado um protótipo experimental a partir da modelagem da câmara, sendo selecionado o equipamento de aquecimento, ventilação, nebulização e renovação do ar no interior da câmara. As variáveis climáticas foram controladas pelo microcomputador Raspberry Pi3B +, que, por meio de uma interface gráfica criada por programação, interpreta os dados obtidos por sensores de umidade e temperatura no interior da câmara; e os compara com os parâmetros definidos pelo usuário para finalmente emitir a ordem de ligar ou desligar o equipamento. Os testes foram realizados por um período de 2 meses com 1000 sementes e 1000 estacas de cada espécie em condições climáticas normais. Fora da câmara, foi obtida uma porcentagem de eficiência de 30-40% e dentro da câmara automatizada, 80-90% de sementes germinadas e estacas enraizadas foram obtidas, concluindo que o projeto define bons resultados.

Palavras-chave: Mechanical design; agronomia; câmara de germinação; microclima; enraizamento; germinação; microcomputador.

Introducción

Con el auge de la tecnificación y automatización de los procesos industriales, en los últimos años se ha involucrado al sector agrícola en esta clase de procesos, tecnificando sus cultivos, con el

objetivo de hacerlos cada vez más eficientes y productivos, y por ende tener la capacidad de competir con los demás países en los tratados de libre comercio. (1)

Con esta práctica, se espera que las condiciones ambientales sean benéficas para que ayuden a la germinación de semillas y enraizamiento de esquejes. Sin embargo, bajo esta modalidad, se invierte una considerable cantidad de tiempo y dinero.

La instalación de invernaderos tecnificados y cámaras de germinación de semillas han logrado que el agricultor obtenga buenos resultados en cualquier temporada. En el presente estudio, se define un proceso mediante el cual se detallan los equipos, controladores y parámetros de programación necesarios para que la germinación y enraizamiento de las semillas o esquejes al interior de la cámara sea lo más eficiente posible, basándonos en un sistema automatizado capaz de controlar un microclima.

A nivel mundial, la agricultura se ha visto afectada por factores externos como la lluvia, el viento, el granizo, altas o bajas temperaturas. Sin embargo, los agricultores han buscado métodos que mejoren las condiciones generando altas expectativas en la calidad de sus productos. Actualmente, los cultivos en climas controlados han aumentado y, con ellos, la demanda de tecnología y recursos. Todo esto para controlar los factores de temperatura y humedad centralizada.

Ecuador es un país donde gran parte del movimiento económico, tanto interno como externo, depende de la agricultura. Gracias a esto, se emplean estudios que enfoquen sus investigaciones en la búsqueda de nuevas alternativas tecnológicas para el desarrollo del sector agrícola con el objetivo de aumentar su producción. Beneficiando a los agricultores para que puedan mejorar y fortalecer su calidad de vida. Es necesario plantear de manera urgente una revolución tecnológica en el agro. (1)

Marco teórico

Para manejar el clima dentro de una cámara de germinación o de un invernadero común, se deben considerar las condiciones ambientales del exterior. Durante todo el día, las condiciones internas deben ser monitoreadas para que los encargados puedan activar los dispositivos de control de temperatura, humedad, radiación y concentración de CO₂, muchas veces de manera manual.

Germinación de semillas y enraizamiento de semillas

El proceso de germinación de semillas consiste en el crecimiento desde un estado de reposo hasta el desarrollo de la planta. Para que la germinación pueda ocurrir, son necesarios algunos factores externos e internos. Dentro de los factores externos (o extrínsecos) el ambiente juega un rol preponderante, incidiendo entonces la humedad, luz, gases y temperatura. (2)

Los factores climáticos que afectan a la producción agrícola, no solo en los invernaderos o cámaras de germinación sino a la intemperie, son la luz, temperatura, humedad, niveles de concentración de CO₂, viento excesivo y lluvia. Por ello, si se logra tener un control automatizado mediante dispositivos o equipos en estos factores, se podrá comprobar que las condiciones de cultivo y germinación de plantas se incrementarán.

Para controlar todos estos parámetros necesitamos una serie de equipos e implementos que se utilizarán en diferentes ocasiones en función de la necesidad de la cámara de germinación, y que deben ser instalados siguiendo normativas de seguridad y protocolos que vienen definidos en los manuales de cada equipo. (3)

Procurando minimizar este esfuerzo, se han desarrollado modernas técnicas para el control de clima que nos permite depender cada vez menos de los factores climáticos externos y poder mantener las condiciones favorables las 24 horas del día sin llegar a provocar daños biológicos o físicos en las semillas o las plantas. (4)

En el desarrollo de la programación global del prototipo se utilizó un microprocesador RASPBERRY PI3B+. El software utilizado para la programación del sistema de control automático es una herramienta de programación llamada Thonny, un entorno de desarrollo integrado para Python.

Finalmente, el proyecto fue realizado en el Cantón Patate en la Provincia de Tungurahua, a una altura de 2254 m.s.n.m, una temperatura que varía entre los 11 - 23 grados centígrados, y con un clima: templado-seco.

Materiales y métodos

El enfoque de esta investigación fue cuali-cuantitativo. Se analizó el proceso de enraizamiento en la cámara considerando los factores óptimos para lograr niveles relativamente altos de efectividad. Obteniéndose un buen enraizamiento gracias a la aplicación de un sustrato

adecuado y a la generación de un microclima dentro de la cámara de enraizamiento. Este estudio fue realizado in-situ. Es decir, el proceso experimental fue realizado en el sitio mismo de la instalación del prototipo del sistema automatizado.

