



Universidad Nacional del Nordeste

Facultad de Ciencias Agrarias

Trabajo Final de Graduación

Modalidad: Tesina

Título:

Estudio de la evolución de crecimiento y de la variación ambiental en la producción de cuatro variedades de lechuga cultivadas bajo sistema hidropónico en Colonia Benítez, Chaco.

Alumno: Vazquez, Pablo Luis

Asesora: Ing. Agr. (Dra.) Sofía E. Olmos

Lugar de Trabajo: Huerta Panambí Productos Hidropónicos

AÑO: 2024

Resumen

En la región NEA, la información sobre la producción de lechuga hidropónica y los factores ambientales que la afectan es limitada. Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar las condiciones ambientales y evaluar la evolución del peso fresco, altura, diámetro, área y perímetro de canopeo de cuatro variedades de lechuga cultivadas durante seis ciclos de cosecha a lo largo de 13 semanas, desde septiembre a diciembre de 2021 en Colonia Benítez, Chaco. Se realizaron medidas repetidas en el tiempo en forma semanal sobre 10 plantas individuales de cada variedad y cada ciclo de cosecha. Se recopilieron 7237 registros de variables meteorológicas dentro del invernadero con un data logger, 685 medidas de peso fresco, altura y diámetros, y 67 medidas de área y perímetro de canopeo de plantas. Como resultado se obtuvo que las variaciones de peso fresco fueron de 5,1 a 152 g, con coeficientes de variación del 45 al 99%. Las alturas fluctuaron entre 5,8 y 23 cm, mientras que los diámetros variaron de 6 a 30 cm. El área de canopeo arrojó valores de entre 86 y 1012 cm², y el perímetro entre 50 y 175 cm. De todas las variedades estudiadas, Rouxai RZ presentó los valores más bajos en todos los parámetros de crecimiento. Las temperaturas dentro del invernadero variaron entre mínimos de 2,8 °C y máximos de 56,8 °C, influyendo en el crecimiento de las plantas. Estos resultados resaltan la importancia de seguir estudiando parámetros que inciden sobre la producción hidropónica de lechuga en región subtropical especialmente las temperaturas máximas extremas.

Introducción

En Argentina se cultivan actualmente 700.000 ha de hortalizas, de las cuales el 90% se destina al mercado fresco siendo la lechuga la principal verdura de hoja cultivada en

nuestro país (CFI 2016). En los últimos años el sistema de cultivo de lechuga en hidroponía se ha difundido en Argentina como alternativa de intensificación en la producción de verduras de hojas.

La región del NEA (nordeste de Argentina) comprendida por las provincias de Chaco, Formosa, Corrientes y Misiones se caracteriza por una homogeneidad del relieve, clima y de recursos naturales y su clima corresponde al subtropical húmedo según la clasificación de Köppen (Kottek et al. 2006), estando la región mucho más afectada en las últimas décadas con una mayor frecuencia de olas de calor (Lovino et al. 2018). La producción hortícola del NEA se concentra en productores familiares en áreas periurbanas (CIPAF 2011), el 76% de los productores hortícolas cultivan verduras de hojas bajo un sistema convencional limitado por las altas temperaturas en el verano (Sarco et al. 2018).

En la región existen actualmente pocos emprendimientos hidropónicos dedicados al cultivo de verdura de hoja y es escasa la información sobre la caracterización del sistema de producción y de los principales factores que inciden sobre la producción de lechuga, así como de la respuesta de crecimiento de las variedades utilizadas condiciones de producción subtropical. Básicamente, la planta entera de la lechuga hidropónica se comercializa por unidad, alcanzando el periodo a cosecha a los 30-40 días desde el trasplante, dependiendo de las condiciones ambientales de crecimiento que son extremas en ciertos periodos del año. En la región NEA estas temperaturas altas extremas pueden quemar y producir la muerte de las plantas.

Objetivos

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la evolución de crecimiento y las condiciones ambientales de producción de cuatro variedades de lechuga cultivadas bajo sistema hidropónico NFT comercial en la ciudad de Colonia Benítez, Chaco.

Antecedentes

El término hidroponía se deriva del griego hydro = agua y ponos = trabajo o actividad, es decir, ‘trabajo del agua’ o ‘actividad del agua’; también se conoce como cultivo sin suelo, nutricultura, quimiocultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo (Zárate Aquino 2014). Dentro de las técnicas de hidroponía se destaca la técnica de película nutritiva (NFT, *Nutrient Film Technique* en inglés) que consiste en el suministro constantes a las raíces de películas de solución nutritiva en movimiento que permite ahorrar hasta un 64% de agua en comparación a otros sistemas de cultivo (Majid et al. 2021).

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es un cultivo anual perteneciente a la familia de las Asteracea (Thomas et al. 2021). Es un cultivo hortícola ampliamente utilizado en el mundo para el consumo fresco de hojas en ensaladas siendo la principal verdura de hoja sembrada en Argentina para abastecer al mercado interno (CFI 2016). Es uno de los cultivos que mejor se adapta al cultivo hidropónico, presentando ciertas ventajas y diferencias en cuanto a la calidad con respecto a un sistema de cultivo convencional en tierra, entre ellos la mayor suavidad, firmeza de las nervaduras y mayor contenido de humedad de sus hojas (Lei y Engeseth 2021). Entre otras diferencias morfológicas de la lechuga hidropónica se destaca la mayor longitud de sus raíces asociada positivamente con una menor pérdida de peso fresco post-cosecha (Lei y Engeseth 2021; Suo et al. 2021). Por otro lado, la disponibilidad de tecnología hace a la lechuga hidropónica un cultivo modelo para el monitoreo y fenotipado (Story y Kacira 2015).

El crecimiento de un órgano se define como el incremento irreversible del peso y del tamaño (Brukhin y Morozova 2011). En la variación del crecimiento se pueden distinguir tres fases según el periodo de crecimiento considerado: fase exponencial, fase lineal y fase de senescencia. En lo que respecta a la lechuga hidropónica, debido al corto periodo que ocurre desde la siembra a cosecha (unos 40-50 días), la acumulación absoluta de materia seca total por planta en la biomasa aérea presenta solo las dos fases iniciales de crecimiento, alcanzando la fase lineal valores máximos de hasta 1,6 g de materia seca por día (Fraile-Robayo et al. 2017). Por otro lado, como el órgano comerciable económicamente de la lechuga son las hojas, el rendimiento se suele expresar en base al peso fresco de las plantas, alcanzando en el sistema NFT, a los 45 días luego del trasplante, valores que varían de 14 y 261 g de peso fresco de raíces y hojas, respectivamente (Thomas et al. 2021). En cuanto a rendimiento, una alta producción de fresco de hojas se encuentra asociada a una mayor tasa fotosintética y mayor crecimiento de plantas (Hao y Papadopoulos 2002). En particular en lechuga hidropónica una mayor acumulación de peso fresco de biomasa área puede atribuirse al mayor desarrollo del sistema radicular que permite aumentar la absorción de nutrientes (Thomas et al. 2021).

A nivel comercial existen diferentes genotipos de lechuga que se cultivan en sistema hidropónico según la preferencia de textura y sabor por parte de los consumidores (De Freitas et al. 2021). Las variedades comerciales de lechuga adaptadas al cultivo hidropónico presentan diferencias en cuanto a propiedades organolépticas y parámetros de crecimiento (Ohse et al. 2001) así como en calidad post-cosecha (Kowalczyk et al. 2018). A su vez los genotipos responden en forma diferencial a los parámetros de la solución nutritiva entre ellos la temperatura (Thakulla et al. 2021), el pH (Bres y Weston 1992), la conductividad eléctrica (Calori et al. 2014) y la salinidad (Orsini et al. 2018). A nivel general, el rendimiento de la lechuga hidropónica es afectado además por las

condiciones del ambiente lumínico del invernadero (Dannehl et al. 2021), la calidad de la fuente de agua para preparar la solución nutritiva (Date et al. 2005; Kurashina et al. 2019), y la temperatura y concentración de la misma (Cometti et al. 2008), entre otros factores. Sin embargo, existe escasa información sobre el efecto del estrés por altas temperaturas sobre la producción de lechuga hidropónica. En este sentido, se ha encontrado que temperaturas del aire de 31 °C combinada con temperatura del medio de cultivo de similar magnitud, produce plantas de lechuga visiblemente marchitas y reducidas en crecimiento (Thompson et al. 1998). Por el contrario, temperaturas del medio de cultivo bajas pueden contrarrestar un posible estrés térmico inducido por temperaturas del aire altas. Temperatura de la solución nutritiva cercana a 21 °C ha demostrado ser óptima para producir mayor rendimiento de lechuga (Thakulla et al. 2021). Aunque en ambiente tropical donde las temperaturas de aire son elevadas se busca mantener temperaturas de la solución nutritiva entre 25-27 °C (Fauzan y Saptarini 2021).

Materiales y Métodos

Sitio del ensayo: Huerta comercial “Panambí Productos Hidropónicos” ubicada dentro de la localidad de Colonia Benítez (calle Urunday 500) a 27 km de la ciudad de Resistencia, Chaco, el cual produce principalmente lechuga y rúcula. El invernadero contaba con 480 m² cubierto con film polietileno marca Agrotileno de 150 µm modelo xd2, dentro del cual se ubicaron trece mesadas de cultivo hidropónico con tanques de solución nutritiva individuales e independientes. Los cuatro laterales estuvieron cubiertos desde la superficie del suelo hasta los 2,85 m con malla antiáfido (sur), tela mosquitera (este y oeste) y film polietileno (norte) sin ventilación cenital.

Para el control de temperatura se instaló dentro invernadero, sectores con malla media sombra al 35% marca FreshNet (corrediza) ubicada a 2,8 m de altura y humidificadores ubicados a 2 m de altura sobre las mesadas.

Cada mesada estuvo equipada con un tanque individual conteniendo la solución nutritiva. Cada tanque estuvo provisto de un aireador de acuario y de un desnivel en el caño de retorno de agua para favorecer la aireación y en algunos casos, los tanques contaban con sistema vénturi en el caño de retorno para mejorar la aireación de la solución nutritiva. La solución nutritiva de las mesada maternidad, juvenil y definitiva se formuló según indicaciones del Laboratorio de Hidroponia – LabHidro, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil (Ohse et al. 2009). La circulación de la solución nutritiva se programó con un temporizador analógico mediante el cual, en todas las mesadas, se hizo circular la solución durante la franja horaria de 10 a 18 h en forma continua y a la noche se aplicaron tres turnos de riego de 15 min de duración.

