



Revista Hambatu Science

Ambato – Ecuador / ISSN 3151-815X (en línea) / abril – junio 2026

Volumen 1, Número 2

<https://doi.org/10.63862/rhs-v1n2-285-304-2026>

Análisis de variables mediante herramientas básicas de calidad para automatización de cortinas laterales en invernadero Mini Green

*Analysis of variables using basic quality control tools in the
automation of side curtains in a mini green greenhouse*

Félix Murrieta Domínguez

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Perote

Alberto Ceballos

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Perote

Liseth Rivera Aguirre

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Xalapa

Daniel Bello Parra

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Perote

Alicia Peralta Maroto

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Xalapa



DOI: <https://doi.org/10.63862/rhs-v1n2-285-304-2026>

Análisis de variables mediante herramientas básicas de calidad para automatización de cortinas laterales en invernadero Mini Green

Félix Murrieta Domínguez

Tecnológico Nacional de México-Instituto
Tecnológico Superior de Perote
felix-murrieta@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9425-0534>
Perote, Veracruz, México

Daniel Bello Parra

Tecnológico Nacional de México-Instituto
Tecnológico Superior de Perote
daniel.bello@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5245-909X>
Perote, Veracruz, México

Alberto Ceballos

Tecnológico Nacional de México - Instituto
Tecnológico Superior de Perote
alberto.ceballos@perote.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7982-1052>
Perote, Veracruz, México

Alicia Peralta Maroto

Tecnológico Nacional de México-Instituto
Tecnológico Superior de Xalapa
alicia.pm@xalapa.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6842-7612>
Xalapa, Veracruz, México.

Lisbeth Rivera Aguirre

Tecnológico Nacional de México-Instituto
Tecnológico Superior de Xalapa
lisbeth.ra@xalapa.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5951-0601>
Xalapa, Veracruz, México.

Recibido: 2026-06-08

Aceptado: 2026-06-11

Publicado: 2026-06-15

Resumen

El presente estudio pretende analizar las variables de temperatura y humedad mediante un análisis estadístico para fundamentar la automatización de cortinas laterales en invernadero Mini Green del Instituto Tecnológico Superior de Perote (ITSPe). Para ello se recopiló 90 mediciones registradas en hojas de verificación durante el ciclo productivo de forraje verde hidropónico, se aplicó histogramas, diagramas de dispersión y gráficas de control X-R. Los resultados mostraron una temperatura media de 28.13 °C (rango óptimo requerido: 15-20 °C) y una humedad media de 39.17 % (rango óptimo: 60-80 %). La gráfica de control mostró estabilidad estadística del proceso, pero incapacidad para cumplir con las especificaciones agronómicas. El diagrama de dispersión evidenció una relación inversa entre temperatura y humedad, así como una acumulación térmica progresiva durante el día. Se concluye que el análisis permitió identificar deficiencias críticas en el control ambiental actual, justificando técnicamente la automatización de las cortinas laterales como estrategia para reducir la variabilidad y acercar las condiciones internas a los rangos óptimos para el cultivo.

Palabras clave: Automatización, Diagrama de dispersión, Gráficas de control, Histogramas, Humedad y Temperatura.

Analysis of variables using basic quality control tools in the automation of side curtains in a mini green greenhouse

Abstract

The present study aims to analyze temperature and humidity variables through statistical analysis to support the automation of side curtains in the Mini Green greenhouse of the Instituto Tecnológico Superior de Perote (ITSPe). For this purpose, 90 measurements were collected and recorded on verification sheets during the productive cycle of hydroponic green forage. Histograms, scatter diagrams, and X-R control charts were applied. The results showed an average temperature of 28.13 °C (optimal required range: 15-20 °C) and an average humidity of 39.17 % (optimal range: 60-80 %). The control chart showed statistical stability of the process but an inability to meet agronomic specifications. The scatter diagram revealed an inverse relationship between temperature and humidity, as well as progressive thermal accumulation during the day. It is concluded that the analysis allowed the identification of critical deficiencies in the current environmental control, technically justifying the automation of side curtains as a strategy to reduce variability and bring internal conditions closer to the optimal ranges for the crop.

Keywords: Automation, Scatter diagram, Control charts, Histograms, Humidity, Temperature.

Introducción

En los sistemas de cultivo protegido, el control de los factores ambientales es esencial para lograr una productividad óptima, una buena calidad de los cultivos y un uso eficiente de los recursos. Variables como la temperatura y la humedad afectan procesos fisiológicos fundamentales como la germinación de las semillas, la fotosíntesis, la transpiración y la absorción de nutrientes (Flores y Ojeda, 2015; Rojano et al., 2004). Por lo tanto, la automatización es una herramienta importante para garantizar condiciones microclimáticas estables y minimizar la intervención humana.

Este estudio se realizó en un pequeño invernadero del Instituto Tecnológico Superior de Perote (ITSPe). Este invernadero está diseñado para la producción de forraje verde hidropónico y para actividades de investigación científica y docencia. Actualmente, la ventilación se controla bajo un sistema mecánico mediante cortinas laterales, lo que provoca fluctuaciones significativas en el ambiente interior y puede afectar el rendimiento del forraje.

Se identificó el bajo rendimiento en la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH), situación que afecta la eficiencia del sistema productivo y limita el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles dentro del invernadero. Esta problemática se encuentra asociada principalmente a las condiciones climáticas internas del invernadero y a la falta de estabilidad en variables ambientales críticas como la temperatura y la humedad, factores fundamentales para el correcto crecimiento, germinación y desarrollo del cultivo.