Materiales

En el presente análisis se utilizaron los materiales que se detallan a continuación:

- ***Esquejes***

Los esquejes son secciones o fragmentos de ramas pequeñas o tallos que se obtienen luego de la poda o de plantas llamadas madre o matriz utilizadas para la obtención de estos.

- ***Semillas***

Las semillas son el principal órgano reproductivo de la mayoría de las plantas terrestres, las mismas desempeñan una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones vegetales asegurando de esta manera la sucesión biológica del ecosistema. (5)

- ***Cámara de germinación***

Se considera una cámara de germinación a un medio físico construido y adaptado bajo condiciones ambientales óptimas para que las semillas inicien el proceso de germinación y enraizamiento controlado sin afectar su estructura biológica. Consta de un habitáculo, construido en materiales que permitan el paso de luz, dentro del cual se generan condiciones óptimas de cultivo. Lo que se logra con este sistema es que la mayor cantidad de semillas colocadas dentro del compost en las bandejas, lleguen a la germinación. (6)

Existe una gran diferencia entre las semillas germinadas al aire libre bajo condiciones normales y las que germinan bajo condiciones controladas. Estas diferencias radican principalmente en la cantidad de semillas germinadas, ya que en condiciones normales se logra un rendimiento máximo entre el 50% - 60%. Sin embargo, dentro de una cámara con un microclima controlado, se pretende obtener un 80% - 90% de éxito en la germinación y el enraizamiento.

Variables

En el presente análisis se pretende analizar y controlar los siguientes parámetros:

- **Microclima**

Es considerado como un entorno o ambiente reducido que tiene diferentes condiciones ambientales a las encontradas en la misma área. En el caso de la cámara de enraizamiento propuesta, se generan los siguientes datos:

Temperatura del piso: 21°C - 22°C

Temperatura de ambiente: 19°C – 20°C

- **Temperatura**

El proceso de germinación, como todos los procesos fisiológicos, está afectado por la temperatura. Para cada clase de semillas existe una temperatura mínima y una máxima en la que ocurre la germinación. Además, dentro del rango de temperatura mínima y máxima, existe un punto en el que se obtiene una máxima germinación y ésta ocurre con mayor rapidez.; Este punto corresponde a la temperatura óptima, entre 19°C - 27°C. (4)

La variación de la temperatura se encuentra estrechamente relacionada con la humedad; cuando la temperatura sube, el aire es capaz de absorber una mayor cantidad de humedad. Es por ello por lo que un control sobre la temperatura, tanto en exceso como en defecto, implica un control de la humedad. (3)

- **Ventilación:**

Ventilación forzada:

Se logra a través de la instalación de ventiladores helicoidales de gran caudal. Este sistema sirve para evacuar zonas de acumulación de calor en las partes altas de invernaderos con pendiente. (6)

Cálculo del caudal de ventilación

Para realizar el cálculo se tomó como referencia el procedimiento seguido en el manual de ventilación de Manuel Escoda (7). La principal razón de ventilar nuestra cámara de germinación y enraizamiento es proporcionar un ambiente higiénico, además de mantener la temperatura adecuada para que las especies a cultivarse se desarrollen correctamente. Otra ventaja de una correcta ventilación es que se puede controlar la humedad, el calor y despejar el ambiente de cualquier tipo de polución mediante la renovación del aire.

La ecuación que se expone a continuación servirá para calcular el caudal de ventilación necesario para la selección del equipo adecuado para la renovación de aire:

$$Q_V = \frac{V_T \cdot N}{60} \quad (1)$$

Donde,

N, indica los cambios o renovaciones de aire por cada hora de acuerdo con la norma ISO Clase 8, que recomienda 10-20 renovaciones por hora para un cuarto limpio. Se tomará un valor promedio de 15 renovaciones por hora (15ren/h).

Q_v , representa el gasto total (cfm) o ($\frac{m^3}{min}$)

V_T , indica el volumen total de la cámara de germinación y enraizamiento (cf) o (m^3)

Reemplazando los datos, obtenemos el caudal de ventilación necesario para la cámara de germinación y enraizamiento:

$$Q_v = \left(\frac{737,12 \text{ cf} \times 15 \frac{\text{ren}}{\text{h}}}{60} \right) = 184 \text{ cfm} = 5,222 \frac{m^3}{min}$$

Con este valor de caudal, seleccionamos nuestro extractor de aire con la ayuda de un catálogo de equipos de ventilación.

- **Humedad**

El agua es fundamental para que se inicie el proceso de germinación. La humedad del suelo hidrata la semilla, lo que produce el desarrollo del embrión que rompe la cubierta. La raíz se hunde hacia la tierra mientras que el tallo crece hacia el exterior formando la plántula. La humedad relativa se debe mantener entre el 90% y 95%. (7)

Nebulización a alta presión (Fog system)

Se trata de una serie de boquillas colocadas a lo largo de tuberías timbradas para soportar presiones de trabajo de 60-70 bares (se necesita un mínimo de 40 bares de presión). El caudal de agua que se vaporiza por boquilla se encuentra en un promedio de 5 L/h (60-70 bares). El diseño de la boquilla es muy importante ya que el tamaño de gota debe ser lo suficientemente pequeño para favorecer su evaporación en el aire, además de ofrecer la calidad de una pulverización “seca”. El chorro de agua choca con un obstáculo en la boquilla que provoca la formación de un cono de gotas, de las cuales el 95% son menores a 20 micras de diámetro, evitando la formación de charcos en ciertas zonas ya que de lo contrario el proceso de germinación se vería afectado. (8)

Actualmente, Fog System es el mejor sistema para bajar la temperatura y aumentar la humedad, debido a que provoca una fina gota que se evapora en el ambiente y no llega a mojar la planta. Por esta razón, usaremos el equipo Nebulizador Foggy Home que es un efectivo sistema nebulizador de fácil instalación para la climatización de exteriores de hasta 35 m², permitiendo un perfecto

Análisis de un sistema automático para controlar el microclima y mejorar las condiciones de germinación y enraizamiento

nebulizado de agua. Dispone de una potente bomba de 40 bares y un programador de tiempos, donde se consigue una refrigeración natural con muy poco nivel de ruido. Además, contiene 6 difusores con conectores rápidos.