El manejo general del vivero (preparación de la solución nutritiva, riego, control de plagas, regulación de altas temperaturas con nebulizadores y con mallas media sombra) estuvo a cargo del establecimiento productivo.

Material vegetal: Se analizaron simultáneamente cuatro variedades comerciales de lechuga: 1) verde mimosa (var. Kristine RZ), verde mantecosa (var. Nadine RZ), morada mimosa (Rouxai RZ), morada lisa (var. Cherokee RZ), que difieren en color y morfología, todas de la marca Rijk Zwaan.

Diseño experimental: Por cada variedad se analizaron comparativamente seis ciclos consecutivos de producción desde trasplante a mesada definitiva a cosecha, realizando tres medidas repetidas en el tiempo con una frecuencia semanal finalizando antes del momento de cosecha. Los ciclos tuvieron una diferencia de fecha de siembra de unos 15 días aproximadamente y abarcaron meses de la estación invierno-primavera. Las

unidades experimentales (UE) estuvieron formadas por diez plantas de cada variedad distribuidas al azar dentro de las mesadas de cultivo.

Condiciones de crecimiento: Las semillas fueron sembradas sobre placas de espuma fenólica con cubos perforados (una semilla por cubo). Las placas se mantuvieron por 72 h en condiciones de humedad y oscuridad para luego ser transferidas. Las plántulas fueron cultivadas y subsecuentemente transferida, a medida que avanzaba el desarrollo, a diferentes mesadas denominadas maternidad, juvenil y definitiva. Todas las mesadas contaban con un desnivel del 12 % para hacer circular la solución nutritiva por gravedad.

La mesada de maternidad estuvo compuesta por una mesa plana con malla antideslizante sobre la cual se apoyaron las placas de espuma fenólica y por la cual se hizo circular la solución nutritiva. Cuando las plántulas tenían 2-3 hojas verdaderas fueron transferidas a la mesada juvenil.

La mesada juvenil estuvo compuesta por dos pisos de grupos de ocho caños de PVC redondo (arriba) y 15 caños rectangulares de polietileno (abajo) de 8 m de longitud. Los caños de PVC estaban perforados con orificios de 3 cm de diámetro, con orificios espaciados 7 cm a lo largo del caño. Los caños de polietileno contaban con orificios de 2,8 cm, 5,4 cm de ancho y 3,4 cm de altura, con orificios espaciados 9,4 cm. Dentro de cada orificio se colocó un cubo conteniendo una plántula de lechuga. Cuando las plantas desarrollaron 4-5 hojas fueron transferidas a la mesada definitiva.

El vivero contaba con cinco mesadas definitivas en doble piso y siete mesadas definitivas simples (sin doble piso) de unos 1,5 m de ancho y 12 m de longitud. Las mesadas definitivas utilizadas para el cultivo de lechuga en general era las simples, sin doble piso, formadas por 8 caños de PVC de 8 cm de diámetro dispuestos en forma longitudinal a la mayor dimensión, con una separación entre caños de 13 cm. Los caños estaban perforados con un orificio de 5 cm de diámetro, con orificios espaciados 20 cm a

lo largo del caño. Dentro de cada orificio se transfirió una planta de lechuga la cual permaneció en el mismo lugar hasta la cosecha.

Variables meteorológicas: Los datos climáticos locales diarios se obtuvieron de las estaciones meteorológicas más cercanas, NH0487 (Colonia Benítez) y A87289 (Colonia Popular, a 20 km de Colonia Benítez), disponibles en la página web <http://siga2.inta.gob.ar/>. Se colocó dentro del invernadero, próximo a la mesada de cultivo, un equipo data logger de 4 canales, marca Cavadevices, para realizar el registro diario continuo con sensor de temperatura (T2), humedad, radiación PAR colocados sobre la mesada definitiva expuesto al sol, y con sensor de temperatura adicional para la solución nutritiva (T1) colocado dentro del caño en contacto con solución nutritiva. Semanalmente se registró en el tanque de la solución nutritiva y en la fuente de agua (agua red de Sameep o bien de la perforación), la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura con medidor portátil GroLine Combo.

Mediciones no destructivas: Se realizaron medidas repetidas en el tiempo en plantas individuales. En cada planta se midió, en el horario matinal de 8 a 11 h, el peso fresco de planta entera, diámetro mayor y menor y altura (midiendo desde el cuello de la planta hasta el borde la hoja superior). Antes de la cosecha se registró la imagen de tres plantas por genotipo (planta entera en sección horizontal y vertical) mediante fotografías a 70 cm de altura, para estimar el área y perímetro de canopeo con el programa ImageJ (Schneider *et al.* 2012).

En cada medición las plantas fueron cuidadosamente manipuladas a fin de preservar su integridad dada la fragilidad inherente al material crecido bajo condiciones hidropónicas. Luego de cada medida las plantas fueron devueltas en sus respectivas ubicaciones de crecimiento dentro de la mesada de cultivo. Finalizada la última medición las plantas fueron sujetas a comercialización.

Se midieron por día de trabajo al menos 40 plantas provenientes de un ciclo de cosecha. En algunos casos las mediciones de dos ciclos diferentes se superpusieron midiéndose hasta 80 plantas en la misma franja horaria. Con las mediciones realizadas se determinó, en cada ciclo analizado y para cada variedad, la variación de variables por el lapso de día y por semana de cultivo.

Análisis de datos: La primera medición de peso fresco, altura y diámetro se inició el 03/09/2021 y la última el 25/11/2021, abarcando 13 semanas correlativas de las estaciones de invierno y primavera. Durante ese intervalo se obtuvieron 7237 registros del dispositivo data logger y 685 medidas de peso fresco, altura y diámetros de plantas de lechuga. Los datos se analizaron con el programa Excel. Las variables se resumieron utilizando la herramienta de tabla dinámica.

Para establecer la relación entre el crecimiento y los datos meteorológicos se analizaron los registros de temperaturas por el data logger durante la semana previa a la toma de dato de una medición de los distintos parámetros de crecimiento.

La primera medición de cada ciclo de cosecha en general correspondió a similar estado fenológico en las plantas analizadas (aproximadamente estado de 5-6 hojas verdaderas). En algunas ocasiones hubo un retraso en el trasplante de la mesada juvenil a las mesadas definitivas, por lo cual en estos casos se agregaría un efecto no controlado sobre la primera medición de los diferentes ciclos de cosecha.

Las variables de crecimiento y meteorológicas se analizaron mediante medidas de resumen como ser media, DE (desviación estándar), EE (error estándar), CV (coeficiente de variación), Min (valor mínimo), Max (valor máximo), mediana (corresponde al cuartil Q2), Q1 (cuartil 1), Q3 (cuartil 3) y asimetría, utilizando el programa Infostat (Di-Rienzo et al. 2020).

Resultados

Variables Ambientales

Temperatura

Durante el periodo en estudio, la variación mensual y horaria de temperaturas mínimas y máximas del invernadero y de la solución nutritiva obtenidas por el sensor T2 y T1 del data logger (Figura 1), respectivamente fueron las siguientes: en el mes de septiembre se registró para el invernadero (sensor T2) una temperatura mínima de 9°C el día 09/09 a las 6:15 h y una máxima de 50,2 °C el día 27/09 a las 13:15 h. Las temperaturas registradas en la solución nutritiva (sensor T1) oscilaron desde una mínima de 7°C el día 09/09 a las 6:15 h a una máxima de 36,7 °C el día 27/09 a las 14:30 h.

Durante el mes de octubre, las temperaturas (sensor T2) registradas en el invernadero variaron desde una mínima de 8,6 °C el día 05/10 a las 6:30 h a una temperatura máxima de 58 °C el día 29/10 a las 14:15 h. En la solución nutritiva (sensor T1) se registraron valores de temperaturas mínimas de 7,4 °C el 05/10 a las 6:30 h y una máxima de 35,2 °C el 13/10 a las 14:15 h.

En noviembre, se registró en el invernadero (sensor T2) una temperatura mínima de 12,9 °C el día 19/11 y una máxima de 57°C el 01/11 a las 13:30 h. En relación a la solución nutritiva (sensor T1), se registró una temperatura mínima de 12 °C el 19/11 a las 5:30 h y una máxima de 41 °C el 13/11 a las 13:40 h.

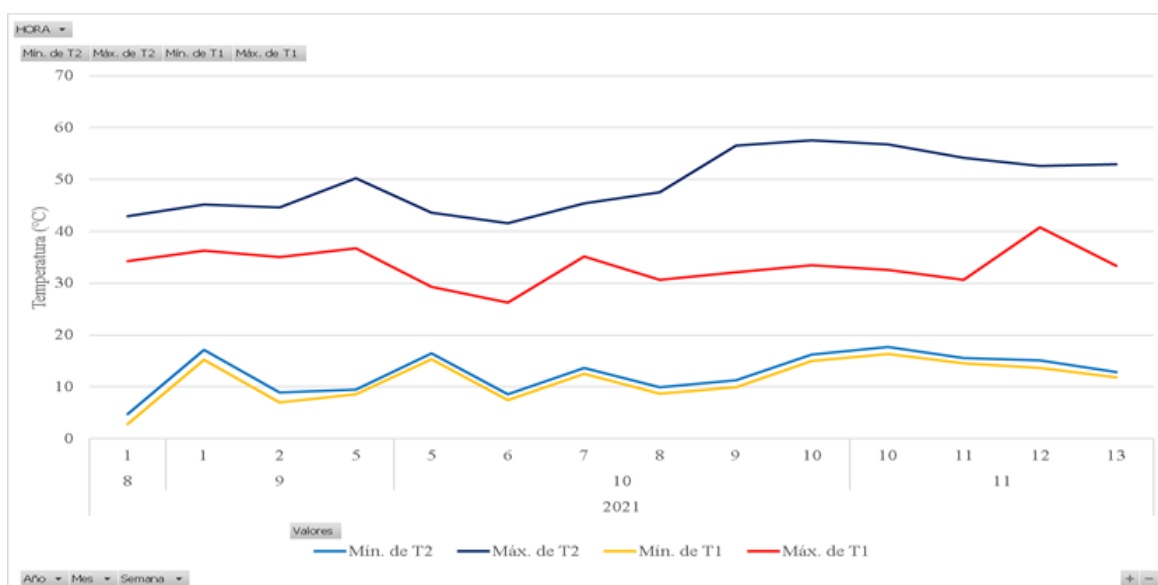


Figura 1. Variación de la temperatura mínima y máxima dentro del invernadero registrada por los sensores del data logger T1 (solución nutritiva, línea roja/amarilla) y T2 (temperatura ambiente, línea azul/celeste), que incluye el periodo de los 6 ciclos de cosecha analizados, abarcando los meses de agosto (mes 8) hasta noviembre (mes 11) abarcando 13 semanas correlativas, con excepción de las semanas 3 y 4 donde el data logger quedó sin batería y no registró datos .

