



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**MANEJO DE ESPECIES OLERÍCOLAS DE CLIMA
TEMPLADO DENTRO DE UN HUERTO COMERCIAL
HIDROPÓNICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

PRESENTA:

MARCELA EDITH BLANCAS CARRAZCO



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

Chapingo, México, junio de 2011.



MANEJO DE ESPECIES OLERÍCOLAS DE CLIMA TEMPLADO DENTRO DE UN HUERTO COMERCIAL HIDROPÓNICO

Tesis realizada por **Marcela Edith Blancas Carrazco** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



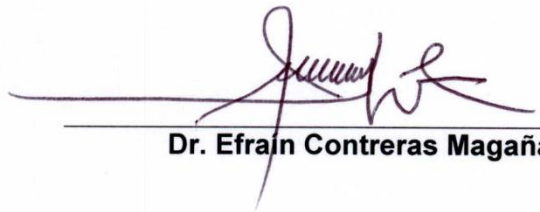
Dr. Esaú del C. Moreno Pérez

ASESOR:



Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR:



Dr. Efraín Contreras Magaña

DEDICATORIA

A Mariana Lazcano Blancas, mi solecito.

AGRADECIMIENTOS

Dios, gracias por darme la vida, tu compañía y la oportunidad de crecer diariamente.

Agradezco a CONACyT, y a la Universidad Autónoma Chapingo. A mis profesores y compañeros del posgrado, porque cada paso a su lado fue aprendizaje.

A los Doctores, mis maestros, Esaú Moreno Pérez, Felipe Sánchez del Castillo y Efraín Contreras Magaña, por sus enseñanzas y decorosa paciencia.

A mis padres, Ma. de los Ángeles Carrasco Espejel y Carlos Blancas Méndez, a mis hermanos y hermanas, a toda mi familia, gracias por la forma en que somos gregarios. A J. Reyes Altamirano Cárdenas, por estar presente.

A mis amigas Patricia Chaires Grijalva, y Greta Rosas Saito, gracias por impeler.

A Guillermo Beltrán Adame y Ma. Victoria Segura Rauda por su valiosa aportación a este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Originaria del estado de Hidalgo, nacida en la ciudad de Tulancingo el día 16 de enero de 1979. Desde los dos años reside en Texcoco, Estado de México. Los estudios de educación básica se realizaron en la escuela primaria Centro Escolar Nezahualcóyotl, en el periodo de 1985 a 1991. La educación media básica se obtuvo en el Instituto Francisco Ferreira y Arreola de 1991 a 1994. En la Escuela Preparatoria Texcoco (EPT) fue adquirida la educación media superior en el periodo de 1994 a 1997. La educación superior se realizó en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) de 1998 a 2004 . Como desempeño laboral, se ha brindado el apoyo en diversos proyectos de investigación y capacitación de la misma UACH. Con este trabajo se culmina la Maestría en Ciencias en Horticultura en el Instituto de Horticultura de la UACH.

MANEJO DE ESPECIES OLERÍCOLAS DE CLIMA TEMPLADO DENTRO DE UN HUERTO COMERCIAL HIDROPÓNICO

MANAGEMENT OF TEMPERATE VEGETABLE SPECIES IN A COMMERCIAL HYDROPONIC GARDEN

Marcela Edith **Blancas Carrasco**¹ y Esaú del C. **Moreno Pérez**²

RESUMEN

El objetivo fue definir la densidad de población y concentración de solución nutritiva que permitan el mayor rendimiento de especies olerícolas de clima templado en un huerto comercial hidropónico. Se evaluaron acelga, betabel, cebolla cambray, cilantro, ejote, lechuga mantequilla y rábano, con tres densidades de población y tres concentraciones de solución nutritiva, en un diseño experimental de bloques completos al azar. La densidad de población con mayor rendimiento para cada especie fue: 30, 56, 198, 1925, 30, 56 y 126 plantas/m², respectivamente, utilizando una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de nutrimentos (mg/L): N = 112; P = 30; K = 150; Ca = 120; Mg = 22; S = 110 a 187; Fe = 1.5; Mn = 0.7; B = 0.3; Cu = 0.01; Zn = 0.01. Con estos resultados y una investigación documental, se elaboraron fichas técnicas para el proceso de producción de cada especie en el huerto comercial hidropónico.

Palabras clave: densidad de población, soluciones nutritivas, producción hortalizas, hidroponía.

ABSTRACT

The objective was to define the population density and concentration of nutrient solution that gives the highest yield of temperate vegetable species in a commercial hydroponic garden. Chard, beets, scallions, coriander, green beans, butter lettuce and radish were evaluated. Three densities and three concentrations of nutrient solution were compared in a randomized complete block design. The population density with the highest yield for each species was: 30, 56, 198, 1925, 30, 56 and 126 plants/m², respectively, using a nutrient solution with the following concentrations of nutrients (mg/L): N = 112, P = 30, K = 150, Ca = 120, Mg = 22, S = 110 to 187, Fe = 1.5, Mn = 0.7, B = 0.3, Cu = 0.01, Zn = 0.01. With these results and documental review, technical guides for the production process of each species in a commercial hydroponic garden were developed.

Keywords: population density, nutrient solutions, vegetable production, hydroponics.

¹Maestro en ciencias en horticultura, por la Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia.