- **Calefacción**

Los motivos por los que en determinadas circunstancias es importantes aumentar la temperatura, tanto en el interior de un invernadero como en las cámaras de germinación, son las de incrementar la velocidad de crecimiento de las plantas, reducir la humedad relativa del ambiente y eliminar riesgos de heladas. (9)

Calefacción por suelo radiante.

En el proceso intervienen las resistencias calefactoras que están hechas de alambre compuesto por una aleación de cobre, cromo y níquel. Esta combinación de metales es comúnmente hecha con una proporción de ocho partes de níquel y con las dos restantes de cromo. Esto debido a que se logra una fuerte resistencia a las altas temperaturas; el flujo de electrones por los conductores procura un corto circuito controlado por un transformador que proporciona la potencia necesaria para calentar el conductor sin llegar a fundir el metal. (10)

La calefacción por suelo radiante, desde el punto de vista funcional, no difiere mucho de la calefacción por agua caliente, la ventaja es su fácil instalación y gastos más bajos.

En la Tabla 1 se muestran datos sobre los tiempos de germinación y enraizamiento de ciertas variedades de plantas. Se reportan también las condiciones ambientales para la cámara de enraizamiento artificial, que se tomará como referencia para sestear el sistema de control.

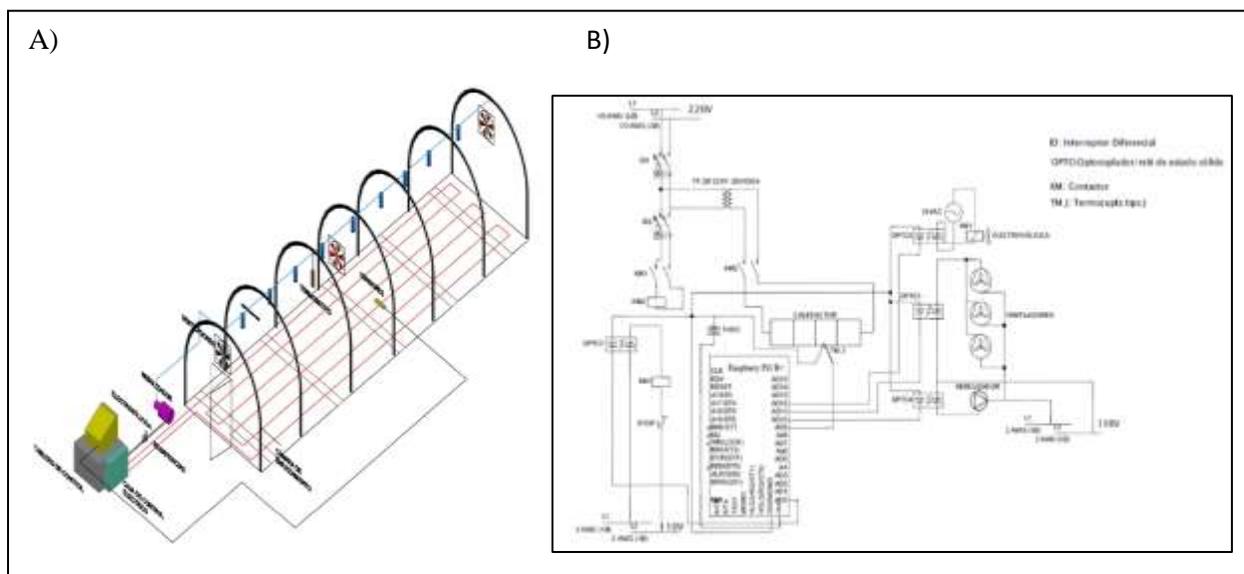
Tabla 1: Datos requeridos para la cámara de germinación y enraizamiento

Especie	Tiempo germinación/ enraizamiento	Humedad sustrato	Temperatura sustrato	Humedad Ambiente	Luz (Lux)	PH Sustrato
Begonia	28-35 días	Saturado (100%) Día 1-11 Medio (50%) Día 12 Humedad (40%) A partir del día 14.	23°C	100%	100-1000	5,5-5,8
Cyclamen	21-25 días	75% y 50%	18°C-20°C	90%+	35.000	5,5-5,8
Geranium	10-14 días	50%	18-21°C	75-90%	30.000	5,5-5,8
Poinsettia	15 días	50% constante	22-25°C	75-90%	20.000	5,5-5,8

Resultados y discusión

Prototipo Experimental

Figura 1: A) Distribución de los equipos en la cámara. B) Diagrama de conexión eléctrica y electrónica del sistema automático.