La aplicación del Control Estadístico de Procesos (CEP) y las siete herramientas básicas de calidad permiten evaluar cuantitativamente la variabilidad ambiental y determinar si el proceso actual es estable y capaz de cumplir con las especificaciones agronómicas. Desde una perspectiva práctica, los resultados obtenidos proporcionan evidencia objetiva para justificar la inversión en automatización y mejorar las condiciones de producción de forraje verde hidropónico.

Esta investigación busca analizar las variables de temperatura y humedad mediante un análisis estadístico para fundamentar la automatización de cortinas laterales dentro del invernadero Mini Green. Las actividades a realizar para el logro de la automatización son: (a) recopilar datos

de temperatura y humedad mediante hojas de verificación; (b) analizar la distribución, relaciones y estabilidad de dichas variables utilizando histogramas, diagramas de dispersión y gráficas de control X-R; y (c) determinar, a partir del análisis, la justificación técnica para la automatización del sistema de cortinas laterales.

Estado del arte

La automatización de cortinas en invernaderos ha cobrado relevancia en procesos productivos de forraje verde hidropónico para mejorar el control de variables ambientales y eficiencia productiva. Según (Moncayo Solarte et al, 2024) La implementación de la automatización en invernaderos no solo optimiza la producción de forraje, sino que también contribuye al desarrollo sostenible de las regiones rurales fortaleciendo la seguridad alimentaria y la economía de los productores ganaderos. De acuerdo a estos autores la aplicación del sistema automatizado mostro un rendimiento superior en el forraje alcanzando 7.8 kg por bandeja en 14 días, comparado con el rendimiento de un cultivo tradicional de 3 a 4 kg por m². Esto debido a un buen control de las variables ambientales como la temperatura y el riego que optimizan la producción.

Por otra parte, las herramientas básicas de calidad han sido utilizadas tradicionalmente en entornos industriales para la solución de problemas y la mejora continua. De acuerdo a (Ishikawa, 1986) estableció que las hojas de verificación, histogramas, diagramas de dispersión y gráficas de control permiten a personas con formación estadística limitada identificar variaciones y tomar decisiones fundamentadas. Por otro lado (Gutiérrez & De la Vara, 2019) profundiza en el Control Estadístico de Procesos (CEP), destacando que las gráficas de control X-R son especialmente útiles para ayudar a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de las variables de salida.

En cuanto el forraje verde hidropónico (FVH) es un sistema de producción que permite obtener alimento fresco para el ganado en pocos días mediante la germinación controlada de granos. Sin embargo, para producir forraje verde hidropónico de manera uniforme y con buena calidad nutricional, es fundamental controlar adecuadamente el ambiente donde se desarrolla el cultivo. De acuerdo a (Hydroenviroment, 2024) menciona los rangos óptimos a los cuales se debe

encontrar un invernadero para producir forraje verde hidropónico los cuales se desarrolla mejor en temperaturas entre 15 °C y 25 °C y humedades relativas entre 60 % y 80 %.

El presente estudio contribuye a llenar este vacío al integrar el análisis de variables mediante herramientas básicas de calidad con la evaluación de necesidades de automatización, generando evidencia cuantitativa que permite justificar técnicamente la implementación de un sistema automatizado de cortinas laterales.

Metodología

El estudio se realizó en el invernadero Mini Green del Instituto Tecnológico Superior de Perote (ITSPe), ubicado en el municipio de Perote, Veracruz, México, durante el período febrero-mayo de 2026. Este invernadero, de aproximadamente 30 m² (6 m x 5 m), está destinado a la producción de forraje verde hidropónico y a actividades de investigación y docencia.

De acuerdo a especificaciones técnicas del proveedor se debe tener una cantidad de producción por cada charola de forrajera entre 5 y 11 kilogramos de peso fresco, dependiendo del tipo de semilla, las condiciones de riego y el tamaño de la charola, así en promedio por cada kilo de semilla utilizada, se obtiene alrededor de 6 kilos de forraje fresco.

La muestra de estudio correspondió a las condiciones ambientales del invernadero durante el ciclo productivo. Se tomaron 90 mediciones de temperatura (°C) y humedad relativa (%) distribuidas en 15 días no consecutivos, con 6 mediciones diarias en horarios diferenciados (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas). Este esquema permitió capturar la variabilidad de las variables analizadas. En cuanto a instrumento de medición se utilizó un higrómetro (precisión: ± 0.5 °C para temperatura y ± 3 % para humedad relativa). Los datos se registraron en hojas de verificación, las cuales incluyeron campos para fecha, hora, valor medido, observaciones y responsable de la medición.

En una primera fase, se realizó un mapeo del proceso de producción de forraje verde hidropónico mediante observación directa, identificando las etapas críticas influenciadas por las condiciones ambientales, así como un diagrama de flujo utilizando el software Visio 2019.

En una segunda fase, se procedió a la recolección sistemática de datos durante 15 jornadas, registrando las mediciones en las hojas de verificación.

En una tercera fase, se realizó el análisis estadístico y gráfico de los datos recopilados.