La estación NH0487 (Colonia Benítez) registró para el mes de septiembre una temperatura mínima de 4,7 °C el día 10/09 y una máxima de 40 °C el 19/09. En el mes de octubre el día 05/10 se registró una temperatura mínima de 8 °C y una máxima de 35,6 el 28/10. En noviembre se obtuvo una mínima temperatura de 13,6 °C el 19/11 y una máxima de 35,7 °C el 4/11. Se realizó el análisis de datos meteorológicos en la semana previa a las mediciones de lechuga (Tabla 1), en la cual se recopilaron los datos registrados por el Data logger y la estación meteorológica NH0487.

Tabla 1. Datos meteorológicos registrados en la semana previa a las mediciones de crecimiento de lechuga hidropónica cultivada en la ciudad de Colonia Benítez Chaco.

Año	Mes	Semana	Data logger ¹						Estación: INTA - Colonia Benítez NH0487 ²					
			Sensor T1 (°C)			Sensor T2 (°C)			Hum. R (%)	T.Mín (°C)	T.Máx (°C)	T.Media (°C)	Amp. (°C)	HR (%)
			T.Mín	T.Máx	T. Media	T.Mín	T.Máx	T.Media						
2021	9	1	2,8	36,3	20,9	4,8	45,2	26,3	67,4	1,1	37,3	22,0	36,2	90,1
2021	9	2	10,5	35,1	21,0	12,3	44,6	26,0	77,6	14,4	35,4	23,3	21,0	79,9
2021	9	3								4,7	35,7	20,1	31,0	57,7
2021	9	4								11,0	39,8	23,0	28,8	64,9
2021	10	5	8,6	36,7	21,5	9,5	50,2	26,9	78,9	8,9	37,1	22,0	28,2	67,7
2021	10	6	7,4	35,5	19,7	8,6	43,6	26,2	75,2	7,9	32,6	20,6	24,7	62,3
2021	10	7	12,5	35,2	22,4	13,7	45,4	28,7	75,0	13,0	34,3	22,6	21,3	67,9
2021	10	8	8,7	30,6	18,7	9,9	47,5	26,4	70,4	9,4	29,7	18,8	20,3	53,4

2021	10	9	9,9	32,1	20,4	11,3	47,9	27,7	71,6	9,2	33,9	21,5	24,7	54,4
2021	11	10	16,4	32,6	23,7	17,7	56,8	34,1	77,2	17,0	35,7	24,8	18,7	73,1
2021	11	11	15,1	31,9	22,5	16,6	54,7	32,5	74,4	17,0	35,7	23,9	18,7	69,9
2021	11	12	14,5	40,8	24,6	15,6	52,6	31,0	79,1	16,5	34,3	24,0	17,8	69,4
2021	11	13	11,9	33,4	22,8	12,9	52,9	31,9	72,9	13,6	35,6	24,0	22,0	60,9

Fuente de registros: ¹ Data logger de cuatro canales con sensores de temperatura T1 (en contacto con la solución nutritiva) y T2 (expuesto a la radiación solar), Hum. R (humedad relativa), T. Máx.: máxima absoluta registrada en la semana, T. min.: mínima absoluta registrada en la semana, T. Media.: promedio semanal, ² Estación meteorológica convencional (EMC) NH0487, localidad Colonia Benítez, dependiente de la EEA Colonia Benítez, T. Min.: mínima absoluta registrada en la semana, T. Max.: máxima absoluta registrada en la semana, T. Media.: promedio semanal, Amp. (°C): amplitud térmica, HR.: humedad relativa.

Con el software Infostat se obtuvieron medidas de resumen para las temperaturas máximas y mínimas de T1, T2 y EMC Colonia Benítez. (Tabla 2).

Tabla 2: Medidas de resumen obtenidas con el software Infostat para las temperaturas máximas y mínimas de T1, T2 y EMC NH0487 Colonia Benítez.

Ensayo	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín.	Máx.	Mediana	Q1	Q3	Asimetría
1	T1 Máx.	40	35,7	0,6	0,1	1,7	35,1	36,3	35,7	35,1	36,3	0
1	T1 Mín.	40	6,7	3,9	0,6	58,6	2,8	10,5	6,7	2,8	10,5	0
1	T2 Máx.	40	44,9	0,3	0,1	0,7	44,6	45,2	44,9	44,6	45,2	0
1	T2 Mín.	40	8,6	3,8	0,6	44,4	4,8	12,3	8,6	4,8	12,3	0
1	T. máx media(EMC)	60	24,6	1,5	0,2	6,2	22,7	26,4	24,7	22,7	26,4	-0,1
1	T. mín media(EMC)	60	12,3	3,6	0,5	29,2	9,1	17,3	10,6	9,1	17,3	0,6
2	T1 Máx.	76	36,1	0,6	0,1	1,7	35,5	36,7	36,1	35,5	36,7	0
2	T1 Mín.	76	8,0	0,6	0,1	7,6	7,4	8,6	8,0	7,4	8,6	0
2	T2 Máx.	76	46,9	3,3	0,4	7,1	43,6	50,2	46,9	43,6	50,2	0
2	T2 Mín.	76	9,1	0,5	0,1	5,0	8,6	9,5	9,1	8,6	9,5	0
2	T. máx media(EMC)	152	26,5	1,3	0,1	5,0	24,7	28,4	26,4	24,7	26,6	0,2
2	T. mín media(EMC)	152	13,6	3,3	0,3	24,7	9,9	17,4	13,5	9,9	16,3	0
3	T1 Máx.	80	33,1	2,5	0,3	7,5	30,6	35,5	33,1	30,6	35,5	0
3	T1 Mín.	80	8,1	0,7	0,1	8,1	7,4	8,7	8,1	7,4	8,7	0
3	T2 Máx.	80	44,5	0,9	0,1	2,0	43,6	45,4	44,5	43,6	45,4	0
3	T2 Mín.	80	11,2	2,6	0,3	23,0	8,6	13,7	11,2	8,6	13,7	0
3	T. máx media(EMC)	120	26,1	0,5	0,1	1,9	25,4	26,6	26,2	25,4	26,6	-0,4
3	T. mín media(EMC)	120	14,1	3,0	0,3	21,3	9,9	16,3	16,2	9,9	16,3	-0,7
4	T1 Máx.	120	32,6	1,9	0,2	5,9	30,6	35,2	32,1	30,6	35,2	0,4
4	T1 Mín.	120	10,4	1,6	0,2	15,4	8,7	12,5	9,9	8,7	12,5	0,4
4	T2 Máx.	120	46,9	1,1	0,1	2,4	45,4	47,9	47,5	45,4	47,9	-0,7
4	T2 Mín.	120	11,6	1,6	0,1	13,5	9,9	13,7	11,3	9,9	13,7	0,3
4	T. máx media(EMC)	120	31,1	4,3	0,4	13,7	25,4	35,6	32,4	25,4	35,6	-0,4
4	T. mín media(EMC)	120	16,6	1,3	0,1	7,6	15,3	18,3	16,2	15,3	18,3	0,5
5	T1 Máx.	120	33,3	1,4	0,1	4,1	32,1	35,2	32,6	32,1	35,2	0,6
5	T1 Mín.	120	12,9	2,7	0,2	20,7	9,9	16,4	12,5	9,9	16,4	0,2
5	T2 Máx.	120	50,7	4,3	0,4	8,5	47,5	56,8	47,9	47,5	56,8	0,7
5	T2 Mín.	120	13,0	3,4	0,3	26,3	9,9	17,7	11,3	9,9	17,7	0,6
5	T. máx media(EMC)	120	32,5	2,5	0,2	7,7	29,5	35,6	32,4	29,5	35,6	0,1
5	T. mín media(EMC)	120	17,2	1,4	0,1	7,9	15,3	18,3	18,0	15,3	18,3	-0,7
6	T1 Máx.	120	35,4	3,9	0,4	11,1	31,9	40,8	33,4	31,9	40,8	0,6
6	T1 Mín.	120	13,8	1,4	0,1	10,1	11,9	15,1	14,5	11,9	15,1	-0,6
6	T2 Máx.	120	53,4	0,9	0,1	1,7	52,6	54,7	52,9	52,6	54,7	0,7
6	T2 Mín.	120	15,0	1,6	0,1	10,4	12,9	16,6	15,6	12,9	16,6	-0,5
6	T. máx media(EMC)	120	28,3	1,9	0,2	6,6	25,9	30,4	28,7	25,9	30,4	-0,3
6	T. mín media(EMC)	120	18,0	2,5	0,2	13,8	15,5	21,4	17,2	15,5	21,4	0,5

Las temperaturas máximas y mínimas registradas por el sensor T1 (solución nutritiva) muestran una variabilidad considerable, especialmente en las temperaturas mínimas, con un CV de hasta 58,63% en el ensayo 1. Esto indica que la temperatura de la solución nutritiva fluctúa, lo que podría influir en el crecimiento de las plantas.

Las temperaturas registradas en el invernadero (sensor T2) muestran una menor variabilidad en comparación con el sensor T1. Sin embargo, el CV de las temperaturas mínimas aún es alto en algunos ensayos, reflejando una variación en la temperatura dentro del invernadero.

Las temperaturas registradas por la estación meteorológica mostraron la menor variabilidad, con CV bajos tanto para las temperaturas máximas como mínimas. Esto sugiere que las condiciones exteriores fueron más estables en comparación con las condiciones dentro del invernadero y de la solución nutritiva.

En general, se observó un incremento en las temperaturas máximas y mínimas registradas por los sensores y la estación meteorológica a lo largo de los ensayos, este incremento puede estar relacionado con cambios estacionales y variaciones en las condiciones ambientales. Las fluctuaciones en las temperaturas del invernadero y la solución nutritiva, especialmente las mínimas y las máximas, podrían ser un factor determinante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando los diferentes parámetros de crecimiento incluidos en este trabajo.

Parámetros de Crecimiento

Peso Fresco.

El rango de valores medios de peso fresco por planta registrados por las variedades a lo largo de todas las mediciones de los seis ciclos de cosechas fueron los siguientes: 5,1-144g (Nadine RZ), 5,1-152g (Kristine RZ), 3,8-148g (Cherokee) y 3,7-45 (Rouxai RZ).