En los esquemas mostrados en la Fig.1. Se puede apreciar a) la distribución de los equipos en el sistema construido, perteneciendo a la parte mecánica los siguientes subgrupos:

- Tablero de control
- Caja de control eléctrico
- Líneas de resistencias eléctricas
- Bomba de nebulización y nebulizadores
- Ventiladores

Sensores (temperatura, humedad)

En la Fig.1. (b) se puede apreciar el plano de conexión de los componentes del sistema automático. Pertenecen a la parte eléctrica y electrónica de la cámara de germinación y enraizamiento los siguientes elementos:

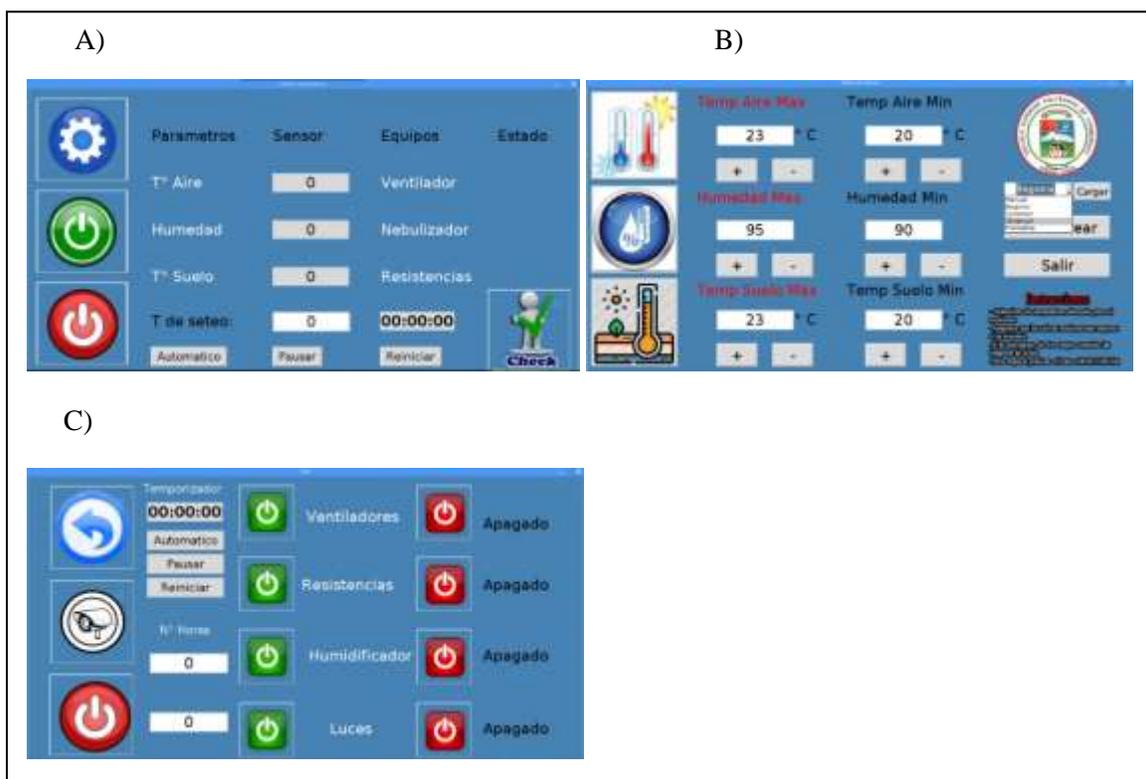
- Breakers
- Relés Estado solido

Análisis de un sistema automático para controlar el microclima y mejorar las condiciones de germinación y enraizamiento

- Interruptores de posición
- Raspberry Pi3 B+
- Contactor circuito de potencia
- Contactor circuito de control
- Fuente Convertidor
- Transformador
- Electroválvula

Aspecto del software utilizado para controlar los parámetros climáticos de la cámara de germinación

Figura 2: A) Pantalla Principal del sistema de control automático. B) Pantalla de seteo de los parámetros climáticos. C) Pantalla de control Manual (Testeo)



Pruebas de temperatura

Tabla 2: Datos de la temperatura mínima y máxima exterior a la cámara de germinación durante una semana

Día	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
1	8	22
2	10	32
3	9	24
4	12	30
5	10	22
6	11	30
7	8	26

Gráfico 1: Curva Temperatura mínima y máxima al exterior de la cámara

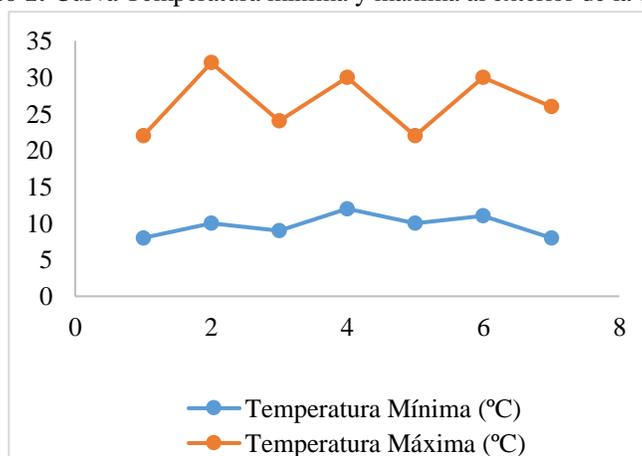


Tabla 3: Datos de la temperatura mínima y máxima en el interior de la cámara sin control automático durante una semana

Día	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
1	16	34
2	14	32
3	10	24
4	12	28
5	16	35
6	14	32
7	12	26

Análisis de un sistema automático para controlar el microclima y mejorar las condiciones de germinación y enraizamiento

Gráfico 2: Curva Temperatura mínima y temperatura máxima al interior de la cámara