Se aplicaron tres herramientas básicas de calidad (Gutiérrez & De la Vara, 2013; Ishikawa, 1986; Montgomery, 2019):

1. Histogramas: Para evaluar la distribución de los datos de temperatura y humedad, identificando tendencias centrales, dispersión y forma de la distribución.
2. Diagramas de dispersión: Para explorar relaciones entre temperatura y humedad, así como entre cada variable y la hora del día, mediante la visualización de tendencias y la identificación de correlaciones.
3. Gráficas de control X-R: Para evaluar la estabilidad estadística del proceso. Los datos se agruparon en 5 subgrupos de 18 mediciones cada uno. Se calcularon los límites de control para medias ($\bar{X}$) y rangos (R) utilizando las fórmulas estándar del CEP. Posteriormente, se compararon los límites de control con las especificaciones agronómicas establecidas por (Hydro Environment, 2024) para el forraje verde hidropónico (temperatura: 15-20 °C; humedad: 60-80 %), a fin de evaluar la capacidad del proceso.

Resultados

Mapeo de procesos

Como primer paso del análisis, se creó un mapa de procesos del sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) en el invernadero Mini Green mediante observación directa. Se identificó las actividades clave, sus interacciones y los puntos críticos donde las variables ambientales (temperatura y humedad) influyen en la calidad y el rendimiento de la cosecha. El mapa se dividió en tres niveles: procesos estratégicos (planificación, análisis de resultados), procesos operativos (desde la selección de semillas hasta la cosecha) y procesos de apoyo (mantenimiento, suministro, capacitación). Esta clasificación reveló que el control de las

paredes laterales pertenece a los procesos operativos y de monitoreo, por lo que constituye un área prioritaria para la automatización. El mapa resultante se muestra en la Figura 1.

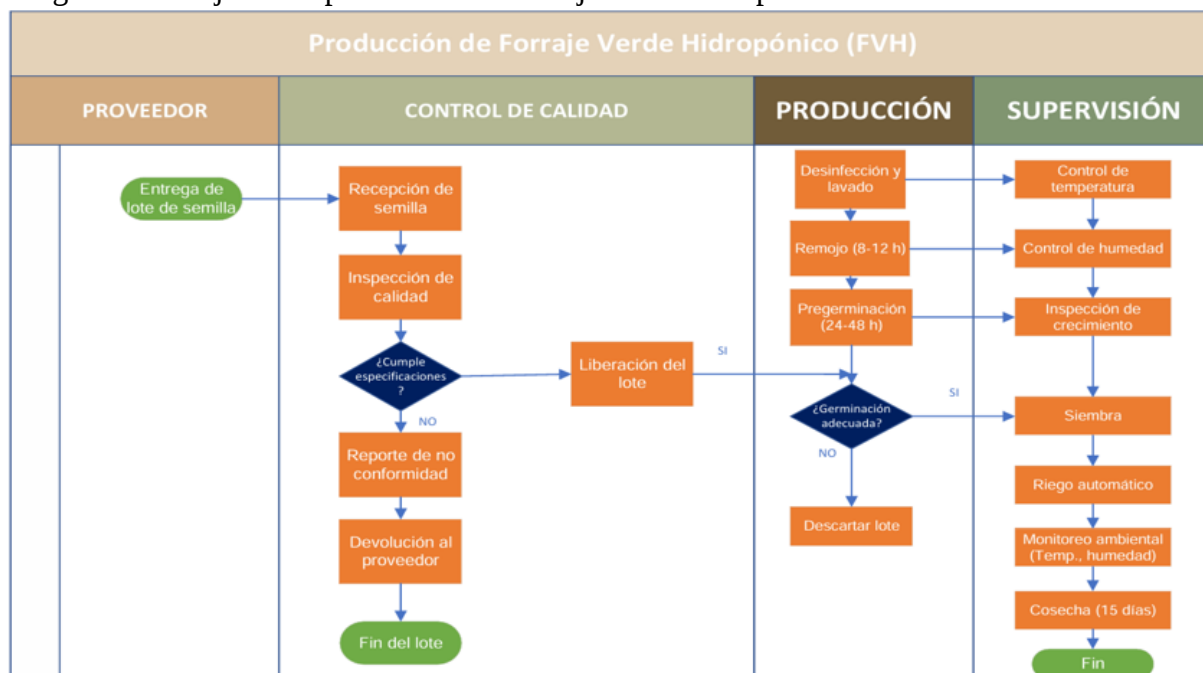
Figura 1.
Mapa de procesos de forraje verde hidropónico



Fuente: (Damelio, 2021)

Con base en el mapeo de procesos y en la observación directa de las actividades, se construyó un diagrama de flujo detallado para la producción de FVH. Este diagrama sigue la secuencia desde la recepción de semilla hasta la cosecha, incluyendo puntos de decisión (como el control de calidad y la verificación de germinación), así como las actividades de monitoreo ambiental (temperatura, humedad) y ajuste de condiciones (ventilación, riego). El diagrama permitió identificar que el control manual de cortinas laterales representa un cuello de botella en la regulación térmica, ya que no responde dinámicamente a los cambios horarios de temperatura y humedad. El diagrama de flujo se presenta en la Figura 2.

Figura 2.
Diagrama de flujo sobre producción de forraje verde hidropónico



Fuente: (Jacka & Keller, 2019)

Una vez identificado el proceso de producción se procedió a realizar la toma de muestras. El registro sistemático en hojas de verificación permitió organizar la información de manera estructurada, facilitando la detección de patrones iniciales como valores de temperaturas y humedad más altas o bajas y una relación inversa consistente entre ambas variables a lo largo de todas las jornadas monitoreadas. Estos registros mostrados en las figuras 3 y 4 constituyen la base para los análisis posteriores.