² Director de tesis. Profesor investigador del Instituto de Horticultura.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1 Experimento uno: Densidades de población.....	6
3.1.1 Material vegetal.....	7
3.1.2 Conducción del experimento.....	7
3.1.3 Diseño experimental.....	9
3.1.4 Variables evaluadas para cada especie	10
3.2 Experimento dos: Concentraciones de solución nutritiva.....	16
3.2.1 Material vegetal.....	17
3.2.2 Conducción del experimento.....	17
3.2.3 Diseño experimental.....	20
3.2.4 Variables evaluadas para cada especie	20
3.3 Análisis de datos.....	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1 Experimento 1: Densidades de población.....	27
4.1.1 Acelga	27
4.1.2 Betabel	29
4.1.3 Cebolla cambray	31
4.1.4 Cilantro.....	34

4.1.5 Frijol ejotero	36
4.1.5 Lechuga	37
4.1.7 Rábano.....	39
4.2. Experimento 2. Concentraciones de solución nutritiva	42
4.2.1 Betabel	42
4.2.2 Cebolla cambray	43
4.2.3 Lechuga	45
4.2.4 Rábano.....	46
4.2.5 Análisis de tejido vegetal	48
4.3 Guía técnica para la producción de especies olerícolas de clima templando en un huerto comercial hidropónico	53
4.3.1 Manejo general del huerto.....	53
4.3.1.1 Preparación de camas de siembra y sistema de riego	53
4.3.1.2 Siembra.....	55
4.3.1.2.1 Siembra directa.....	55
4.3.1.2.2 Siembra en charolas	55
4.3.1.3 Trasplante	57
4.3.1.4 Densidad de población.....	57
4.3.1.5 Solución nutritiva y riego	57
4.3.2 Cultivos	59
4.3.2.1 Acelga.....	59
4.3.2.2 Betabel	65
4.3.2.3 Cebolla cambray.....	71
4.3.2.4 Cilantro	76
4.3.2.5 Frijol ejotero	80

4.3.2.6 Lechuga mantequilla.....	84
4.3.2.6.7 Rábano	88
4.3.3 Plagas más comunes en hortalizas dentro de un huerto hidropónico ...	93
4.3.4 Enfermedades fungosas más comunes en el huerto	100
5. CONCLUSIONES.....	104
6. LITERATURA CITADA.....	105

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Temperaturas registradas dentro del invernadero durante el ciclo del cultivo de siete especies olerícolas de clima templado.	6
Cuadro 2.	Especies olerícolas de clima templado evaluadas en diferentes densidades de población en un huerto comercial hidropónico.	7
Cuadro 3.	Solución nutritiva utilizada para las siete especies en estudio.	8
Cuadro 4.	Distribución y número de plantas por m ² en las densidades de población baja, media y alta.	9
Cuadro 5.	Temperatura y humedad relativa registradas dentro del invernadero en que se realizó el experimento.	17
Cuadro 6.	Especies olerícolas de clima templado usadas en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva.	17
Cuadro 7.	Concentraciones de solución nutritiva y fuentes de fertilizantes empleadas durante el experimento.	20
Cuadro 8.	Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de acelga.	27
Cuadro 9.	Comparación de medias de variables del rendimiento evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de acelga.	28
Cuadro 10.	Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes	30

	caracteres evaluados en el cultivo de betabel.	
Cuadro 11.	Comparación de medias de variables del rendimiento evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de betabel.	30
Cuadro 12.	Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de cebolla cambray.	32
Cuadro 13.	Comparación de medias de las variables de tres densidades de población en el cultivo de cebolla cambray.	33
Cuadro 14.	Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de cilantro.	34
Cuadro 15.	Comparación de medias de variables evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de cilantro.	35
Cuadro 16.	Cuadrados medios del análisis de varianza de caracteres evaluados en el cultivo de ejote.	36
Cuadro 17.	Comparación de medias de variables evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de frijol ejotero.	37
Cuadro 18.	Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de lechuga.	37
Cuadro 19.	Comparación de medias de variables evaluadas entre densidades de población del cultivo de lechuga	39
Cuadro 20.	Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de rábano.	39
Cuadro 21.	Comparación de medias de variables evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de rábano.	40

Cuadro 22.	Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de betabel.	42
Cuadro 23.	Comparación de medias en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de betabel.	43
Cuadro 24.	Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de cebolla cambray.	44
Cuadro 25.	Comparación de medias en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de cebolla cambray.	45
Cuadro 26.	Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de lechuga.	45
Cuadro 27.	Comparación de medias en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de lechuga.	46
Cuadro 28.	Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de rábano.	47
Cuadro 29.	Comparación de medias en la evaluación de tres concentración de la solución nutritiva en el cultivo de rábano	48
Cuadro 30.	Cuadrados medios del análisis de varianza del contenido de N, P, K, Ca y Mg para el tejido vegetal de las especies que se	49

indican.

Cuadro 31. Comparación de medias del contenido (%) de N, P, K, Ca y Mg 50
en tres concentraciones de solución nutritiva para los cultivos de
betabel, cebolla cambray y rábano.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Huerto comercial hidropónico establecido en un invernadero de 500 m ² .	53
Figura 2.	Camas de siembra y sistema de riego.	54
Figura 3.	Semillero de hortalizas.	56
Figura 4.	Cultivo de acelga en el huerto comercial hidropónico mostrando las características botánicas de la especie.	60
Figura 5.	Variedades exóticas de acelga con tallos naranjas, rojos y morados.	61
Figura 6.	Emergencia de plantas de acelga.	62
Figura 7.	Plantas de acelga en etapa de cosecha.	63
Figura 8.	Elaboración de manojos de acelga.	65
Figura 9.	Extracción de plántulas de las charolas para realizar el trasplante.	69
Figura 10.	Distribución de plantas de betabel en las camas de siembra.	69
Figura 11.	Cosecha de betabel.	71
Figura 12.	Crecimiento de cebolla cambray en cama de siembra de un huerto comercial.	73
Figura 13.	Plántulas de cebolla cambray en el semillero.	74

Figura 14.	Trasplante de cebolla cambray. a. Elaboración de cavidades en la cama de siembra. b. Introducción de plantas de cebolla cambray en las cavidades de la cama de siembra.	75
Figura 15.	Cosecha de cebolla cambray.	75
Figura 16.	Cultivo de cilantro en un huerto comercial en baja densidad.	77
Figura 17.	Emergencia de cilantro en la cama de siembra.	78
Figura 18.	Cosecha de cilantro cultivado en un huerto comercial.	79
Figura 19.	Cultivo de frijol ejotero establecido dentro de un huerto comercial.	82
Figura 20.	Emergencia de frijol ejotero en la cama de siembra.	83
Figura 21.	Plantas de ejote en la cama de siembra dentro del huerto comercial.	83
Figura 22.	Cultivo de lechuga tipo mantequilla en un huerto comercial hidropónico	84
Figura 23.	Plantas de lechuga mantequilla en charolas de siembra.	87
Figura 24.	Plantas de lechuga mantequilla en etapa de cosecha.	87
Figura 25.	Bulbos de rábano cultivados en el huerto comercial hidropónico.	89
Figura 26.	Cultivo de rábano establecido en el huerto comercial.	91
Figura 27.	Emergencia de plantas de rábano en la cama de siembra.	91
Figura 28.	Cosecha de rábano.	92