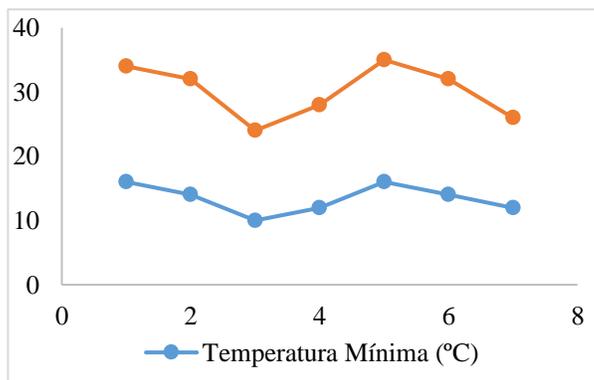
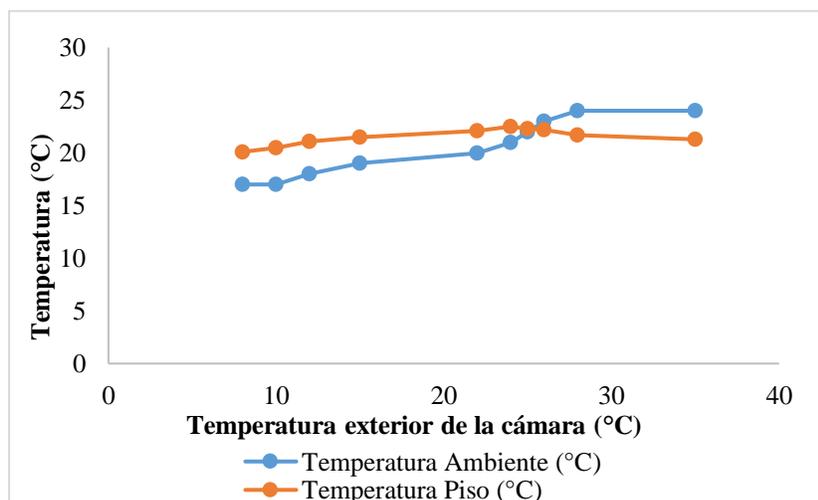


Tabla 4: Medición de la variación de las temperaturas durante el día.

Temperatura Exterior (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura del Piso (°C)
8	16,5	20,1
10	17,3	20,5
12	18,2	21,1
15	19,1	21,5
22	20,2	22,1
24	21,6	22,5
25	22,1	22,3
26	23,6	22,2
28	24,4	21,7
35	24,8	21,3

Gráfico 3: Curva temperatura Ambiente, Temperatura Piso vs Temperatura Exterior con el funcionamiento del sistema de control automático del microclima.

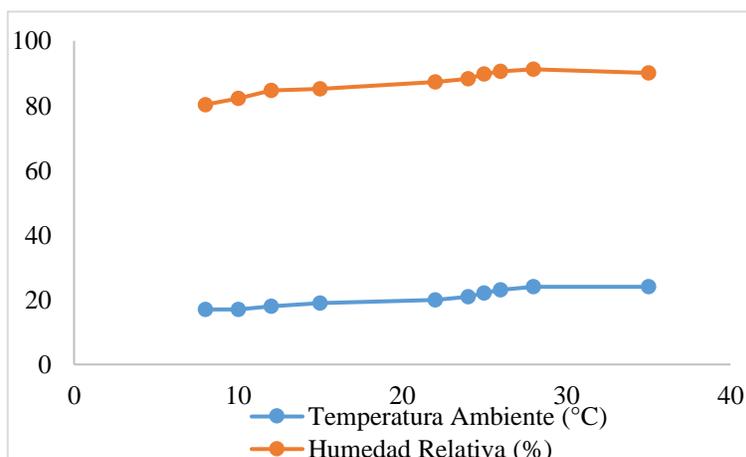


Análisis de un sistema automático para controlar el microclima y mejorar las condiciones de germinación y enraizamiento

Tabla 5: Datos de la variación de la humedad relativa con respecto al cambio de temperatura durante el día.

Temperatura Exterior (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad Relativa (%)
8	17	80,3
10	17	82,2
12	18	84,6
15	19	85,1
22	20	87,3
24	21	88,2
25	22	89,7
26	23	90,5
28	24	91,2
35	24	90,1

Gráfico 4: Curva temperatura Ambiente y Humedad relativa dentro de la cámara



En la Fig.2 se evidencian las diferentes pantallas que sirven para controlar la funcionalidad de cada uno de los equipos antes de poner en marcha el sistema automático de control de microclima.

En esta interfaz se ubicarán los valores de temperatura, humedad y temperatura del piso del sistema de control (On/Off), según explica la tabla 1, dependiendo de la variedad con la que se vaya a trabajar.

La Tabla 2. Muestra los datos de la temperatura máxima y mínima tomados durante 7 días al exterior de la cámara de germinación y enraizamiento con perturbaciones ambientales. En cambio, el Gráfico 1. Muestra la curva temperatura mínima vs temperatura máxima. Se puede observar que existen rangos notorios con mínimo de 8°C y máximos de 30°C. Es decir, existen niveles muy drásticos de descenso y ascenso, esto provoca que las semillas y esquejes no germinen ni enraícen

Análisis de un sistema automático para controlar el microclima y mejorar las condiciones de germinación y enraizamiento

de manera correcta. Existe la posibilidad de pérdida de plantas que no llegan a germinar o enraizar por factores climáticos al encontrarse a la intemperie.