Tabla 1.

Hoja de verificación de mediciones de temperatura en invernadero Mini Green

Monitoreo de Temperatura (°C) en el invernadero				
No. de muestra	Fecha	Hora	Temp.(°C)	Observaciones
1	29/04/2026	07:53 a. m.	14.6	
2		08:01 a.m.	14.9	
3		09:17 a. m.	22.2	
4		11:58 a.m.	39.5	
5		12:05 p.m	40	
6		3:41 p.m.	47.6	
7		7:58 p.m.	16.3	
8		08:02 p.m.	16.2	
9	30/04/2026	08:24 a.m.	16.4	
10		11:58 a.m	44.6	
11		12:03 p.m.	43	
12		3:43 p.m	44.3	
13	01/05/2026	4:03 p.m.	43.5	
14		07:57 a.m.	17.5	
15		08:05 a.m.	17.8	
16		11:57 a.m.	46.7	
17		12:01 a.m.	45.9	
18		3:57 a.m.	42.5	
19	02/05/2026	4:04 p.m.	41.7	
20		07:57 a.m.	19.5	
21		08:02 a.m.	19.8	
22		2:02 p.m.	36.9	
23		4:47 p.m.	19.4	
24		7:38 p.m.	13.5	

Fuente: (Gutiérrez & De la Vara, 2009)

Nota: Solo es una muestra de los 90 datos obtenidos

Tabla 2.

Hoja de verificación de mediciones de humedad en invernadero Mini Green

Monitoreo de Humedad (%) en el invernadero				
No. de muestra	Fecha	Hora	Humedad (%)	Observaciones
1	29/04/2026	07:53 a. m.	28	
2		08:01 a.m.	31	
3		09:17 a. m.	23	
4		11:58 a.m.	20	
5		12:05 p.m	20	
6		3:41 p.m.	20	
7		7:58 p.m.	30	
8		08:02 p.m.	44	
9	30/04/2026	08:24 a.m.	37	
10		11:58 a.m	20	
11		12:03 p.m.	20	
12		3:43 p.m	20	
13	01/05/2026	4:03 p.m.	20	
14		07:57 a.m.	26	
15		08:05 a.m.	26	
16		11:57 a.m.	60	
17		12:01 a.m.	60	
18		3:57 a.m.	20	
19	02/05/2026	4:04 p.m.	20	
20		07:57 a.m.	57	
21		08:02 a.m.	60	
22		2:02 p.m.	20	
23		4:47 p.m.	54	
24		7:38 p.m.	77	

Fuente: (Gutiérrez & De la Vara, 2009)

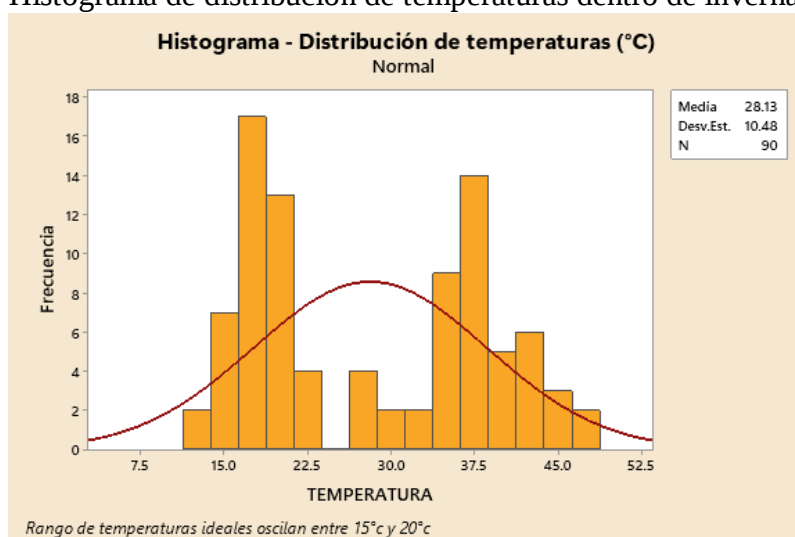
Nota: Solo es una muestra de los 90 datos obtenidos

Distribución de temperatura

El histograma de temperatura (Figura 3) mostró dos concentraciones principales de datos: una primera entre 15 °C y 22 °C y una segunda entre 35 °C y 45 °C. La temperatura media registrada fue de 28.13 °C, con una desviación estándar de 10.48 °C. El valor mínimo fue de 12 °C y el máximo de 48 °C. La dispersión considerable indica una alta variabilidad térmica dentro del invernadero durante el período de estudio.

Figura 3.

Histograma de distribución de temperaturas dentro de invernadero Mini Green



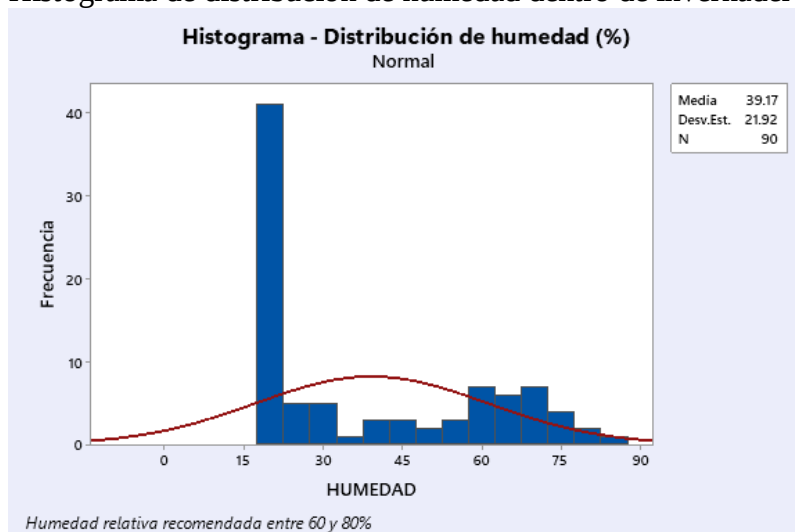
Fuente: (Gutiérrez & De la Vara, 2013)