1. INTRODUCCIÓN

En México, la producción de hortalizas representa una de las actividades agrícolas de mayor importancia, ya que genera empleos y divisas para el país (SAGARPA, 2010). La mayor superficie cultivada es a campo abierto, pero recientemente el uso de invernaderos se ha incrementado de manera significativa (Castellanos y Borbón, 2009) por las ventajas productivas que esta tecnología ofrece. Aunado a los invernaderos, la hidroponía es otra tecnología que contribuye a incrementar la productividad.

En campo o en invernadero, lo común es que los cultivos sean establecidos como unicultivos, por la facilidad de manejo y sobre todo por la necesidad de disponer de altos volúmenes de producción para la comercialización, particularmente cuando se trata de grandes extensiones de superficie y el producto se destina a la exportación; sin embargo, en México las unidades de producción (tenencia de la tierra) cada vez son más pequeñas, debido a la división y reparto de parcelas por el aumento de la población rural (Sánchez y Escalante, 1988). Por este motivo difícilmente pueden competir en el mercado y los beneficios se ven limitados.

La mayoría de los invernaderos en nuestro país son de pequeña superficie, por lo que con los volúmenes de producción que se obtiene dentro de ellos, difícilmente pueden competir por mejores precios en el mercado, por lo tanto para que los agricultores obtengan mayores beneficios, es necesario buscar sistemas alternativos de producción distintos a los que comúnmente se manejan en las empresas de invernaderos (unicultivo). El establecimiento de un huerto comercial hidropónico puede ser uno de estos sistemas alternativos, entendiéndose éste, como un paquete tecnológico de producción manejado en hidroponía y en donde diversas especies de hortalizas se cultivan al mismo tiempo y con una misma solución nutritiva, dentro de un invernadero pequeño (500 a 2000 m²), sembrando y cosechando hortalizas frescas de manera intermitente durante todo el año. Estos beneficios se pueden lograr gracias a la diversidad de la producción ya que hay más estabilidad en los ingresos, pues si alguna especie tiene una baja de precio, habrá otras que tengan precios altos dándole equilibrio económico al sistema.

Existen diversos estudios acerca del manejo y producción de hortalizas en huerto comercial. Según Vásquez (2008), especies de clima frío como brócoli, chícharo, col, espinaca y lechuga son demandadas en el mercado mexicano y este autor estudió su producción bajo un sistema de huerto comercial; para algunas especies de clima cálido como jitomate, chile dulce y pepino existen estudios de su manejo en hidroponía e invernadero (Sánchez

et al., 1999; Ortiz-Cereceres *et al.*, 2009; Reséndiz, 2010); pero en especies de clima templado como la acelga, betabel, cebolla cambray, cilantro, ejote, lechuga mantequilla y rábano, que son también de alto consumo, no existe información de su manejo en el sistema de huerto comercial hidropónico.

La carencia de estudios para este último grupo de hortalizas, justifica que se investigue sobre ellas y se realice un trabajo en donde se incluyan las bases de mayor relevancia para la generación de un paquete tecnológico; entre ellas se deberían considerar la densidad de población y concentración de solución nutritiva en las que mejor se desarrollen. Existe algo de información del manejo de estas especies (SAGARPA, 2010), en donde son conducidas en huertos familiares, pero a campo abierto y cultivados en suelo.

Una de las ventajas que se pueden observar a corto y largo plazo con el manejo de varias especies dentro de un mismo espacio y tiempo, es el establecimiento de una mejor calidad de vida para los agricultores con invernaderos, en cuanto a superficie con este sistema de producción de huerto comercial hidropónico, además de beneficiar al productor, en particular aquellos pequeños y medianos, también beneficia al consumidor al disponer de productos más frescos (recién cosechados) y más sanos, ya que con esta forma de manejo también se disminuye la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos y por lo tanto productos más inocuos.

Por lo tanto, es necesario generar información que contribuya al desarrollo de un paquete tecnológico de producción de hortalizas de clima templado dentro de un huerto hidropónico, que ayudaría a la expansión de esta innovación tecnológica.

2. OBJETIVOS

- 1) Definir la densidad de población con el mejor rendimiento para el manejo de los cultivos de acelga, betabel, cebolla cambray, cilantro, ejote, lechuga mantequilla y rábano, dentro del huerto comercial hidropónico.
- 2) Definir la concentración de solución nutritiva para lograr la máxima productividad para cada especie y aquella que permita el manejo de todas las especies a la vez.
- 3) Desarrollar una ficha técnica del proceso de producción de cada cultivo como parte del huerto.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia, ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. La fase experimental se realizó de septiembre de 2006 a noviembre de 2007 y consistió de dos experimentos independientes: 1) Evaluación de densidades de población; y 2) Evaluación de concentraciones de solución nutritiva.

3.1 Experimento uno: Densidades de población

Este experimento se hizo en un invernadero tipo túnel de 11 m de ancho por 46 m de largo, con paredes rectas, estructura metálica y cubierta de polietileno blanco con 70 % de transmisión de luz; la temperatura mensual registrada en el interior del invernadero durante el desarrollo del cultivo se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Temperaturas registradas dentro del invernadero durante el ciclo del cultivo de siete especies olerícolas de clima templado.