La Tabla 3. Nos muestra los datos tomados de las temperaturas máximas y mínimas al interior de la cámara durante 7 días, sin encender el control de microclima. El gráfico 2., representa los valores de dichas temperaturas mínimas y máximas al interior de la cámara. Se puede evidenciar que el microclima sin el funcionamiento del sistema de control automático cuenta con valores de temperatura que varían en amplios intervalos; como en el caso de la temperatura mínima cuyo intervalo es (10-16) °C, y la temperatura máxima varía dentro del intervalo (24-35) °C. Esta variación de temperatura del microclima no controlado impide que la semilla o el esqueje no desarrollen normalmente produciendo pérdidas de materia prima y consecuentemente un bajo porcentaje de germinación y enraizamiento.

La tabla 4. Muestra los datos obtenidos de las temperaturas medidas al exterior de la cámara y las temperaturas medidas en el interior, y en el piso al interior de la cámara cuando el sistema de control automático está funcionando. El gráfico 3., indica cual es el comportamiento de la temperatura durante el funcionamiento del sistema de control automático evidenciándose que la temperatura al interior de la cámara, el microclima, presenta una variación con rangos bastante cercanos y uniformes que se establecen con mínimos de 16,5°C y máximos de 24,8°C. Esta variación uniforme se debe al funcionamiento de los diferentes equipos que se activan o desactivan cuando hay ascenso o descenso de temperatura, respectivamente, generando las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para que las semillas y esquejes germinen y enraícen, cumpliéndose de esta manera el objetivo del presente estudio.

Cabe destacar que los valores establecidos por el usuario se pueden establecer y modificar dependiendo de la necesidad del usuario con la ayuda del software creado en el microordenador Raspberry Pi3 B+.

En la tabla 5, se muestran los valores de la temperatura ambiente medidos tanto al exterior como dentro de la cámara, además de registrar la variación de la humedad relativa, durante un día, y con el sistema de control automático en funcionamiento, el cual mantiene la temperatura interior de la cámara dentro del rango seteado por el usuario. Este registro de datos se realiza con la finalidad de evidenciar cómo varía la humedad relativa en función de la temperatura ambiente durante el día.

En el gráfico 4., se representan los datos de la tabla, evidenciando como la humedad relativa varía a la par con la temperatura ambiente, es decir, que mientras más altas son las temperaturas, más humedad existirá al interior de la cámara. Este fenómeno se produce debido a que, al elevarse la temperatura del ambiente, se encienden los ventiladores que a su vez modifican la humedad relativa; lo que provoca que el sistema de nebulización entre en acción y de esta manera se logra aumentar la humedad relativa y facilitar el descenso de la temperatura ambiente en el interior de la cámara para mantenerla dentro del rango adecuado.

Resultados

En el presente análisis fue necesario realizar un cultivo de 1000 semillas y 1000 esquejes de las variedades planteadas en la cámara tipo túnel con un volumen de 20,88 m³, a diferencia de lo expuesto por Tulimán (6) que usa una cámara con un volumen de 1 m³, esta variante se ha realizado con la finalidad de poseer más espacio para ubicar el mayor número de bandejas posibles con semillas y esquejes destinados a la germinación y enraizamiento. Calculándose alrededor de 10000 plantas por cada ciclo a diferencia del proyecto anterior cuya capacidad alcanza alrededor de 2000 plantas.

A lo largo de la ejecución del proceso, se realizaron revisiones periódicas en las que se hizo un registro fotográfico para visualizar el avance del crecimiento de dichas plantas.

Figura 3: Fase inicial del proceso de germinación



Figura 4: Fase final del proceso de germinación



Las semillas destinadas para este estudio fueron adquiridas de empresas distribuidoras siendo semillas certificadas, y los esquejes fueron tomados de plantas matrices, las mismas que fueron insertados en bandejas que se ubicaron a su vez en el piso de la cámara y, una vez transcurrido el lapso de dos meses correspondiente al tiempo de germinación y enraizamiento, se observa que la mayoría de las semillas y esquejes han logrado germinar o enraizar, respectivamente.

Posteriormente, se realizó el conteo de los esquejes para determinar que en el presente ensayo se obtuvo un porcentaje de mortalidad de 10% a 20%.

Realizando ensayos con todas las variedades del presente estudio, se los comparó con un proceso de germinación y enraizamiento al aire libre obteniendo los siguientes resultados:

Condiciones normales al aire libre: fuera de la cámara se obtuvo un rango del 30% al 40% de efectividad de germinación de semillas y enraizamiento de esquejes. En condiciones normales, germinaron o enraizaron solamente 300 - 400 semillas o esquejes de cada 1000 unidades sembradas en un periodo de 3 meses.

Cámara Automatizada: con las condiciones controladas de temperatura del piso, humedad y renovación de aire en el interior de la cámara, se obtuvo un rango del 80% a 90% de efectividad de germinación de semillas y enraizamiento de esquejes. De cada 1000 semillas o esquejes ensayados germinaron o enraizaron 800 a 900 durante el período de ensayo que fue de 3 meses.

Es importante acotar que la mayoría de las cámaras de germinación existentes, que cuentan con un microclima controlado, poseen dimensiones relativamente pequeñas. Por tal motivo se ensayó en una cámara de mayores dimensiones obteniendo buenos resultados. Sin embargo, existe la posibilidad de perfeccionar aún más la cámara de germinación y enraizamiento con la finalidad de

subir el porcentaje de germinación necesario para la germinación de ciertas variedades especiales que lo requieran, ya sea mediante la implementación de materiales aislantes en el piso, el uso de lámparas que aporten calor al ambiente o simplemente para asegurar la iluminación (lux).