El análisis entre los ensayos o ciclos de cosecha de las diferentes variedades, mostró que en los ensayos 1-3 (variedad Nadine RZ) y 2-3 (de las variedades Kristine RZ, Cherokee RZ y Rouxai RZ) se registraron los menores promedios de peso fresco en la última medición previa a la cosecha. Mientras que en los ciclos 5-6 (variedad Nadine RZ y Cherokee RZ) y 4-5 (variedad Kristine RZ y Rouxai RZ) se registraron los mayores promedios de peso fresco previos a la cosecha. (Figura 2).

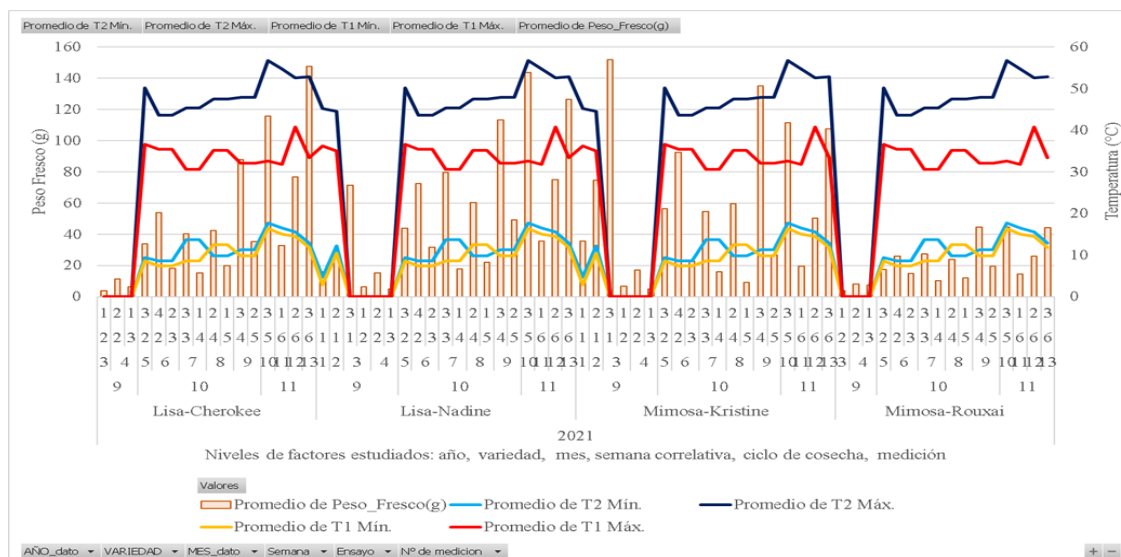


Figura 2. Resumen con gráfico dinámico de la variación de peso fresco individual de plantas de cuatro variedades de lechuga según niveles de los factores estudiados: año, variedad, mes, semana correlativa, ciclo de cosecha y medición dentro del ciclo de cosecha junto a la variación de temperaturas máximas y mínimas del invernadero (línea superior azul e inferior celeste) y la solución (línea superior roja e inferior amarilla) registradas por el sensor T2 y T1 del Data logger a lo largo de 6 ciclos de cosecha durante los 3 meses de estudio.

El incremento semanal de peso fresco (Figura 3) mostró variaciones durante los ensayos o ciclos de cosecha, la variedad Cherokee RZ tuvo un incremento gradual en el peso fresco semanal desde el ensayo 2 hasta el ensayo 6. El incremento más bajo se registró en el ensayo 3 (11,7 g), mientras que el más alto se observa en el ensayo 6 (57,40 g), siendo los ensayos 5 y 6 donde se obtuvieron los mayores valores de peso fresco.

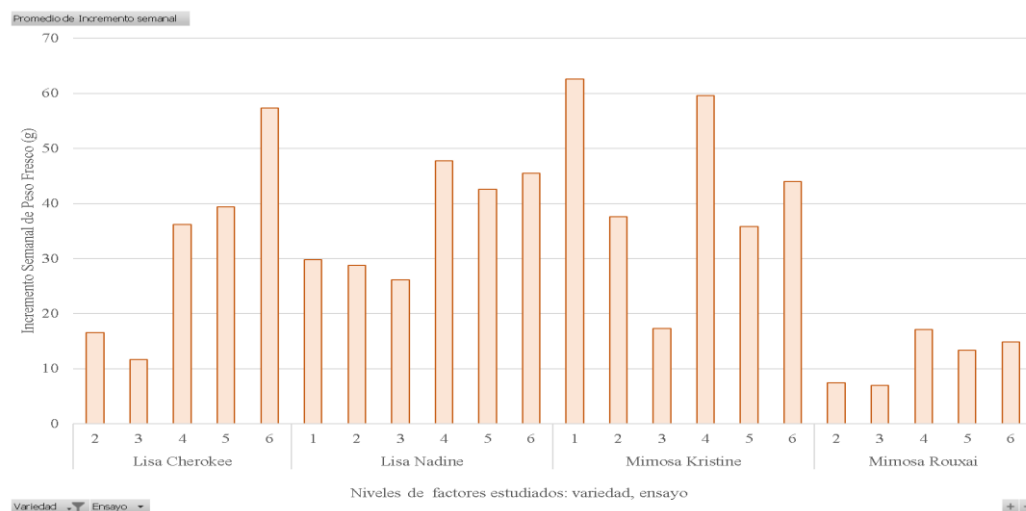


Figura 3. Resumen con gráfico de barras del incremento de peso fresco semanal de plantas de cuatro variedades de lechuga en 6 ciclos de cosecha.

La variedad Nadine RZ (Figura 3) presentó un incremento más consistente a lo largo de los ensayos, con aumento desde el ensayo 1 (29,80 g) hasta el ensayo 6 (45,50 g). El ensayo 5 mostró una leve disminución (42,56 g) en comparación con el ensayo 4 y 6. Nadine RZ demostró una capacidad de crecimiento considerable, especialmente evidente en los ensayos 4 y 6, donde los incrementos son mayores.

Con respecto a la variedad Kristine RZ (Figura 3), la tendencia general de crecimiento exhibió una variación significativa en el incremento de peso fresco semanal. El mayor incremento se registró en el ensayo 1 (62,60 g), mientras que el más bajo en el ensayo 3 (17,29 g), esta variedad parece ser más sensible a las condiciones de los ensayos, mostrando variaciones más marcadas en los incrementos de peso fresco, sin embargo, en el ensayo 4, se observó un notable incremento (59,60 g), indicando una recuperación en el crecimiento.

La variedad Rouxai RZ (Figura 3) presentó los incrementos más bajos en comparación con las otras variedades. El incremento semanal varió entre 7,40 g (ensayo 2) y 17,15 g

(ensayo 4), mostrando un crecimiento menor, sin mostrar elevados valores a lo largo de los ensayos. Este patrón podría indicar que esta variedad tiene una tasa de crecimiento más lenta que los demás genotipos.

Con el software infostat se realizó un análisis descriptivo en el cual se obtuvieron medidas de resumen para el peso fresco de cuatro variedades de lechuga bajo sistema hidropónico bajo los niveles de estudio de ensayo y variedad (Tabla 3).

Los CV altos indican una considerable variabilidad en los pesos frescos. Por ejemplo, Lisa-Nadine en el ensayo 1 tuvo un CV de 78,51%, lo que sugiere una gran dispersión de los datos alrededor de la media, esta variabilidad podría deberse a las variaciones ocurridas en las condiciones ambientales dentro del invernadero.

La media del peso fresco aumentó en los ensayos posteriores, por ejemplo, Lisa Nadine en el ensayo 1 tiene una media de 38,97 g, mientras que en el ensayo 6 la media es de 79,2 g. La DE también mostró un aumento en los ensayos posteriores, lo que indica una mayor variabilidad de los pesos frescos en esos ensayos.

Los rangos Q1-Q3 amplios en los ensayos 5 y 6 indican una mayor dispersión de los datos dentro del percentil 50% central. Por ejemplo, Lisa Cherokee en el ensayo 6 tiene un rango Q1-Q3 de 36-134 g, lo que podría significar que las variaciones de temperatura pudieron haber tenido un impacto importante en la variabilidad del peso fresco.

Tabla 3: Medidas de resumen descriptivo de la variación de peso fresco de cuatro variedades de lechuga obtenidas con el software Infostat.

Ensayo	Variedad	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3	Asimetría
1	Lisa-Nadine	Peso Fresco(g)	30	39	30,6	5,6	78,5	6	121	29,5	17	48	1,3
1	Mimosa-Kristine	Peso Fresco(g)	28	85,6	60	11,3	70	15	208	71,5	38	108	0,8
2	Lisa-Cherokee	Peso Fresco(g)	40	25,8	21	3,3	81,6	1	79	23	7	44	0,6
2	Lisa-Nadine	Peso Fresco(g)	40	34,6	30,4	4,8	88	1	108	23,5	10	57	0,9

2	Mimosa-Kristine	Peso Fresco(g)	40	43,2	36,3	5,7	84	3	121	35,5	11	71	0,6
2	Mimosa-Rouxai	Peso Fresco(g)	32	13,9	9,7	1,7	69,9	1	34	13,5	6	21	0,5
3	Lisa-Cherokee	Peso Fresco(g)	30	21,7	14,5	2,6	66,7	3	45	18,5	8	37	0,4
3	Lisa-Nadine	Peso Fresco(g)	28	36	35,7	6,8	99,1	1	124	26	5	54	1,2
3	Mimosa-Kristine	Peso Fresco(g)	29	26,6	22,4	4,2	84,3	2	82	20	8	44	0,9
3	Mimosa-Rouxai	Peso Fresco(g)	28	16,3	8,6	1,6	52,8	2	30	15	8	24	0,3
4	Lisa-Cherokee	Peso Fresco(g)	30	48,6	30,9	5,6	63,6	14	105	43	16	78	0,4
4	Lisa-Nadine	Peso Fresco(g)	30	63,9	41,7	7,6	65	14	152	56,5	20	97	0,4
4	Mimosa-Kristine	Peso Fresco(g)	30	70,4	53,9	9,8	76,6	11	184	57	19	118	0,7
4	Mimosa-Rouxai	Peso Fresco(g)	30	26,4	14,5	2,6	54,8	10	49	24	11	43	0,3
5	Lisa-Cherokee	Peso Fresco(g)	30	57	43,1	7,9	75,6	16	129	34,5	22	111	0,7
5	Lisa-Nadine	Peso Fresco(g)	30	71,7	54,7	10	76,4	13	183	48,5	26	125	0,8
5	Mimosa-Kristine	Peso Fresco(g)	30	49,2	46,5	8,5	94,6	4	138	27	11	106	0,8
5	Mimosa-Rouxai	Peso Fresco(g)	30	25,6	14,3	2,6	56	6	49	20	13	43	0,6
6	Lisa-Cherokee	Peso Fresco(g)	30	85,8	49,6	9,1	57,8	26	179	73	36	134	0,4
6	Lisa-Nadine	Peso Fresco(g)	30	79,2	40,4	7,4	51,1	20	151	76	40	122	0,3
6	Mimosa-Kristine	Peso Fresco(g)	30	59,2	38,5	7	65,1	16	134	48	22	94	0,6
6	Mimosa-Rouxai	Peso Fresco(g)	30	28,3	12,7	2,3	44,9	13	50	27	15	43	0,4

Las temperaturas más altas en los ensayos 5 y 6 están asociadas con mayores pesos frescos, esto podría deberse a un mejor crecimiento las plantas bajo condiciones de temperatura más óptimas. Por ejemplo, Mimosa-Kristine mostró valores medios de peso fresco en ensayo 4 y 6 (70,4 y 59,2 g, respectivamente) con temperatura media mínima de T1 (solución nutritiva) de 10,4°C y de 13,83°C, respectivamente.