Mes	Temperatura (°C)		
	Mínima	Media	Máxima
Septiembre (2006)	11	27	44
Octubre (2006)	21	24	27
Noviembre (2006)	7	20	33
Diciembre (2006)	5	19	33
Enero (2007)	6	20	35

3.1.1 Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron siete especies olerícolas y según la especie se realizó siembra directa en las camas de cultivo; o bien, siembra en charolas para el trasplante posterior como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Especies olerícolas de clima templado evaluadas en diferentes densidades de población en un huerto comercial hidropónico.

Nombre común	Especie	Variedad	Tipo de siembra
Acelga	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>Cycla</i>	Fordhook	Directa
Betabel	<i>Beta vulgaris</i> L.	Crosby egiption	Trasplante
Cebolla cambray	<i>Allium cepa</i> L.	Blanca de Cojumatlán	Trasplante
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	Canadiense a granel	Directa
Frijol ejotero	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Strike	Directa
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	Tipo mantequilla	Trasplante
Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	Champion	Directa

3.1.2 Conducción del experimento

El experimento se estableció de septiembre de 2006 a enero de 2007. Las camas de cultivo tuvieron una dimensión de 1.2 m de ancho por 22 m de largo, elevadas sobre el terreno a una profundidad de 30 cm; el sustrato que se utilizó fue arena de tezontle rojo, con partículas de 3 a 5 mm de diámetro. El sistema de riego consistió de 5 cintillas separadas a 20 cm con emisores autocompensables separados cada 25 cm. Los nutrientes minerales fueron aplicados mediante una solución nutritiva (Sánchez y Escalante, 1989) como se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Solución nutritiva utilizada para las siete especies en estudio.

Fuente	Fórmula química	Elemento aportado	Aporte del elemento (mg·L ⁻¹)	Cantidad de fertilizante en 1000 L de solución
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂	N	206.70	1333.33 g
		Ca	253.30	-
Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	P	57.30	106.67 ml
Nitrato de potasio	KNO ₃	K	85.60	233.33 g
		N	30.30	-
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	K	164.50	383.33 g
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	S	8.00	25.00 ml
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ ·7H ₂ O	Mg	53.80	633.33 g
Sulfato ferroso	FeSO ₄ ·7H ₂ O	Fe	2.70	15.00 g
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ ·4H ₂ O	Mn	0.60	2.33 g
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	B	0.40	3.33 g
Sulfato de cobre	CuSO ₄ ·5H ₂ O	Cu	0.01	0.20 g
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	Zn	0.01	0.20 g

Para la producción de plántulas se usaron charolas de poliestiereno de 200 cavidades con un volumen de 25 cm³ por cavidad; en este caso se utilizó como sustrato una mezcla de peat moss y perlita en una proporción volumétrica de 2:1. Las semillas fueron colocadas a una profundidad de aproximadamente tres veces su tamaño, luego se cubrió con la mezcla de sustrato y se le dio un riego pesado de gota fina. Posteriormente se estibarón y cubrieron con plástico para evitar la evaporación del agua del sustrato, para almacenar calor y uniformizar la germinación. Después de tres días, las charolas fueron separadas y colocadas sobre estructuras metálicas para iniciar los riegos con agua corriente hasta la aparición de la primera hoja (primera semana) y con solución nutritiva a 25, 50 y 75 % de concentración durante las tres semanas siguientes, respectivamente.

3.1.3 Diseño experimental

Los tratamientos fueron evaluados en un diseño completamente al azar con tres tratamientos que correspondieron a las densidades de población de cada especie con tres y cuatro repeticiones; la unidad experimental fue de un m² y la unidad de muestreo varió dependiendo de la variable respuesta a evaluar; los tratamientos se especifican en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Distribución y número de plantas por m² en las densidades de población baja, media y alta.

Especie	Distancia (cm)		Distancia (cm)
	Entre hileras	Entre hileras	
Acelga	30	30	16
	25	25	20
	20	20	30
Betabel	20	20	30
	20	20	42
	15	15	56
Cebolla cambray	10	10	132
	10	10	198
	5	5	396
Cilantro	10	10	1575
	15	15	1750
	10	10	1925
Frijol ejotero	25	25	20
	20	20	30
	20	20	54
Lechuga mantequilla	20	20	30
	20	20	42
	15	15	56
Rábano	12	12	81
	12	12	99
	12	12	126

3.1.4 Variables evaluadas para cada especie

Acelga

Número de hojas cosechadas. Se contó el número de hojas de cada corte por unidad experimental; la longitud aproximada de la hoja al momento del corte era de 30 cm. Los cortes se realizaron cada quince días a partir de la primera cosecha que se llevó a cabo a los 50 días después de la siembra (dds) y se evaluaron tres cortes.

Peso promedio de hojas cosechadas por planta (g). Se registró el peso total de las hojas cosechadas de cada parcela y se dividió entre el número de plantas de cada tratamiento; al igual que la variable anterior se realizó para cada uno de los tres cortes.

Peso promedio por hoja (g). De acuerdo al número de hojas cosechadas y el peso total de las hojas, se obtuvo el peso promedio de cada hoja por tratamiento, también durante tres ocasiones.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Correspondió al peso promedio de las hojas cosechadas en un m^2 de cada tratamiento al integrar los tres cortes.

Betabel

Peso fresco del betabel (g). La muestra fue de cinco plantas por unidad experimental. Cuando el betabel alcanzó un diámetro ecuatorial superior a cinco cm, en aproximadamente 90 dds, se separaron de las hojas y se midió el peso de cada uno.

Diámetro polar del betabel (cm). Se midió de la base al ápice.

Diámetro ecuatorial del betabel (cm). Se midió el ancho en la parte central más ancha del tubérculo.

Área foliar por planta (cm²). Se midió lo correspondiente a la lámina foliar considerando las mismas cinco plantas.

Peso seco del betabel (g). Para el secado, los betabeles fueron rebanados y colocados en una estufa a 80 °C hasta peso constante y posteriormente se pesaron.

Peso seco de las hojas (g). Las muestras se colocaron en una estufa a 80 °C y se pesaron en una balanza digital.

Biomasa (g). Se determinó como la suma de peso seco de betabel y peso seco de la hoja.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó con base en el peso fresco del betabel multiplicado por el número de plantas de la unidad experimental.