Discusión

En un estudio realizado en Research Centre for Plant Growth and Development, School of Biological and Conservation Sciences, en la Universidad de KwaZulu-Natal Pietermaritzburg en Sudáfrica, por MG. Kulkarni y col. (11), se ha demostrado los efectos de la temperatura y la luz en la germinación de semillas de dos especies de plantas.

El estudio determina que para temperaturas de 25 ° C y alternando 25/20 ° C tuvieron un significativo ($P < 0.05$) efecto sobre la germinación de semillas de *A. pachyklamys*, dando como resultado un 100% de germinación en 16:8h en condiciones claro/oscuras. El mayor porcentaje de germinación fue registrado a una temperatura constante de 20 °C (87%) y temperaturas alternas de 25/20 °C (90%) para *D. robusta*.

Las semillas de *A. pachyklamys* exhibieron significativamente mayor germinación (100%) bajo condiciones oscuras, en comparación con 87,5% de germinación bajo luz constante. Estos resultados que concuerdan con la presente investigación y, por tal motivo, no se consideró el uso de luz para las variedades estudiadas, pero tampoco se descartan ya que se podría realizar un estudio adicional experimental en el futuro.

Además, en el estudio citado se destaca la importancia del control de microclima ya que las diferentes temperaturas influenciaron significativamente en la supervivencia de las plántulas y el crecimiento de las dos especies analizadas.

En otro estudio realizado en la Universidad Federal de Mato Grosso (UFMT), por Reinaldo de Souza y col. en Cuiabá, Brasil (12), se ha demostrado que el mayor porcentaje final de germinación se observó a temperaturas constantes de 20, 25 y 30 °C, con valores superiores al 90%. No se observó germinación a 15 ° C y a 20 - 35 °C no se formó la parte aérea de la planta durante el período de evaluación. Estos resultados indican que la mejor temperatura para la germinación (25 °C) también fue la mejor para el crecimiento inicial de las plántulas, especialmente el crecimiento de las raíces. Estos resultados concuerdan con el presente estudio, ya que se ha determinado que un gran porcentaje de germinación depende de una temperatura

constante o con un rango relativamente pequeño de variación. Además, se comprobó la utilidad de un control de microclima para garantizar la estabilidad de las condiciones ambientales en la adecuada germinación y enraizamiento, usando equipos de bajo costo y de fácil instalación. Cabe destacar que en el presente estudio se estudiaron diferentes variedades como son Cyclamen, Begonia, Poinsettia y Geranium.

Conclusiones

Al diseñar y construir un control automático de microclima para la cámara de germinación y enraizamiento, se logró controlar efectivamente los parámetros agroclimáticos necesarios para obtener un buen porcentaje de germinación o enraizamiento de las plantas dedicadas a este estudio, además se consideran las siguientes ventajas:

- Control de la temperatura homogénea
- Instalación rápida
- No requiere gastos de mantenimiento
- No degrada el medio ambiente
- Bajo consumo de energía
- Evita el moho y la contaminación por microorganismos patógenos causantes, principalmente, de problemas respiratorios.

El parámetro “temperatura ambiente” fue controlado eficientemente a diferencia de la temperatura del piso, ya que se pierde calor por convección del mismo y en los días donde las temperaturas descienden abruptamente, el sistema permanece encendido toda la noche.

Se concluye que la cámara de germinación y enraizamiento da buenos resultados ya que las especies germinadas en condiciones normales de clima, fuera de la cámara, obtuvieron un porcentaje de eficiencia de entre el 30 - 40%. Dentro de la cámara, con la ayuda del sistema automático, se obtuvo una eficiencia entre el 80 - 90% (porcentaje de semillas germinadas y/o esquejes enraizados), pudiéndose mejorar aún más estos valores.

Referencias

1. Zotarelli, Lincoln; Dukes, Michael D. y T Morgan, Kelly T. "Interpretación del contenido de la humedad del suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar

- Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad". The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). Florida EEUU, 2013. AE496.
2. Besnier, Romero. Semillas: Biología y Tecnología. Madrid-España : Mundi Prensa, 1989. ISBN: 8471142562.
 3. Rincón, Paulo André, Silva, Jesús Andrés y Torres, Alejandro. "Automatización de invernadero para producción agrícola con tecnología de punta a bajo costo". Revista de Investigaciones Agroempresariales, Vol. 3, n° 3 (2017), (Bogotá-Colombia).
 4. Campos, Aranda Daniel Francisco. Agroclimatología cuantitativa de cultivos. México: Editorial Trillas, 2005. ISBN:: 978-968-24-3819-6.
 5. Pérez, García Félix y Martínez, Laborde Juan B. Introducción a la fisiología vegetal. Madrid- España: Mundi-Prensa Libros, 1994. ISBN: 84-7114-471-9.
 6. Tumialán, Borja José Antonio, y otros. "Construcción de una cámara de germinación para plántulas solanáceas". Revista Épsilon, Vol. N°1, Artículo 9 (2011), (España), págs. 121-138. ISSN 1692-1259.
 7. Manuel Escoda S.A. Manual Práctico de Ventilación. Barcelona: Rosello, 2003.
 8. Alarcón, López Álvaro Hernán, y otros. "Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta". Revista Ingeniería Solidaria, Vol. 14. Artículo 24 (2017), Bogotá-Colombia: ISSN (en línea): 2357-6014.
 9. Pita, Villamil José Manuel y Pérez, García Felix. Germinación de Semillas. Madrid-España: Din Impresores, 2011. ISBN: 84-491-0356-8.
 10. Valdivieso Sarabia, Rafael J., García Chamizo, Juan Manuel y Ferrandez Pastor, Francisco-Javier. "Sistema de climatización por suelo radiante coalimentado por energías renovables". Ibergarceta Publicaciones, Actas de las VIII Jornadas de Aplicaciones y Transferencia Tecnológica de la Inteligencia Artificial, (2010), (Madrid- España), ISBN 978-84-92812-57-8, pp. 55-64.
 11. Kulkarni, MG, Sparg, SG y Staden, J van. "Temperature and light requirements for seed germination and seedling growth of two medicinal Hyacinthaceae species".