Figura 4. Sitio de ensayo del estudio de crecimiento y variables meteorológicas en lechuga hidropónica cultivada en Colonia Benitez, Chaco. (A) Mesada de cultivo definitiva conteniendo las cuatro variedades de lechuga analizadas. (B) Medición de peso fresco de planta individual de la variedad verde mimosa Kristine RZ. (C) Medición de peso fresco de planta individual de la variedad morada mimosa Rouxai RZ. (D) Medición de peso fresco de planta individual de la variedad morada lisa Cherokee RZ. (E) Medición de peso fresco de planta individual de la variedad verde lisa Nadine RZ.

Altura.

Los valores de altura en los seis ciclos de cosecha de cuatro variedades de lechuga cultivadas bajo sistema hidropónico tuvieron una variación a lo largo de los tres meses de estudio. El rango de valores medios fueron los siguientes: 8,2-23cm (Nadine RZ), 7,5-21cm (Kristine RZ), 5,8-21,4 (Cherokee RZ), 6,1-17,2 (Rouxai RZ).

El análisis de los ensayos o ciclos de cosecha de las diferentes variedades reveló que en los ensayos 1-2 (variedad Nadine RZ y Kristine RZ), 2-3 y 3-4 (de las variedades Rouxai RZ y Cherokee RZ, respectivamente) se observaron las menores alturas promedio

en la última medición. Por otro lado, en los ciclos 5-6 se registraron para todas las variedades las mayores alturas promedio previas de la cosecha. (Figura 5).

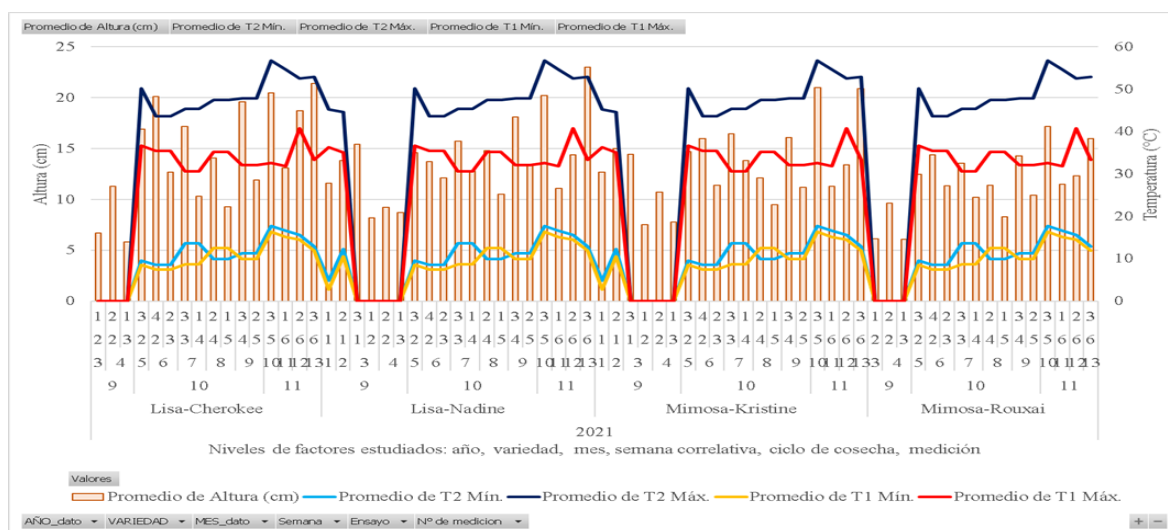


Figura 5. Resumen con gráfico dinámico de la variación de altura de plantas de cuatro variedades de lechuga según niveles de los factores estudiados: año, variedad, mes, semana correlativa, ciclo de cosecha y medición dentro del ciclo de cosecha junto a la variación de temperaturas máximas y mínimas del invernadero (línea superior azul e inferior celeste) y la solución (línea superior roja e inferior amarilla) registradas por el sensor T2 y T1 del data logger a lo largo de 6 ciclos de cosecha durante los 3 meses de estudio.

Con el software Infostat se obtuvieron medidas de resumen para la altura de cuatro variedades de lechuga bajo sistema hidropónico (Tabla 4).

El CV mostró variabilidad en las alturas. Por ejemplo, Rouxai RZ en el ensayo 2 tuvo un CV de 35,32%, lo que indica dispersión en las alturas de las plantas.

La media de las alturas de las plantas incrementó a lo largo de los ensayos. Por ejemplo, Nadine RZ en el ensayo 1 tuvo una media de 13,6 cm, mientras que en el ensayo 6 la media fue de 16,17 cm.

Tabla 4: Medidas de resumen de la altura de cuatro variedades de lechuga agrupadas por ensayo.

Ensayo	Variedad	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3	Asimetría
1	Lisa-Nadine	Altura(cm)	30	13,6	2,7	0,5	20,1	9	19	14	11	16	-0,1
1	Mimosa-Kristine	Altura(cm)	28	14	2,9	0,6	20,8	7	20	14	12	15	-0,4
2	Lisa-Cherokee	Altura(cm)	40	13,8	5,6	0,9	40,5	5	24	13,5	8	18	0,1
2	Lisa-Nadine	Altura(cm)	40	11,4	3,5	0,6	30,8	6	19	10,5	9	13	0,4
2	Mimosa-Kristine	Altura(cm)	40	12,2	3,7	0,6	30,5	6	19	12,5	9	15	-0,1
2	Mimosa-Rouxai	Altura(cm)	32	10,7	3,8	0,7	35,3	5	17	10,5	7	14	0,0
3	Lisa-Cherokee	Altura(cm)	30	11,9	5	0,9	42,4	4	20	12	7	16	-0,3
3	Lisa-Nadine	Altura(cm)	28	11,9	3,4	0,6	28,5	7	18	11	9	14	0,3
3	Mimosa-Kristine	Altura(cm)	29	11,7	3,8	0,7	32,3	5	18	11	9	15	0,2
3	Mimosa-Rouxai	Altura(cm)	28	10,2	3,6	0,7	35,4	4	16	11	6	13	-0,3
4	Lisa-Cherokee	Altura(cm)	30	14,7	4,2	0,8	28,4	9	24	14	11	19	0,5
4	Lisa-Nadine	Altura(cm)	30	15,2	2,9	0,5	19,3	10	20	15,5	13	18	0,1
4	Mimosa-Kristine	Altura(cm)	30	14	2,3	0,4	16,5	10	19	13,5	12	16	0,3
4	Mimosa-Rouxai	Altura(cm)	30	12,0	2	0,4	16,5	10	16	12	10	14	0,6
5	Lisa-Cherokee	Altura(cm)	30	13,9	4,9	0,9	35,6	8	21	12	10	20	0,5
5	Lisa-Nadine	Altura(cm)	30	14,7	4,5	0,8	30,4	9	24	13,5	11	19	0,5
5	Mimosa-Kristine	Altura(cm)	30	13,9	5,5	1,0	39,2	7	24	11	10	19	0,7
5	Mimosa-Rouxai	Altura(cm)	30	12,0	4	0,7	33,5	7	20	10	9	16	0,6
6	Lisa-Cherokee	Altura(cm)	30	17,7	3,9	0,7	22,2	12	24	19,5	14	21	-0,3
6	Lisa-Nadine	Altura(cm)	30	16,2	5,5	1,0	34	8	26	14,5	12	22	0,4
6	Mimosa-Kristine	Altura(cm)	30	15,2	4,7	0,9	31	10	25	13,5	12	19	0,7
6	Mimosa-Rouxai	Altura(cm)	30	13,3	2,8	0,5	20,9	10	24	12	12	15	2,1

La DE también mostró un incremento en los ensayos posteriores, lo que sugiere una mayor variabilidad en las alturas de las plantas en esos ensayos.

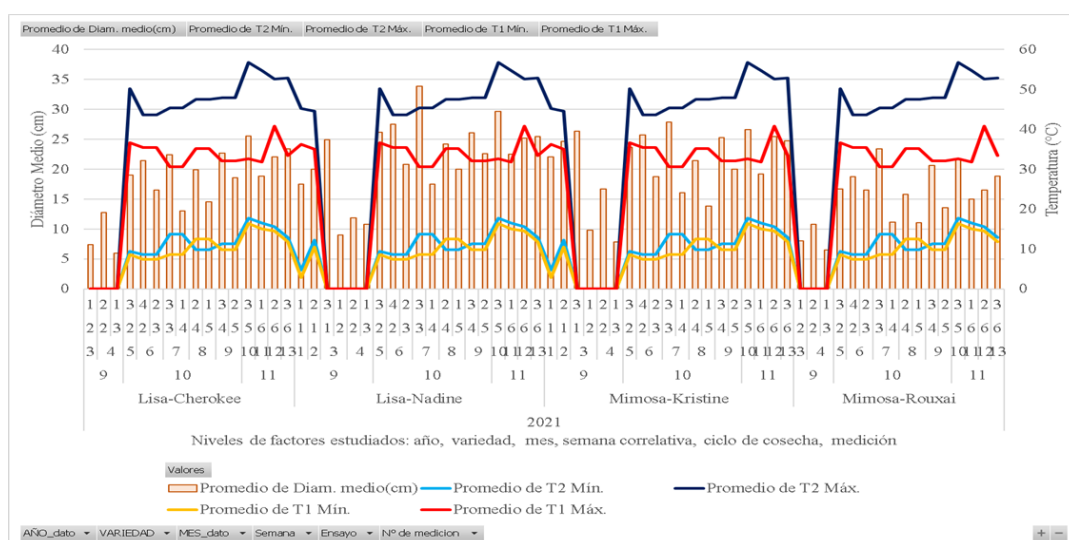
En los ensayos 5 y 6, las alturas medias de las plantas fueron mayores en comparación con los ensayos anteriores, por ende, este incremento en la altura podría estar relacionado con las temperaturas más altas y más estables observadas en los ensayos 5 y 6.