Distribución de humedad

El histograma de humedad (Figura 4) presentó una fuerte diferencia hacia valores bajos, con una alta concentración de mediciones entre 15 % y 20 %. La humedad media fue de 39.17 %, con una desviación estándar de 21.92 %. El valor mínimo fue de 35 % y el máximo de 89 %. La desviación estándar representa el 56 % de la media, evidenciando una variabilidad extremadamente alta. Solo un pequeño porcentaje de las mediciones se ubicó dentro del rango óptimo recomendado (60-80 %).

Figura 4.

Histograma de distribución de humedad dentro de invernadero Mini Green



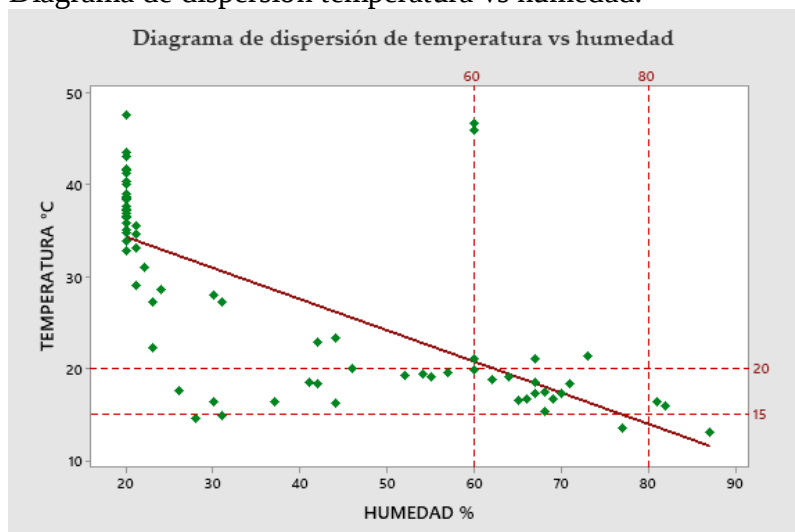
Fuente: (Gutiérrez & De la Vara, 2013)

Relación entre temperatura y humedad

El diagrama de dispersión de temperatura en comparativa con la humedad (Figura 5) mostró una línea de tendencia descendente, indicando que dentro del invernadero a medida que aumenta la temperatura, la humedad relativa tiende a disminuir, el cual es un comportamiento muy característico de ambientes bajo cubierta con ventilación insuficiente.

Figura 5.

Diagrama de dispersión temperatura vs humedad.



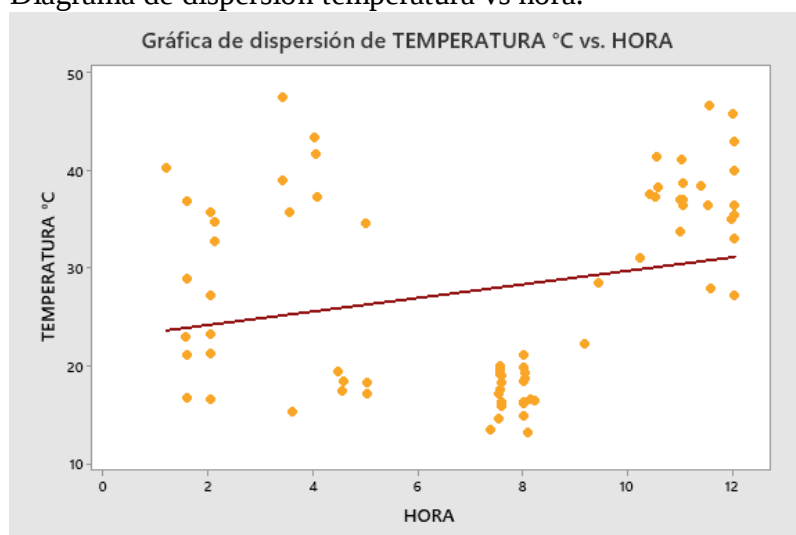
Fuente: (Montgomery, 2019)

Comportamiento relación de horario con temperaturas

El diagrama de dispersión temperatura vs. hora (Figura 6) evidenció una tendencia positiva a lo largo del día. La línea de tendencia indica que la temperatura interna aumenta progresivamente desde las 8:00 hasta las 12:00 horas, con los picos máximos (hasta 48 °C). Esta acumulación térmica es consecuencia de la radiación solar y la retención de calor por la cubierta plástica del invernadero.

Figura 6.

Diagrama de dispersión temperatura vs hora.