Cebolla cambray

Diámetro polar del bulbo (cm). Se midió de la base del tallo a la parte más estrecha entre el bulbo y el falso tallo, se tomaron 15 plantas por unidad experimental al momento de la cosecha (98 dds).

Peso fresco por planta (g). Se tomó la muestra de 15 plantas por unidad experimental y se pesaron una por una contemplando tanto el bulbo, falso tallo y hojas.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó extrapolando el peso fresco de 15 plantas al número total de plantas cosechadas de la unidad experimental.

Cilantro

En este cultivo las muestras fueron tomadas en un área de 30x30 cm; para esto se preparó un marco con dichas medidas, con el cual se muestreó de

manera aleatoria dentro de cada unidad experimental a los 40 dds. En esta superficie se evaluaron los siguientes caracteres:

Altura de plantas (cm). Se midió con un flexómetro del piso de la cama de siembra a la altura máxima de las plantas.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó con el peso del total de plantas cosechadas con raíz en el área de considerada, en cada unidad experimental.

Frijol ejotero

Peso de fruto por planta (g). Se pesaron las vainas cosechadas (a los 66 dds) de cada planta para cada tratamiento, considerando la totalidad de las plantas.

Peso seco por planta (g). Las muestras de X plantas se secaron hasta peso constante y posteriormente se pesaron en una balanza digital.

Área foliar por planta (cm^2). A las hojas de compuestas X plantas se les quitaron los peciolo y se les tomó su área.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Es el peso de vainas de los dos cortes por unidad experimental.

Lechuga

Ancho de planta (cm). La muestra fue de tres plantas por unidad experimental a los 50 dds y para su registro se consideraron las dos hojas opuestas más largas.

Peso fresco por planta (g). Se pesó cada pieza de lechuga cosechada en la unidad experimental, sin considerar raíces.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó con el peso promedio de tres lechugas multiplicado por el número de plantas en la unidad experimental.

Rábano

Peso fresco promedio del rábano (g). Se tomó una muestra de 10 plantas, al momento de la siembra que fue llevada a cabo a los 30 dds, el producto comercial de cada planta, fue separado de las hojas con una navaja y se pesó sacando el promedio.

Diámetro polar del rábano (cm). Se midió desde la base al ápice de la estructura.

Diámetro ecuatorial del rábano (cm). La medición se hizo en la parte más ancha del rábano.

Área foliar por planta (cm^2). Se registró el dato de las diez plantas eliminando los peciolo de las hojas.

Peso seco de rábano (g). Los rábanos fueron rebanados y secados en una estufa hasta peso constante, posteriormente se pesaron en una balanza digital.

Peso seco de hojas (g). Las muestras de diez plantas se colocaron en un horno hasta peso constante y posteriormente se pesaron en una balanza digital.

Biomasa (g). Se calculó con la suma de los pesos secos de rábano y hoja.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó extrapolando el peso fresco de diez rábanos al total de establecidos en la unidad experimental.

El material utilizado para realizar las mediciones correspondientes, son los siguientes:

Para las mediciones de peso fresco (en campo), se utilizó una balanza granataria marca Ohaus con aproximación a décimas de gramo.

Para peso seco (en el laboratorio), se utilizó una balanza digital modelo Scout Pro marca Ohaus con aproximación a centésimas de gramo.

Los diámetros ecuatorial y polar se midieron con el apoyo de un vernier con calibrador digital de 0 a 15 cm marca Fowler con aproximaciones a centésimas de mm.

El área foliar se midió con un integrador de área foliar marca Li-Cor, Inc. Modelo LI-300.

Para el secado de las muestras se utilizó una estufa con circulación de aire marca BG a 80 °C.

3.2 Experimento dos: Concentraciones de solución nutritiva

Este segundo experimento, se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla simétrico, de 462 m² con estructura metálica y cubierta de polietileno transparente; con ventanas laterales protegidas con malla antiáfidos y ventanas abatibles en la parte superior de ambos frentes para la ventilación.

La temperatura y humedad relativa en el invernadero registradas durante el experimento, se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Temperatura y humedad relativa registradas dentro del invernadero en que se realizó el experimento.

	Temperatura promedio (°C)			Humedad relativa promedio (%)		
	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima
Julio	12.23	25.30	38.38	27.42	61.93	96.44
Agosto	11.57	25.76	39.95	25.59	60.31	95.03
Septiembre	10.63	23.70	36.78	31.37	65.08	98.80
Octubre	8.10	21.78	35.46	28.43	63.72	99.02
Noviembre	5.74	19.72	33.70	28.19	62.05	95.92

3.2.1 Material vegetal

En este estudio se usaron cuatro especies: betabel, cebolla cambray, lechuga tipo mantequilla y rábano. Las especies, variedades y tipo de siembra utilizada se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Especies olerícolas de clima templado usadas en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva.

Nombre común	Especie	Variedad	Tipo de siembra
Betabel	<i>Beta vulgaris</i> L.	Crosby egiption	Trasplante
Cebolla cambray	<i>Allium cepa</i> L.	Blanca de Cojumatlán	Trasplante
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	Tipo mantequilla	Trasplante
Rábano	<i>Raphanus sativus</i> L.	Champion	Directa

3.2.2 Conducción del experimento

El experimento se estableció de julio a noviembre de 2007. Las camas de siembra fueron de 20 m de largo por 0.86 m de ancho, elevadas sobre el piso para dar una profundidad de 30 cm, rellenas con arena de tezontle rojo; en los primeros 10 cm del fondo se colocó grava de tezontle y en los 20 cm

superiores se usó arena de tezontle con partículas de 3 a 6 mm. Entre las camas se hay pasillos de concreto de 50 cm de ancho.

El sistema de riego consistió de los siguientes componentes: tres cisternas con capacidad de 12000 L cada una, una bomba por cada cisterna de 1 HP conectada a un programador de riego Modelo Hunter XC de cuatro estaciones, línea principal para aportar cada solución nutritiva (tubería de PVC de 1 pulgada) que condujo hasta la entrada del invernadero; en cada cama de cultivo se conectaron tres cintillas de goteo con un gasto aproximado de $0.5 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ cada uno; el invernadero tiene 12 camas de siembra.