Diámetro.

A lo largo de los seis ciclos de cosecha, se observaron variaciones en los valores de diámetro medio de las cuatro variedades de lechuga cultivadas bajo sistema hidropónico

durante los tres meses de estudio. Los diámetros promedio oscilaron en los siguientes rangos: Nadine RZ (9-30 cm), Kristine RZ (8-26 cm), Cherokee RZ (6-26 cm), y Rouxai RZ (6-23 cm).

Durante los ciclos de cosecha, se observó que los diámetros promedio menores se presentaron en los ciclos 1-6, 2-4, 2-3 y 2-6 en las variedades Nadine RZ, Kristine RZ, Cherokee RZ y Rouxai RZ, respectivamente. En contraste, los diámetros promedio mayores se registraron en los ciclos 3-5 para las variedades Nadine RZ, Kristine RZ y Rouxai, mientras que para la variedad Cherokee RZ en los ciclos 5-6 se observaron los mayores diámetros tomados en la última medición previa a la cosecha. (Figura 6).



Con el software infostat se obtuvieron medidas de resumen para el diámetro de cuatro variedades de lechuga bajo sistema hidropónico (Tabla 5).

Tabla 5: Medidas de resumen del diámetro de cuatro variedades de lechuga obtenidas con el software Infostat

Ensayo	Variedad	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máy	Mediana	Q1	Q3	Asimetría
1	Lisa-Nadine	Diám. Medio(cm)	30	20,8	5	0,9	24	9,5	30	20,3	17,5	24,5	-0,2
1	Mimosa-Kristine	Diám. Medio(cm)	28	24,3	3,7	0,7	15,2	16,5	32	24,5	22	26,5	-0,2
2	Lisa-Cherokee	Diám. Medio(cm)	40	15,2	5,9	0,9	38,8	6	27	16,5	9	19	-2,90E-03
2	Lisa-Nadine	Diám. Medio(cm)	40	18,7	9,1	1,4	48,7	5,5	34,5	18,3	9,5	27	0,1
2	Mimosa-Kristine	Diám. Medio(cm)	40	19	6,7	1,1	35,1	9	29,5	21,8	12	25	-0,3
2	Mimosa-Rouxai	Diám. Medio(cm)	32	13,6	5,3	0,9	39	6	24	13,3	9	18,5	0,2
3	Lisa-Cherokee	Diám. Medio(cm)	30	15	7,1	1,3	47	5	26,5	17	7	21,5	-0,3
3	Lisa-Nadine	Diám. Medio(cm)	28	21	10	1,9	48,2	5,5	36,5	19,8	11,5	32	0,1
3	Mimosa-Kristine	Diám. Medio(cm)	29	17,8	8,6	1,6	48	5,5	32,5	18,5	9	24,5	3,50E-03
3	Mimosa-Rouxai	Diám. Medio(cm)	28	15,2	7,4	1,4	48,5	6	27	15,8	6,5	21	0
4	Lisa-Cherokee	Diám. Medio(cm)	30	18,6	4,4	0,8	23,5	11,5	25,5	20	13,5	21,5	-0,4
4	Lisa-Nadine	Diám. Medio(cm)	30	22,6	4,4	0,8	19,3	15	29,5	23	19	26	-0,2
4	Mimosa-Kristine	Diám. Medio(cm)	30	20,9	4,3	0,8	20,7	9,5	27	22	18	24,5	-0,7
4	Mimosa-Rouxai	Diám. Medio(cm)	30	15,9	4,3	0,8	27,1	10	26,5	16	12	19	0,4
5	Lisa-Cherokee	Diám. Medio(cm)	30	19,6	4,8	0,9	24,5	13	28	18,8	15	25	0,3
5	Lisa-Nadine	Diám. Medio(cm)	30	24,1	4,9	0,9	20,4	14,5	32	23,5	21	29	-0,1
5	Mimosa-Kristine	Diám. Medio(cm)	30	20,2	5,5	1	27,1	11,5	30	20	14,5	25	0,1
5	Mimosa-Rouxai	Diám. Medio(cm)	30	15,5	4,8	0,9	31,2	9,5	25	13,5	11,5	20,5	0,6
6	Lisa-Cherokee	Diám. Medio(cm)	30	21,5	2,5	0,5	11,6	17	26	21,5	19,5	23,5	0,2
6	Lisa-Nadine	Diám. Medio(cm)	30	24,4	2,8	0,5	11,3	19,5	29,5	24,5	22,5	26,5	-0,2
6	Mimosa-Kristine	Diám. Medio(cm)	30	23,2	3,6	0,7	15,3	15,5	29,5	23,3	20	26	-0,1
6	Mimosa-Rouxai	Diám. Medio(cm)	30	16,8	2,1	0,4	12,7	12	20,5	16,8	15,5	18,5	-0,2

El CV mostró variabilidad en los diámetros medios. Por ejemplo, Rouxai RZ en el ensayo 2 tuvo un CV de 38,96%, lo que indica una dispersión en los diámetros de las plantas.

La media de los diámetros de las plantas aumentó a lo largo de los ensayos, por ejemplo, Nadine RZ en el ensayo 1 tuvo una media de 20,8 cm, mientras que en el ensayo 6 la media fue de 24,4 cm.

La DE también mostró un incremento en los ensayos posteriores, lo que sugiere una mayor variabilidad en los diámetros de las plantas en esos ensayos.

En los ensayos 5 y 6, los diámetros medios de las plantas fueron mayores en comparación con los ensayos anteriores, sin embargo, no tuvo un incremento tan marcado a lo largo de los ensayos.

Área y perímetro de canopeo.

El rango de valores medios del área y perímetro de canopeo por planta registrados por las variedades a lo largo de todas las mediciones de los seis ciclos de cosechas fueron los siguientes: Nadine RZ (área: 218-882 cm², perímetro: 101-175 cm), Kristine RZ (área: 120-1012 cm², perímetro: 72-134 cm), Cherokee RZ (área: 136-956 cm², perímetro: 54-123 cm) y Rouxai RZ (área: 86-474 cm², perímetro: 50-103 cm).

A lo largo de los sucesivos ciclos de cosecha, se observó que las menores áreas de canopeo se presentaron en los ciclos 4 (Nadine RZ, Cherokee RZ, Rouxai RZ) y 5 (Kristine RZ). Las mayores áreas de canopeo, se midieron en el ciclo 5, para la variedad Nadine RZ, mientras que para las variedades Kristine RZ, Cherokee RZ y Rouxai RZ las mayores áreas se tomaron en el ensayo 6.

Con respecto al perímetro de canopeo, los menores valores se registraron en el ciclo 4 (Cherokee RZ), 5(Nadine RZ) y 6 (Kristine RZ y Rouxai RZ). En los ensayos 4 y 6 (Nadine RZ, Cherokee RZ, respectivamente) y 5 (Kristine RZ y Rouxai RZ) se obtuvieron los mayores perímetros. (Figura 7 y 8).

ESPECIE ▾ MESA ▾

Promedio de Perímetro de canopeo (cm)

Medición	Lisa-Cherokee (cm)	Lisa-Nadine (cm)	Mimosa-Kristine (cm)	Mimosa-Rouxai (cm)
1				
2	95	175	70	100
3	110	160	135	105
4	70	105	75	50
5				
6	75	115	105	60
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13	120	165	125	85

Niveles de factores estudiados: año, semana correlativa, mes, ciclo de cosecha, medición

VARIEDAD ▾

■ Lisa-Cherokee ■ Lisa-Nadine ■ Mimosa-Kristine ■ Mimosa-Rouxai

AÑO_datos ▾ Semana ▾ MES_datos ▾ Ensayo ▾ Nº de medición ▾

Figura 8. Resumen con gráfico dinámico que muestra el perímetro de canopeo de las plantas de cuatro variedades de lechuga medido con el software ImageJ, considerando los factores estudiados: año, semana correlativa, mes, ciclo de cosecha y medición dentro de cada ciclo de cosecha.

Con el software Infostat se obtuvieron medidas de resumen para área y perímetro de canopeo para cuatro variedades de lechuga bajo sistema hidropónico (Tabla 6 y 7).

Tabla 6: Medidas de resumen del área de canopeo de cuatro variedades de lechuga obtenidas con el software Infostat.

Ensayo	Variedad	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3	Asimetría
1	Lisa-Nadine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
1	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Lisa-Cherokee	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Lisa-Nadine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Mimosa-Rouxai	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Lisa-Cherokee	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Lisa-Nadine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Mimosa-Rouxai	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
4	Lisa-Cherokee	3	448,8	67,9	39,2	15,1	381,3	517	448	381,3	517	0,1
4	Lisa-Nadine	2	701,2	92,4	65,3	13,2	635,9	766,5	701,2	635,9	766,5	sd
4	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
4	Mimosa-Rouxai	3	247,6	16,5	9,5	6,7	237,5	266,6	238,7	237,5	266,6	1,7
5	Lisa-Cherokee	5	509,6	354,6	159	69,6	119,2	869	605,7	152,8	801	-0,3
5	Lisa-Nadine	6	550	372,7	152	67,76	189,4	1014	526,6	189,7	854,2	0,2
5	Mimosa-Kristine	6	549,6	486,1	198	88,44	100,9	1158	463,2	110,4	1002	0,2
5	Mimosa-Rouxai	6	249,1	180,8	73,8	72,61	75,9	452,6	233,3	82,6	416,6	0,1
6	Lisa-Cherokee	9	527,4	347,1	116	65,82	232	1215	366,3	291,2	738,8	1,2
6	Lisa-Nadine	9	474,4	284,4	94,8	59,94	221,8	894	374,8	247,8	780	0,8
6	Mimosa-Kristine	9	526,5	367,9	123	69,88	192,9	1054	320,3	263,4	970,4	0,8
6	Mimosa-Rouxai	9	267,7	162,7	54,2	60,77	146,2	564,1	171,7	157,3	379	1,1

El CV (Tabla 6) mostró variabilidad en el área de canopeo. Por ejemplo, Cherokee RZ en el ensayo 4 tuvo un CV de 15,12%, lo que indica una dispersión moderada en el área de canopeo de las plantas.