- South African Journal of Botany, (2005), (Scottsville-South Africa), EISSN 1727–9321.
12. de Souza, Bilio Reinaldo, y otros. "Temperature and seed germination of a *libertia edulis*". Journal of Global Biosciences, Vol. 7, N° 1 (2018), (Cuiabá- MT. Brasil) pp. 5313-5318. ISSN 2320-1355.
 13. Vandelook, Filip y Van Assche, Jozef A. "Temperature Requirements for Seed Germination and Seedling Development Determine Timing of Seedling Emergence of Three Monocotyledonous Temperate Forest Spring Geophytes". Annals of Botany, Volume 102, Issue 5, (2008), (Leuven, Belgium) pp. 865–875.
 14. Hernández, Alejandro y Cardon, Luis. "Evaluacion térmico-energética de un piso radiante hidrónico acoplado a colectores solares para calentamiento del agua". Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 20 (2017), (Salta-Argentina) pp. 51 - 59
 15. Ball, Vic. Ball RedBook. Batavia, Illinois USA : Ball Publishing,, 1998. Vol. 16th Edition. ISBN: 1-883052-15-7.
 16. Sanchez, Reyes Cristian. Floricultura: Siembra - Cultivo - Especies. Lima- Peru : Ediciones RIPALME, 2005. ISBN: 9972-840-06-9.
 17. Syngenta-flowers, Global. Crop manual: Begonia, Cyclamen, Poinsettia. Enkhuizen-The Netherlands : Syngenta Wordmark, 2018.
 18. Doria, Jessica. "Generalidades sobre las semillas: Su producción, conservación y almacenamiento". Revista Cultivos Tropicales, Vol. 31, N° 1 (2010), (La Habana-Cuba) pp. 74-85.
 19. Rodriguez, Silvia, y otros. Germinación y manejo de especies forestales Tropicales. México : CONAFOR-CONACYT, 2002.
 20. Fletes, Camacho Noé Guadalupe, Paredes, Vázquez Cesar y Vaca, Rosas Jose. "Diseño e implementación de un prototipo de automatización y control sustentable para invernadero". Revista de Prototipos Tecnológicos, Vol.3, No.10 (2017), (Nuevo Vallarta, México) pp. 1-10. ISSN-2444-4995.
 21. Rodríguez, Marcos, Chagolla, Hernando y López, María. "Diseño Conceptual de Sistema para la Automatización del Invernadero de la Universidad Tecnológica del

- Suroeste de Guanajuato". Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook. (2014), (Guanajuato- México).
22. Chen, Lopez Jose. Eligiendo el Sustrato Correcto para la Propagación de Esquejes. [En línea] PRO-MIX®. Premier Horticulture Ltd., Edición: 30 de Octubre de 2020. [Consulta: 27 de Noviembre de 2020.] Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/eligiendo-el-sustrato-correcto-para-la-propagacion-de-esquejes/>.
 23. Muñoz, Gutiérrez Pablo Andrés y Buitrago, Giraldo Julián Alberto. "Perfiles de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero de la unidad agroecológica La Aldana de la Universidad del Quindío". Revista de Investigación de la facultad de ingeniería. (IngEam), Vol. 2, N° 2 (2015), (Quindío-Colombia) pp. 90-114.
 24. Castillo, F. Elías y Sentís, F. Castellví. Agrometeorología. Madrid- España : Ediciones Mundi Prensa, 2001. ISBN 8471149737.
 25. Muñoz, Carpena Rafael. "Field Devices For Monitoring Soil Water Content". The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), 2004, (Florida USA).
 26. Barroso, García Andrés. Control y monitorización de un control y monitorización de un aplicación móvil. [En Línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Física Aplicada, Madrid-España. 2015. [Consulta: 9 de Mayo de 2020.] Disponible en: Control y Monitorización de un Invernadero a través de una Aplicación Móvil (1library.co)
 27. Barradas, L. Víctor. "El papel del microclima en la fisiología ecológica vegetal". Boletín de la Sociedad Botánica de México, N° 49 (1989), (México). pp.31-39.
 28. Chaves, Barrantes Néstor Felipe y Gutiérrez, Soto Marco Vinicio. "Respuestas al estrés por calor en los cultivos. Tolerancia y tratamiento agronómico". Agronomía Mesoamericana journal, (2017), (San José, Costa Rica). ISSN 2215-3608.
 29. Monroy, García Oscar Yesid, Rolón, Quintero Daniel Camilo y Sepúlveda, Mora Sergio Basilio. "Sistema inalámbrico modular de bajo costo para supervisar variables ambientales en invernaderos: un respaldo al agricultor de pequeña escala".

Revista Científica, N.º 29 (2017), (Bogotá-Colombia) pp. 164-179. ISSN 0124-2253 • e-ISSN 2344-2350.

30. Snyder, Richard L., Melo, Abreu J. Paulo y Villar, Mir Josep M. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Roma, Italia : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2010. ISBN 978-92-5-306504-2.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).