Del 23 de julio al 20 de septiembre, los riegos se hicieron con una duración de cinco minutos cada hora a partir de las 9:00 hasta las 16:00 horas; se considera un aporte de alrededor de cuatro $\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ diarios y del 21 de septiembre al final del ciclo los riegos fueron de siete minutos cada hora en el mismo horario, con un aporte de alrededor de seis $\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ diarios.

Se probaron tres concentraciones de solución nutritiva: 100, 75 y 50 % (Cuadro 7). El tiempo de aplicación de los tratamientos de solución nutritiva fue durante el ciclo completo de cada cultivo.

Para determinar el estado nutrimental de los cultivos se hicieron análisis de tejidos en el que se determinó los niveles de N, P, K, Ca y Mg; las muestras

fueron colectadas de acuerdo con el procedimiento sugerido por Mills y Benton (1991) como sigue:

Para betabel se colectaron 20 hojas fotosintéticamente activas; en cebolla cambray 12 hojas sin incluir partes del bulbo; lechuga tipo mantequilla 12 hojas envolventes; y rábano 30 hojas fotosintéticamente activas.

Las muestras en fresco fueron colectadas durante la mañana, se eligieron hojas sin daños por plagas y enfermedades; luego se retiró el exceso de polvo con un paño húmedo y se colocaron en bolsas de papel para su traslado al Laboratorio de Nutrición de Cultivos del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, donde se hicieron las determinaciones. Las hojas se lavaron con agua corriente y agua destilada, posteriormente se colocaron en bolsas de papel sin perforar para su secado en una estufa con aire recirculante a 70 °C hasta peso constante; una vez secas las muestras se molieron en un molino tipo Wiley de acero inoxidable provisto de un tamiz malla 40. El nitrógeno total se determinó siguiendo el método Semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965) y la determinación de P, K, Ca y Mg se realizó en extractos obtenidos en digestión húmeda y analizados con espectrofotometría de Inducción con Plasma acoplado (ICP-AES VARIAN™ Liberty II) de acuerdo con la metodología propuesta por Alcántar y Sandoval (1999).

3.2.3 Diseño experimental

Se usó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones; se empleó como unidad experimental una fracción de cama de un m².

Los tratamientos evaluados (Cuadro 7) fueron: 1) 100 % de concentración de la solución nutritiva; 2) 75 % de concentración y 3) 50 % de concentración.

Cuadro 7. Concentraciones de solución nutritiva y fuentes de fertilizantes empleadas durante el experimento.

Elemento	Concentración (mg·L ⁻¹)			Fuente fertilizante (fórmula química)
	100	75	50	
N	237.0	177.0	118.5	Nitrato de Calcio y Nitrato de Potasio (KNO ₃)
Ca	253.3	190.0	126.7	Nitrato de Calcio [Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O]
K	250.0	187.5	125.0	Nitrato de Potasio y Sulfato de Potasio [K ₂ SO ₄]
P	57.3	43.0	28.7	Ácido Fosfórico [H ₃ PO ₄]
Mg	53.8	40.4	26.9	Sulfato de Magnesio [MgSO ₄ ·7H ₂ O]
Fe	2.7	2.0	1.4	Sulfato Ferroso [Fe SO ₄ ·7H ₂ O]
B	0.4	0.3	0.2	Ácido Bórico [H ₃ BO ₃]
Mn	0.6	0.5	0.3	Sulfato de Manganeso [MnSO ₄ ·4H ₂ O]
Cu	0.1	0.1	0.1	Sulfato de Cobre [Cu (SO ₄) 5H ₂ O]
Zn	0.1	0.1	0.1	Sulfato de Zinc [ZnSO ₄ ·7H ₂ O]
S	8.0	6.0	4.0	Ácido Sulfúrico [H ₂ SO ₄]

3.2.4 Variables evaluadas para cada especie

Betabel

Peso fresco del betabel (g). Se tomaron 6 plantas, el betabel de cada planta se separó de las hojas y se obtuvo el peso de cada uno.

Diámetro polar del betabel (cm). Se midió de la base al ápice.

Diámetro ecuatorial del betabel (cm). Se midió en la parte central considerando el ancho máximo.

Número de hojas por planta. Se contó el número de hojas de cada planta en una muestra de 6.

Área foliar por planta (cm²). Se midió únicamente lo correspondiente a la lámina foliar.

Peso seco del betabel (g). Para el secado, los betabeles fueron rebanados y colocados en una estufa hasta obtener peso constante.

Rendimiento (kg·m⁻²). Se calculó con base al peso fresco del betabel de 56 plantas que fue la densidad en cada unidad experimental.

Cebolla cambray

Peso fresco por planta (g). Se tomó la muestra de 15 plantas por unidad experimental y se pesaron una por una.

Peso fresco del bulbo (g). De la muestra de 15 plantas se separó el bulbo de las hojas y se midió el peso de cada uno.

Diámetro polar del bulbo (cm). Se midió de la base del tallo a la parte más estrecha del bulbo.

Diámetro ecuatorial del bulbo (cm). La medición se hizo en la parte más ancha del bulbo.

Número de hojas. Se contó el número de hojas de cada planta.

Longitud de hoja (cm). Se midió desde la parte donde inicia la coloración verde, hasta la punta de la más larga con una regla milimétrica.

Peso seco del bulbo (g). Los bulbos fueron rebanados y colocados en una estufa para su secado a una temperatura de 70 °C hasta peso constante.

Peso seco de hoja (g). Las muestras se procesaron en una estufa para su secado a una temperatura de 70 °C hasta peso constante.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó con el peso fresco del bulbo de 198 plantas que fue la densidad de cada unidad experimental.

Lechuga

Peso fresco por planta (g). De cada parcela se pesaron cinco piezas de lechuga.