La media del área de canopy de las plantas incrementó a lo largo de los ensayos, pero se mantuvo con valores similares, por ejemplo, Nadine RZ en el ensayo 4 tuvo una media de 701,2 cm², mientras que en el ensayo 6 la media fue de 474,4 cm².

La DE también mostró un incremento en los ensayos posteriores, lo que significa una mayor variabilidad en el área de canopy de las plantas en esos ensayos.

En los ensayos 5 y 6, las áreas de canopy medias de las plantas fueron mayores en comparación con los ensayos anteriores., este incremento en el área de canopy pudo deberse a las temperaturas más altas observadas en los ensayos 5 y 6.

Los rangos Q1-Q3 amplios en los ensayos 5 y 6 indicaron una mayor dispersión de los datos dentro del 50% central, como, por ejemplo, Kristine RZ en el ensayo 5 tuvo un rango Q1-Q3 de 463-1102 cm². Esto podría sugerir que la variación de temperatura pudo haber tenido un impacto en la variabilidad del área de canopy de las plantas.

La media del perímetro de canopy de las plantas (Tabla 7) se incrementó a lo largo de los ensayos. Por ejemplo, Kristine RZ en el ensayo 5 tuvo una media de 103,5 cm, mientras que en el ensayo 6 la media fue de 109,17 cm.

La DE también mostró un incremento en los ensayos posteriores, sugiriendo una mayor variabilidad en el perímetro de canopy de las plantas en esos ensayos.

En los ensayos 5 y 6, los perímetros de canopy medios de las plantas fueron mayores en comparación con los ensayos anteriores, este incremento en el perímetro de canopy que podría estar relacionado con la ocurrencia de temperaturas más altas observadas en los ensayos 5 y 6.

El CV determinó que hubo variabilidad en el perímetro de canopeo., por ejemplo, Lisa-Nadine en el ensayo 5 tuvo un CV de 28,4%, indicando una dispersión alta en el perímetro de canopeo de las plantas.

Tabla 7: Medidas de resumen del perímetro de canopeo de cuatro variedades de lechuga obtenidas con el software Infostat.

Ensayo	Variedad	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máy	Mediana	Q1	Q3	Asimetría
1	Lisa-Nadine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
1	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Lisa-Cherokee	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Lisa-Nadine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
2	Mimosa-Rouxai	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Lisa-Cherokee	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Lisa-Nadine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
3	Mimosa-Rouxai	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
4	Lisa-Cherokee	3	96,6	5,0	2,9	5,1	91,7	101,6	96,5	91,7	101,6	0,1
4	Lisa-Nadine	2	175,9	18,5	13,1	10,5	162,8	189,0	175,9	162,8	189,0	sd
4	Mimosa-Kristine	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
4	Mimosa-Rouxai	3	101	11,3	6,5	11,2	87,8	107,4	107,4	87,8	107,4	-1,7
5	Lisa-Cherokee	5	88,2	31,7	14,2	35,9	52,7	120,5	98,2	56,6	113,1	-0,3
5	Lisa-Nadine	6	133	37,8	15,4	28,4	90	189	130	105,3	153,1	0,4
5	Mimosa-Kristine	6	104	36,1	14,7	34,8	63,9	149	100,0	71,2	137	0,2
5	Mimosa-Rouxai	6	76,7	33,2	13,6	43,3	40,1	124,4	70,2	49,6	105,9	0,5
6	Lisa-Cherokee	9	89,9	26,9	9,0	30	60,7	139	79,5	74	103,8	1,0
6	Lisa-Nadine	9	133	32,3	10,8	24,4	100	197	125,7	107,7	141,2	1,1
6	Mimosa-Kristine	9	109	17,5	5,8	16,1	75,5	129	116,8	97,2	122,7	-0,8
6	Mimosa-Rouxai	9	67,1	16,2	5,39	24,1	48	94,3	63,5	56,7	77	0,5

Discusión

La lechuga es un cultivo de clima templado a frío con una temperatura óptima de crecimiento en el rango de 7 a 24 °C y un promedio de 18 °C (Lorenz y Maynard 1988). Siendo óptimo el balance de 22/19 °C para las temperaturas del día y de la noche, respectivamente (Hawrylak-Nowak et al. 2018). En un clima subtropical el cultivo de lechuga se vuelve un desafío (Lee et al. 2015). En particular la región del NEA ha evidenciado un cambio de patrones de temperaturas con una tendencia hacia el aumento del número de días y de noches cálidas y disminución de días y noches frescas (Lovino et al. 2018) lo que implica una necesidad de focalizar en el diseño de sistemas de producción de cultivos intensivos protegidos que contemplen el control expeditivo de las temperaturas altas.

En sistema hidropónico, el cual básicamente es un cultivo protegido, es posible caracterizar y de cierta manera regular la magnitud de los factores determinantes del crecimiento como la temperatura. Así, se conoce que el crecimiento de lechuga bajo temperaturas de aire frescas (10-16 °C) y cálidas (20-26 °C) producen importantes cambios en la composición química de las hojas de lechuga hidropónica (Gent 2016). En este sentido, las temperaturas frescas con respecto a las temperaturas cálidas inducen en hojas de lechuga un mayor contenido de peso seco y de azúcares y de ciertos nutrientes como el potasio, pero menor tasa de crecimiento de plantas.

Por otro lado, en sistemas hidropónicos además de la temperatura del aire también es importante sobre el crecimiento la temperatura del tanque de la solución nutritiva y en última instancia la temperatura del sistema radical de las plantas. Variaciones de temperatura de la solución nutritiva de ± 4 °C alrededor de un óptimo de 21 °C reducen el peso fresco de la lechuga hidropónica (Thakulla et al. 2021). Más aún, temperaturas bajas del orden de 10° C a nivel de raíces (comparado con temperaturas en el rango de

20-30°C) producen en la lechuga un estrés oxidativo y una reducción del crecimiento, como consecuencia el cultivo aumentó los niveles de antioxidantes, de compuesto fenólicos y azúcar con el fin de recomponer el aparato fotosintético afectado (Sakamoto y Suzuki 2015). En otro estudio, el mantenimiento de la temperatura de la zona radical a valores intermedios de 24 °C permitió lograr valores de peso fresco aceptables en lechugas crecidas con temperaturas del aire cálidas de hasta 31°C (Thompson et al. 1998), lo que permitiría adaptar un manejo para el cultivo de lechugas en situaciones de temperatura de aire supra óptimas.

En cuanto a las temperaturas altas, temperaturas en el rango de 35/25 °C (Zhao et al. 2022) y de 35/22 °C (Hawrylak-Nowak et al. 2018), para el día y la noche respectivamente, indujeron en la planta de lechuga una serie de cambios morfológicos adaptativos entre ellos, aumento del número de hojas, de la elongación del tallo, y elevados niveles de compuestos del estrés oxidativo (como peróxido de hidrógeno) y disminución del peso fresco, de niveles de clorofila, carotenoides, prolina y de azúcares solubles, entre otros. Por otro lado, se experimentó en lechuga con la exposición de las plantas a estrés térmico de 37/35 °C, para el día y la noche respectivamente, por intervalos de 1-24 h. Como resultado luego de dos semanas de ocurrido el estrés se redujo el ancho y longitud de las hojas y el peso fresco en un 15 y 20%, respectivamente, sin manifestarse desordenes fisiológicos como quemado de hojas, floración anticipada o decoloración de nervaduras (Kang et al. 2021).

Es de destacar que existen escasos estudios en la bibliografía sobre el efecto de la exposición prolongada de altas temperaturas, en particular superiores a 40 °C en el crecimiento de lechuga hidropónica. Por ejemplo temperaturas de 37 °C inducen la producción de ácido giberélico en hojas, el alargamiento de tallo, reducción de tamaño de hojas y floración anticipada en lechuga, proceso conocido como *bolting* en inglés (Liu et

al. 2020). Se sabe que la exposición de tejidos de lechuga a temperaturas de 45-47 ° C por breves minutos induce importantes cambios fisiológicos como la producción de factores de transcripción y proteínas de choque térmico (*heat shock proteins*, HSPs, en inglés), proceso muy estudiado para la reducción de enzimas de la oxidación de fenoles y la prevención del deterioro del color de la hojas de lechuga cortadas en post cosecha, pero que genera el efecto indeseable del aumento de la tasa de respiración, de condiciones anaeróbicas y de proliferación de bacterias en el empaquetamiento (Kang y Saltveit 2003; Paillart et al. 2017).

Durante el transcurso del presente estudio, durante las 13 semanas de cultivo, se registraron en la casilla meteorológica temperaturas medias de aire cercanas a las óptimas para el crecimiento de lechuga de 7-24 °C en todas las semanas, mientras que temperaturas extremas mínimas ≤ 7 y máximas ≥ 35 °C se registraron en la primer semana (1) y la quinta (5) semanas. A su vez, dentro del invernadero se registraron temperaturas medias del aire (sensor T2) consideradas óptimas (de 7-24 °C) y temperaturas extremas mínimas (≤ 7) en semana 2 y 1, respectivamente.

Los parámetros de crecimiento dentro de un mismo ciclo de cosecha resultaron diferentes según las variedades. Los mayores pesos frescos se lograron en los ensayos 4, 5 y 6 correspondientes a los meses de octubre y noviembre. Similares resultados se obtuvieron para altura, área y perímetro de canopeo. Los mayores diámetros se obtuvieron en los ensayos 3 y 5 correspondiente a los meses de septiembre, octubre y noviembre, lo que indicó que los resultados del diámetro no mostraron la misma tendencia que los demás parámetros.

Estos resultados sugirieron que, para mejorar el crecimiento de las plantas de lechuga hidropónica, se deben mantener temperaturas estables y óptimas dentro del invernadero.

El presente estudio ha evaluado el impacto de diferentes condiciones de temperatura sobre el crecimiento de la lechuga hidropónica. Las temperaturas más estables y altas en los ensayos 5 y 6 proporcionaron condiciones más favorables para el crecimiento de las plantas, lo cual se reflejó en mayores valores de altura, diámetro medio, área y perímetro de canopeo.

La temperatura de la solución nutritiva y del invernadero tuvo un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las cuatro variedades de lechuga. Se investigó los efectos de la temperatura de la solución nutritiva en el crecimiento y concentración de °Brix en 17 cultivares de lechuga en un sistema NFT, revelando que una temperatura de 21.1 °C resultó en un 15% más de peso fresco de brotes comparado con las plantas en condiciones ambientales, pero con un 26% menos de °Brix en comparación con las plantas cultivadas a 18.3 °C (Thakulla et al., 2021).