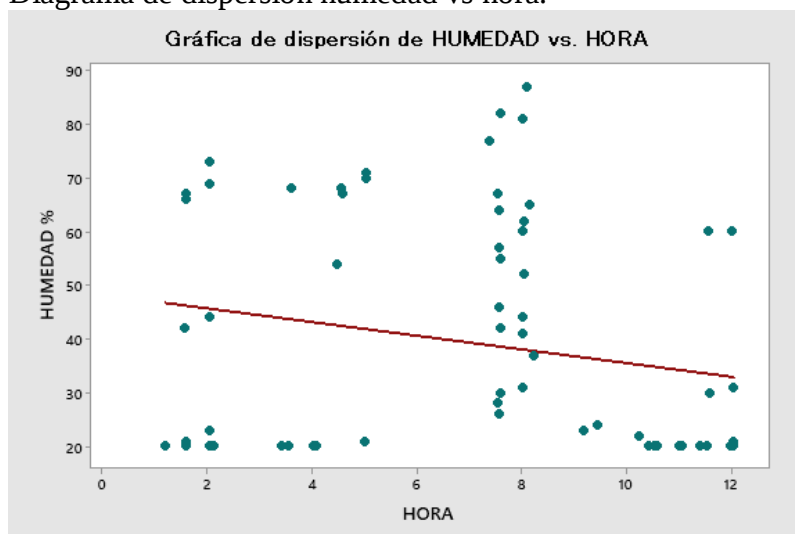


Fuente: (Montgomery, 2019)

Comportamiento horario de la humedad

El diagrama de dispersión humedad vs. hora (Figura 7) mostró una tendencia negativa, consistente con la relación inversa observada. Los valores más altos de humedad (hasta 89 %) se registraron en las primeras horas de la mañana (8:00-10:00).

Figura 7.
Diagrama de dispersión humedad vs hora.

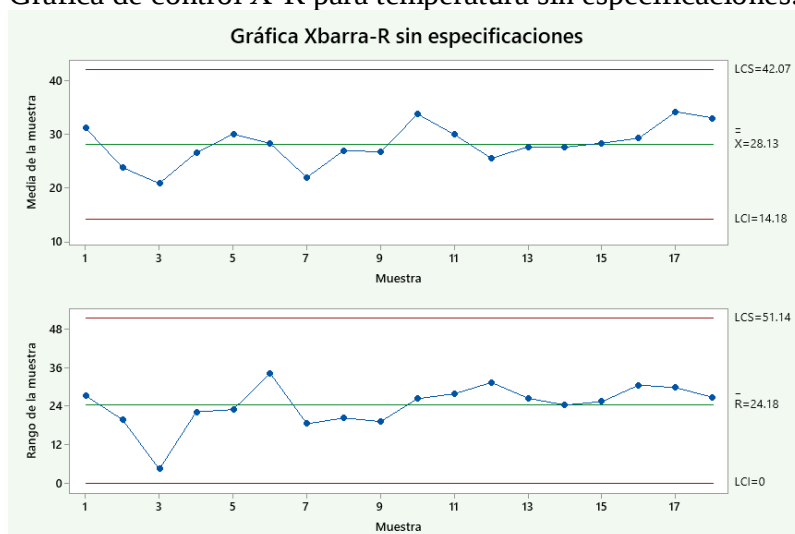


Fuente: (Montgomery, 2019)

Estabilidad del proceso (gráficas de control sin especificaciones)

La gráfica de control X-R para temperatura (Figura 8) mostró que tanto las medias de los subgrupos ($\bar{X} = 28.13$ °C; LCS = 42.07 °C; LCI = 14.18 °C) como los rangos ($\bar{R} = 24.18$; LCS = 51.1) permanecieron dentro de los límites de control. No se detectaron puntos fuera de control, tendencias o patrones no aleatorios. Por lo tanto, se concluye que el proceso de temperatura es estadísticamente estable.

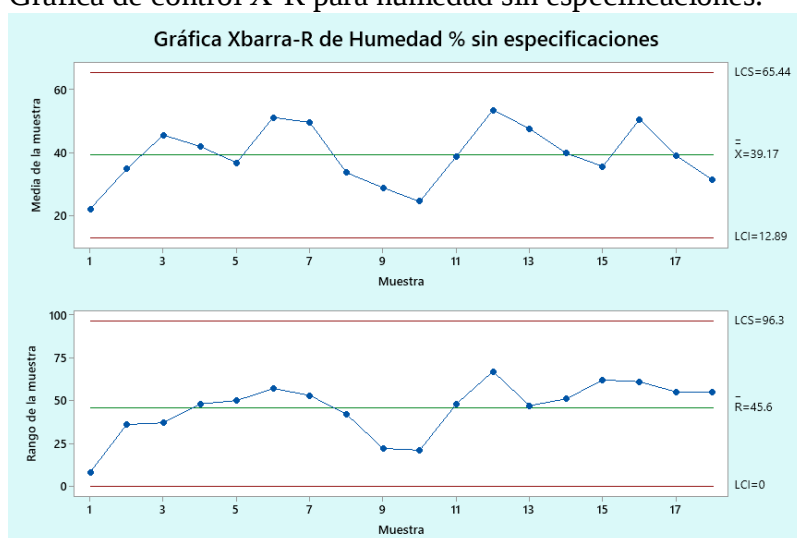
Figura 8.
Gráfica de control X-R para temperatura sin especificaciones.



Fuente: (Ishikawa,1986)

Para la humedad (Figura 9), la gráfica de control X-R también mostró estabilidad estadística: medias ($\bar{X} = 39.17\%$; LCS = 65.44 %; LCI = 12.89 %) y rangos ($\bar{R} = 45.6\%$; LCS = 96.3 %) dentro de los límites de control. Aunque algunos subgrupos presentaron rangos elevados estos se mantuvieron dentro de los límites, correspondiendo a causas comunes de variación.