Número de hojas. Cada una de cinco piezas de lechuga fue deshojada para contar el número de hojas que la constituía; se consideró todas las hojas con al menos tuvieran 1.5 cm de longitud.

Largo del tallo (cm). Se midió desde la base (donde se realizó el corte) al ápice (en el comienzo de las hojas interiores) con la ayuda de una regla milimétrica.

Diámetro del tallo (mm). Se midió el diámetro ecuatorial en la base del tallo.

Peso seco total (g). Las lechugas deshojadas y su tallo se metieron a una estufa a 70 °C hasta lograr peso constante.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó con el peso fresco de cada lechuga de 36 plantas que fue la totalidad de cada unidad experimental.

Rábano

Peso fresco por planta (g). La muestra fue 10 de plantas por unidad experimental y se pesaron las plantas completas (raíz, rábano y hoja.)

Peso fresco del rábano (g). Para obtener el peso, se separaron los rábanos de las hojas.

Peso fresco de hojas por planta (g). Al peso fresco por planta se le sustrajo el peso fresco del rábano y así se obtuvo esta variable.

Diámetro polar del rábano (mm). Se midió desde la base, al ápice del mismo.

Diámetro ecuatorial de rábano (mm). Fue medido el ancho máximo del rábano en la parte central.

Área foliar por planta (cm²). Se registró el dato, eliminando los peciolo de las hojas.

Peso seco del rábano (g). Para el peso seco las muestras se colocaron en una estufa a una temperatura de 70 °C hasta obtener peso constante; posteriormente se pesaron con una balanza digital.

Peso seco de hojas (g). Las muestras de se colocaron en una estufa a una temperatura de 70 °C hasta obtener peso constante; posteriormente se obtuvo el peso con una balanza digital.

Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Se calculó con el peso fresco de los rábanos de 126 plantas que fue la densidad de cada unidad experimental.

El material utilizado para realizar las mediciones correspondientes fueron los siguientes:

Para las mediciones de peso fresco (en campo), se utilizó una balanza granataria marca Ohaus con aproximación a décimas de gramo.

Para peso seco (en el laboratorio), se utilizó una balanza digital modelo Scout Pro marca Ohaus con aproximación a centésimas de gramo.

Los diámetros ecuatorial y polar se midieron con el apoyo de un vernier con calibrador digital de 0 a 15 cm marca Fowler.

El área foliar se midió con un integrador de área foliar marca Li-Cor, Inc. Modelo LI-300.

Para el secado de las muestras se utilizó una estufa con circulación de aire marca BG de secado a 70 °C.

3.3 Análisis de datos

El análisis estadístico de las variables estudiadas de ambos experimentos consistió de análisis varianzas y pruebas de comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), con ayuda del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1998).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Experimento 1: Densidades de población

4.1.1 Acelga

El análisis de varianza, mostró efectos significativos ($P \leq 0.05$) entre tratamientos en número de hojas cosechadas (NHC), en peso promedio por hoja (PPH) y en rendimiento (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de acelga.

Fuente de variación	Grados de libertad	NHC (m ²)	PPCP (g)	PPH (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	2937.6*	1621.9	24.9*	2179794.2*
Repetición	3	286.3	468.3	22.1	195912.8
Error	6	318.4	2995.1	4.2	275710.7
Total	11	758.8	2056.2	12.8	600144.6
Coeficiente de variación		17.8	24.5	5.5	14.3

NHC: Número de hojas cosechadas; PPCP: Peso promedio de hojas cosechadas por planta; PPH: Peso promedio por hoja; *: Significativo ($P \leq 0.05$).

En NHC el tratamiento de mayor densidad (30 plantas/m²), superó de manera significativa en 42 y 50 hojas a las manejadas con los tratamientos de 20 y 16 plantas/m², respectivamente. Entre estas últimas no hubo diferencias estadísticas. El peso de hoja fue mayor en la menor densidad

respecto a la mayor densidad de plantas, y en PPCP no hubo ninguna diferencia estadística entre densidades (Cuadro 9).

La cantidad de hojas producidas tuvo un efecto más importante que el peso, por lo que el rendimiento en la densidad mayor también fue estadísticamente superior con el manejo de 30 plantas/m² que con 16 e incluso que con 20 plantas/m², diferencia de al menos 1000 g entre tratamientos (Cuadro 9). Según Maroto (1989) el rendimiento de la acelga puede variar de 25 a 50 t·ha⁻¹ por año cuando se cultiva a cielo abierto, es decir, de 2.5 a 5 kg·m⁻² por año, lo cual indica que con la densidad de 30 plantas/m² se logra el rendimiento máximo que se puede tener en campo, pero en este caso el rendimiento indicado se logró en un período de siembra a fin de cosecha de 6 meses, por lo que en hidroponía e invernadero al menos se duplica el rendimiento que se logra en campo.

Cuadro 9. Comparación de medias de variables del rendimiento evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de acelga.

Plantas/m ²	NHC (m ²)	PPCP (g)	PPH (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
30	130.9 a ^z	229.6 a	34.6 b	4509.0 a
20	88.2 b	200.7 a	37.9 ab	3344.2 b
16	80.6 b	239.5 a	39.5 a	3140.9 b
Media	99.9	223.3	37.3	3664.6
DMS	38.7	118.7	4.4	1139.2

NHC: Número de hojas cosechadas; PPCP: Peso promedio de hojas cosechadas por planta; PPH: Peso promedio por hoja; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Las diferencias en peso promedio de hoja entre tratamientos, se explica porque con menor densidad las plantas captan una mayor cantidad de la luz solar incidente, con lo que se acumula una mayor cantidad de biomasa y por tanto mayor peso. Al respecto Janick *et al.* (1981) señalan que el desarrollo de plantas individuales disminuye cuando hay competencia por luz o cualquier otro factor que contribuye en el crecimiento.

Los tamaños de las hojas de acelga se determinan con base en su longitud y se deben clasificar como “A” mayor de 27 cm; “B” de 22 – 27 cm; “C” 15 – 21 cm; y “D” menor de 15 cm según la Norma Oficial NMX-FF-044-1982 (Diario Oficial de la Federación, 1982). Para comercializar esta especie, se forman manojos de 10-15 hojas, por lo que desde este punto de vista, la obtención de un mayor número de hojas es más importante que su peso individual.