En el presente trabajo las variables descriptivas utilizadas evidenciaron diferencias de magnitudes entre los distintos parámetros de crecimiento que permitieron por un lado la cosecha paulatina, pero por otro lado el retraso en la desocupación y limpieza de las mesadas, en particular de la variedad Rouxai RZ que fue la variedad que presentó menores valores de peso fresco, altura, diámetro, área y perímetro de canopeo con respecto al resto de variedades. En este sentido se conoce que existe importante efecto de interacción de genotipo por ambiente en el cultivo de lechuga (Lee et al. 2015), en este sentido el agrupamiento de variedades en las mesadas de cultivo hidropónico debería contemplar la homogeneidad de la respuesta de crecimiento de cada variedad dentro del total de variedades utilizadas para lograr una nutrición y una cosecha sincronizada.

Conclusiones

- Los resultados demostraron que es posible obtener producciones hidropónicas aceptables de lechuga en un periodo corto de tiempo. Las variedades Kristine RZ, Nadine RZ y Cherokee RZ alcanzaron pesos frescos de aproximadamente 140 g por planta en la cuarta semana de su transferencia a la mesada definitiva.
- A pesar de las variaciones de temperatura dentro del invernadero y de la solución nutritiva registrados a lo largo de los 6 ciclos de cosecha, esto es mínimos de 2,8 °C y máximos de 56,8 °C, no se observaron efectos negativos limitantes en el desarrollo de las plantas durante los 3 meses de estudio, teniendo así las temperaturas registradas una influencia positiva en los parámetros de crecimiento estudiados.
- Las variedades Kristine RZ, Nadine RZ y Cherokee RZ mostraron capacidad de adaptación a las condiciones ambientales, manteniendo incrementos en peso fresco, altura, diámetro, área y perímetro de canopeo en los ciclos de cosecha sucesivos.
- La variedad Rouxai RZ presentó un crecimiento más limitado y una menor adaptación a las condiciones ambientales en comparación con las otras variedades estudiadas. Por este motivo se desaconseja su cultivo junto al resto de variedades porque retrasaría la planificación de cosecha y limpieza de las mesadas de cultivo.

Bibliografía

- Bres, W., & Weston, L. A. (1992). Nutrient accumulation and tipburn in NFT-grown lettuce at several potassium and pH levels. *HortScience*, 27(7), 790-792. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.7.790>
- Brukhin, V., & Morozova, N. (2011). Plant growth and development - Basic knowledge and current views. *Math Model Nat Phenom*, 6(1), 1-53. <https://doi.org/10.1051/mmnp/20116201>
- Calori, A. H., Factor, T. L., Lima Júnior, S., et al. (2014). Electrical conductivity and plant spacing on baby leaf table beet and lettuce production. *Hortic Bras*, 32(4), 426-433. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620140000400009>
- CFI. (2016). Sector hortícola. Buenos Aires.
- CIPAF. (2011). Centro de Investigación y Producción Agropecuaria Familiar
- Cometti, N. N., Matias, G. C. S., Zonta, E., et al. (2008). Effects of the concentration of nutrient solution on lettuce growth in hydroponics-NFT system. *Hortic Bras*, 26(2), 262-267. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362008000200027>
- Dannehl, D., Schwend, T., Veit, D., & Schmidt, U. (2021). LED versus HPS lighting: Effects on water and energy consumption and yield quality in lettuce greenhouse production. *Sustain*, 13, 8651. <https://doi.org/10.3390/su13158651>
- Date, S., Terabayashi, S., Kobayashi, Y., & Fujime, Y. (2005). Effects of chloramines concentration in nutrient solution and exposure time on plant growth in

hydroponically cultured lettuce. *Sci Hortic (Amsterdam)*, 103(3), 257-265.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.06.019>

De Freitas, F. T. O., Soares, T. M., Da Silva, M. G., & Rafael, M. R. S. (2021). Lettuce cultivation under different recirculation intervals of the nutrient solution in hydroponic systems using brackish water. *IRRIGA*, 1(1), 67-96.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p67-96>

Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., et al. (2020). InfoStat versión 2020. FCA, Universidad Nacional de Córdoba.

Fauzan, S., & Saptarini, N. (2021). Characterization and antioxidant activity of oil-in-water emulsion loaded with hydrolyzed β -casein encapsulated curcumin. *Mater Today Proc*, 44, 3796-3801. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.279>

Fraile-Robayo, R., Alvarez-Herrera, J., Álvarez-Herrera, O., & Fraile-Robayo, A. (2017). Evaluation of the growth and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a closed recirculating hydroponic system. *Agron Colomb*, 35(2), 216-222.
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.63439>

Gent, M. P. N. (2016). Effect of nitrogen supply on leaf area and productivity of hydroponic lettuce. *Agronomy*, 6(1), 4-10.
<https://doi.org/10.3390/agronomy6010004>

Hao, X., & Papadopoulos, A. P. (2002). Growth, photosynthesis and productivity of greenhouse tomato cultivated in open or closed rockwool systems. *Can J Plant Sci*, 82(4), 771-780. <https://doi.org/10.4141/P01-113>

- Hawrylak-Nowak, B., Dresler, S., Ślusarczyk, S., et al. (2018). The effects of selenium biofortification in hydroponically grown lettuce on selected physiological parameters and chelator-regulated nutrients. *Sci Hortic (Amsterdam)*, 240, 356-364. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.051>
- Kang, H. G., & Saltveit, M. E. (2003). Antioxidant enzyme activities in chilled and heat-treated lettuce tissue during storage. *Postharvest Biol Technol*, 30(2), 161-171. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(03\)00090-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00090-6)
- Kang, H. G., Lee, H. J., & Baek, S.-H. (2021). Plant responses to silicon, mechanical stress, and pathogen infection: Mechanistic insights and practical applications. *Appl Sci*, 11(7), 3065. <https://doi.org/10.3390/app11073065>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kowalczyk, K., Sieczko, L., Goltsev, V., et al. (2018). Relationship between chlorophyll fluorescence parameters and quality of the fresh and stored lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Sci Hortic (Amsterdam)*, 235, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.054>
- Kurashina, Y., Yamashita, T., Kurabayashi, S., et al. (2019). Growth control of leaf lettuce with exposure to underwater ultrasound and dissolved oxygen supersaturation. *Ultrason Sonochem*, 51, 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.005>

- Lee, M., Lee, H., Jeong, B., et al. (2015). Chlorophyll fluorescence analysis in Rgcp mutants for studying the development of leaf chloroplasts in rice (*Oryza sativa* L.). *J Plant Biol*, 58(2), 128-134. <https://doi.org/10.1007/s12374-015-0100-7>
- Lei, C., & Engeseth, N. J. (2021). Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce. *LWT*, 150, 111931. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111931>
- Lorenz OA, Maynard DN (1988) Knott's handbook for vegetable growers. Wiley, New York
- Lovino, M. A., Müller, O. V., Berbery, E. H., & Müller, G. V. (2018). How have daily climate extremes changed in the recent past over northeastern Argentina? *Glob Planet Change*, 168, 78-97. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.06.008>
- Majid, M., Khan, J. N., Ahmad Shah, Q. M., et al. (2021). Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agric Water Manag*, 245, 106572. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>
- Miller, R., Langenhoven, P., & Nemali, K. (2020). Evaluation of different hydroponic growing systems and their impact on yield, growth, and photosynthetic efficiency of lettuce. *Agronomy*, 10(11), 1697. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111697>
- Ohse, S., Dourado-Neto, D., Manfron, P. A., & Dos Santos, O. S. (2001). Quality of lettuce cultivars grown in hydroponic solution. *Sci Agric*, 58(1), 181-185. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000100029>

- Ohse, S., Otieno, S., Deschamps, C., et al. (2009). Performance of lettuce cultivars in hydroponics system. *Sci Agric*, 66(5), 606-611. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000500009>
- Orsini, F., Pennisi, G., Van Meijl, J. C. A., et al. (2018). Integrating hydroponic and aquaponic cultivation in a new intensive urban farming system: The impact on vegetable and fish production. *Sci Total Environ*, 635, 683-690. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.061>
- Paillart, M. J. M., Abadie, C., Fleury, M., et al. (2017). Antioxidant enzymes in lettuce subjected to combined cold shock and biocontrol agent inoculation. *Postharvest Biol Technol*, 124, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.09.002>
- Sakamoto, T., & Suzuki, T. (2015). Evaluation of the effects of different wavelengths of visible light on the growth characteristics and structure of hydroponically grown lettuce. *J Integr Agric*, 14(3), 599-607. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(14\)60997-5](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(14)60997-5)
- Sarco, A., Otazo, D., Vega, M., et al. (2018). Caracterización agroclimática de la provincia de Salta: base de datos para la modelización del crecimiento y desarrollo de cultivos. *Rev Int de Investig Agropecuaria*, 12(1), 61-78.
- Schneider, R., Lorenzini, E., Pazuch, D., et al. (2012). Avaliação do crescimento e qualidade de cultivares de alface em cultivo hidropônico. *J Biotechnol Biodiversidade*, 3(2), 77-83. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v3n2.schneider>

- Story, M. A., & Kacira, M. (2015). Evaluation of a novel vertical aeroponic growing system for greenhouse lettuce production. *HortScience*, 50(9), 1316-1324. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.9.1316>
- Su, J., Liu, S., Zhang, P., et al. (2021). Integrated lettuce growth model development using canopy cover estimation from digital images. *Agric For Meteorol*, 297, 108244. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108244>
- Thakulla, S., Thapa, S., Subedi, U., et al. (2021). A comprehensive review on the impact of high temperature stress on lettuce production: Physiology, breeding, and future prospects. *Horticulturae*, 7(11), 495. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110495>
- Thomas, C., Lee, J., Choi, S., et al. (2021). Comparing LED and high-pressure sodium lighting systems in greenhouse production of lettuce. *HortScience*, 56(4), 385-392. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15600-20>
- Thompson, C., Le, V., Choudhary, R., et al. (1998). Nitrogen fertilization and cutting frequency effects on yield and nitrate content of hydroponically grown lettuce. *J Plant Nutr*, 21(12), 2641-2651. <https://doi.org/10.1080/01904169809365591>
- Zárate Aquino MA (2014) Manual de hidroponia, Primera ed. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Distrito Federal
- Zhao, X., Xue, L., Zhou, W., et al. (2022). Effects of LED light color on the growth and antioxidant properties of lettuce in a hydroponic system. *Ind Crops Prod*, 182, 114864. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114864>