Figura 9.
Gráfica de control X-R para humedad sin especificaciones.

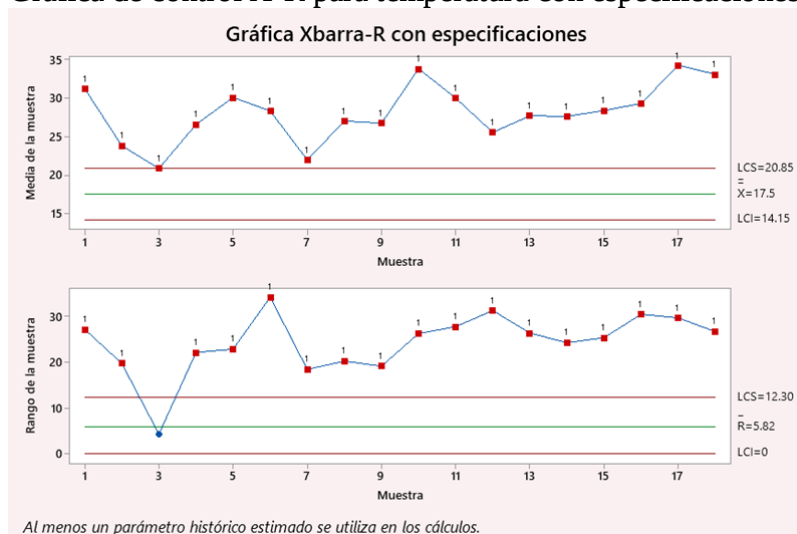


Fuente: (Ishikawa,1986)

Al incorporar las especificaciones agronómicas para el forraje verde hidropónico (temperatura: 15-20 °C; humedad: 60-80 %), el análisis de capacidad arrojó resultados críticos. En la gráfica de temperatura con especificaciones (Figura 10), todas las medias de los subgrupos se ubicaron por encima del límite superior de especificación (20 °C) y de la media objetivo (17.5 °C). La media general del proceso (28.13 °C) supera en más de 8 °C el límite superior de especificación.

Figura 10.

Gráfica de control X-R para temperatura con especificaciones agronómicas.

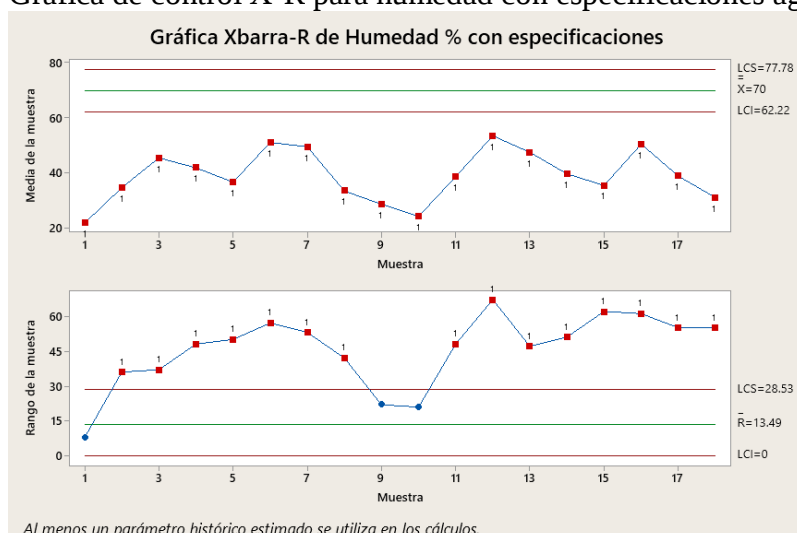


Fuente: (Ishikawa,1986)

En la gráfica de humedad con especificaciones (Figura 11), todas las medias de los subgrupos se ubicaron muy por debajo del límite inferior de especificación (60 %), con valores promedio entre 22 % y 54 %, frente a una media objetivo de 70 %. La media general del proceso (39.17 %) se encuentra 20.83 puntos porcentuales por debajo del límite inferior de especificación.

Figura 11.

Gráfica de control X-R para humedad con especificaciones agronómicas.



Fuente: (Ishikawa,1986)

Discusión

A partir de los resultados obtenidos por medio de la aplicación de herramientas básicas de calidad permitió conocer el comportamiento ambiental dentro del invernadero Mini Green y como estas sustentan la necesidad de implementar una automatización de las cortinas laterales.

A continuación, se mencionan los hallazgos más relevantes.

Uno de los principales hallazgos que más importancia tiene es que a pesar de que el proceso de temperatura y humedad es estadísticamente estable y aceptable (las gráficas de control X-R no mostraron causas especiales de variación), es completamente incapaz de cumplir con las especificaciones agronómicas que se solicitan para un buen crecimiento de forraje verde hidropónico. Según (Montgomery, 2019) menciona que un proceso puede estar bajo control, pero puede no ser capaz. La problemática en sistemas agrícolas implica que incluso aun en condiciones normales de operación, el sistema no puede mantener las condiciones adecuadas para el cultivo.

Abordando las variables mencionadas, la temperatura media de 28.13 °C no es compatible con el rango ideal de 15-20 °C (Hydro Environment, 2024). El estar continuamente expuesto a esta condición térmica puede generar malas cosechas, lo que a su vez se puede ir reduciendo la tasa de germinación y disminuyendo la eficiencia en las cosechas. Investigaciones previas han documentado que temperaturas sostenidas por encima de 25 °C afectan negativamente la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (Camacho Ferre, 2004).

Consecutivamente la humedad obtuvo una media de 39.17 %, esta se encuentra muy por debajo del rango óptimo (60-80 %). La literatura especializada señala que humedades relativas inferiores al 50 % provocan cierre estomático, reducción de la transpiración y dificultades en la absorción de nutrientes, afectando directamente el crecimiento y la uniformidad del cultivo (Flores & Ojeda, 2015). La alta variabilidad de la humedad presentada en la desviación estándar es del 21.92 %, este dato agrava esta situación, exponiendo al forraje a cambios bruscos que comprometen su buen desarrollo.

Estos resultados proporcionan una justificación sólida para poder implementar la automatización en las cortinas laterales de invernaderos. En la actualidad la operación manual de estos implica varias limitaciones; Dependencia de la presencia física humana, tiempos de respuesta lentos en relación a cambios climáticos bruscos, ajustes continuos a lo largo del día y diversos errores humanos. El aplicar el sistema automatizado basado en sensores de humedad y temperatura que accione motores para subir o bajar las cortinas permitiría un mejor monitoreo continuo entre las distintas variables ambientales, una respuesta inmediata cuando se tengan cambios bruscos en el ambiente, ajustes de manera progresiva durante el día manteniendo condiciones estables, reducción de intervención manual dentro del proceso. Una comparación entre un sistema manual y uno automatizado (Tabla 3) muestra las ventajas de una correcta automatización dentro de invernaderos Mini Green.

Tabla 3.

Comparación entre invernadero tipo manual vs automatizado

Característica	Sistema manual	Sistema automatizado
Monitoreo	Dependen completamente del operador	Continuo y sin dependencia
Precisión	Alta variabilidad	Mayor precisión
Tiempo de respuesta	Lento	Inmediato
Control de variables	Limitado	Eficiente
Riesgo de errores	Alto	Reducido

Fuente: (Arellano & Rodríguez, 2013)

Conclusiones

A partir de este análisis de variables de temperatura y humedad mediante el uso de herramientas básicas de calidad se establece de manera sintetizada que:

El proceso actual es estable pero no es capaz, esto demostrado en el proceso de temperatura y humedad dentro del invernadero Mini Green, al compararlo con especificaciones agronómicas del forraje verde hidropónico (15-20 °C Y 60-80%) Se evidencia que el proceso no es capaz de cumplir con los rangos y con la cantidad de forraje optima.

Se recopilaron 90 mediciones en hojas de verificación; se analizó la distribución, relaciones y estabilidad de temperatura y humedad utilizando histogramas, diagramas de dispersión y gráficas de control X-R; y, con base en este análisis, se determinó la justificación técnica para la automatización de las cortinas laterales. Al aplicar herramientas básicas de calidad, los histogramas visualizaron la distribución y la dispersión de los datos, los diagramas de dispersión identificaron la relación que existe entre las variables, así como la acumulación térmica durante el día y las gráficas de control diferenciaron la estabilidad estadística en relación a la capacidad agronómica en literatura de investigación. Las deficiencias identificadas como picos térmicos de hasta 48 °C, humedades por debajo del 20 % en horas críticas, alta variabilidad y dependencia de operación manual, pueden ser eliminadas o controladas mediante un sistema automatizado de apertura y cierre de cortinas laterales. Este sistema permitiría una regulación dinámica de la ventilación, manteniendo condiciones más estables y acercándose a los rangos óptimos para el cultivo.

Referencias bibliográficas

- Arellano, A., & Rodríguez, J. (2013). *Automatización de invernaderos: Principios y aplicaciones*. Editorial Trillas.
- Camacho Ferre, F. (2004). *Técnicas de producción en cultivos protegidos*. Universidad de Almería.
- Damelio, R. (2021). *The basics of process mapping* (3rd ed.). Productivity Press
- Flores, J., & Ojeda, W. (2015). Consideraciones agronómicas para el diseño de invernaderos típicos de México. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2013). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma* (4ª ed.). McGraw-Hill.
- Hydro Environment. (2024). Condiciones ambientales para producir forraje verde hidropónico. <https://hydroenv.com.mx/condiciones-ambientales-para-producir-forraje-verde-hidroponico/>

-
- Ishikawa, K. (1986). *Guide to quality control* (2ª ed.). Asian Productivity Organization.
- Jacka, J. M., & Keller, P. J. (2019). *Business process mapping: Improving customer satisfaction* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to statistical quality control* (8ª ed.). Wiley.
- Moncayo Solarte, J. D., Cerón Delgado, S. S., & Cantuca Legarda, F. D. (2024). *Sistema automatizado para una producción de forraje verde hidropónico en invernadero* [Trabajo de grado, Universidad Mariana]. <https://repositorio.umariana.edu.co/handle/123456789/xxxx>
- Rojano, A., Salazar, R., & Llamas, A. (2004). *Producción agrícola controlada. Ciencias Técnicas Agropecuarias*.

Declaraciones finales

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento: Proyecto: Automatización de cortinas laterales para invernadero Mini Green utilizando sistema solar fotovoltaico aislado para un manejo energético sostenible. (24468), financiado por el Tecnológico Nacional de México, en la convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Humanística de Desarrollo Tecnológico e Innovación 2026.

Agradecimiento: NA

Nota editorial: El artículo no es producto de una publicación anterior.