De lo anterior, se puede deducir que la densidad de 30 plantas/m² sería la mejor densidad de población en condiciones de hidroponía bajo invernadero para este cultivo.

4.1.2 Betabel

El análisis de varianza mostró que no hubo efectos significativos ($P \leq 0.05$) de la densidad de población en todos los caracteres evaluados en el cultivo del betabel, excepto en el rendimiento en donde sí existieron diferencias significativas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de betabel.

Fuente de variación	Grados de Libertad	PFB (g)	DPB (cm)	DEB (cm)	AFP (cm ²)	PSB (g)	PSH (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	4050.6	3.7	1.2	143463.3	36.51	13.6	12531897.4*
Repetición	3	3711.6	1.4	2.1	249006.1	63.08	41.1	5176034.3
Error	54	2395.5	1.3	1.4	217167.1	27.5	20.8	3963779.7
Total	59	2518.5	1.4	1.5	216287.6	29.6	21.6	4315864.4
Coeficiente de variación		45.8	22.2	20.1	30.5	44.5	40.9	47.2

GL: Grados de libertad; PFB: Peso fresco del betabel; DPB: Diámetro polar del betabel; DEB: Diámetro ecuatorial del betabel; AFP: Área foliar por planta; PSB: Peso seco del betabel; PSH: Peso seco de las hojas; * Significativo ($P \leq 0.05$).

Al igual que el análisis de varianza, las comparaciones de medias (Cuadro 11) muestran que solamente en rendimiento hubo diferencias significativas entre tratamientos.

El rendimiento promedio de la densidad de 56 plantas/m² (5078.4 g·m⁻²) fue superior que el obtenido con el tratamiento de 30 plantas/m² (3520.7). Este efecto tiene fundamento en la alta densidad de población porque las plantas logran un mayor aprovechamiento de la luz desde etapas tempranas del desarrollo (Janick *et al.*, 1981). Respecto a la densidad de 30 plantas/m² (densidad más baja) la siguiente densidad aumentó con 42 plantas más en 534 g·m⁻², pero este aumento no fue significativo; la densidad más alta tuvo 26 plantas/m² más, y un incremento de 1557.7 g·m⁻², lo cual indica que con base en las densidades de población evaluadas, el aumento del número de plantas/m² permitió incrementos en el rendimiento. Sin embargo, hubo una ligera tendencia a disminuir la calidad del producto ya que el peso fresco y

tamaño del betabel se redujeron ligeramente, pero sin que se presentaran diferencias estadísticas significativas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias de variables del rendimiento evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de betabel.

Plantas/m ²	PFB (g)	DPB (cm)	DEB (cm)	AFP (cm ²)	PSB (g)	PSH (g)	BIO (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
56	90.7 a	4.7 A	5.7 a	1450.7 a	10.3 a	10.8 a	21.0 a	5078.4 a ^z
42	112.6 a	5.4 A	6.1 a	1619.0 a	12.3 a	12.1 a	24.4 a	4054.7 ab
30	117.3 a	5.5 A	6.1 a	1518.1 a	12.8 a	10.6 a	23.4 a	3520.7 b
Media	106.9	5.2	5.9	1529.3	11.8	11.1	22.9	4217.9
DMS	37.3	0.8	0.9	355.1	3.9	3.5	6.9	1517.3

PFB: Peso fresco del betabel; DPB: Diámetro polar del betabel; DEB: Diámetro ecuatorial del betabel; AFP: Área foliar por planta; PSB: Peso seco del betabel; PSH: Peso seco de las hojas; BIO: Biomasa; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El betabel normalmente se cosecha cuando ha adquirido un diámetro entre 3 y 6 cm, los más apreciados son los que pesan más de 100 g. Los rendimientos que se logran a cielo abierto son de 2.5 a 3.0 kg·m⁻² (Maroto, 1989). Con base en estos criterios, la producción obtenida de este cultivo es buena tanto por el aumento al rendimiento como por la calidad, en las tres densidades estudiadas, ya que el diámetro y peso obtenidos estuvieron dentro del rango indicado y el rendimiento obtenido fue superior que en campo, aún con el tratamiento de menor densidad, por lo que, la mejor densidad de siembra en este cultivo es la más alta (56 plantas/m²).

4.1.3 Cebolla cambray

Se encontraron diferencias altamente significativas en el diámetro polar del bulbo, en el peso por planta y diferencias significativas en rendimiento, lo que

indica que la densidad de plantación afectó el crecimiento de las plantas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de cebolla cambray.

Fuente de variación	Grados de libertad	Diámetro polar del bulbo (cm)	GL	Peso fresco por planta (g)	Rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
Tratamiento	2	0.95**	2	1282.66**	33444400.0*
Repetición	2	2.80	2	112.26	7372933.3
Error	130	0.17	4	34.55	3162133.3
Total	134	0.23	8	366.01	11785400.0
Coeficiente de variación		25.52		8.72	12.3

* Significativo ($P \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

En el cultivo de cebolla cambray se esperaría que el diámetro polar disminuyera conforme aumenta la densidad de población ya que con densidades altas, podría presentarse el fenómeno de etiolación y que con la menor densidad el bulbo fuera mayor; sin embargo, con la densidad media (198 plantas/m^2) se presentó el mayor diámetro polar del bulbo con diferencias estadísticas respecto a la menor densidad (132 plantas/m^2), y con respecto a la densidad alta (396 plantas/m^2) no se observaron diferencias estadísticas (Cuadro 13). Posiblemente al haber pocas plantas/ m^2 , hubo cambios de temperatura y humedad relativa del sustrato y del ambiente, que no favorecieron el desarrollo del bulbo de las plantas, aunque en peso por planta hubo diferencias en 54 y 90 % de aumento en el peso en la menor densidad respecto a la intermedia y alta, respectivamente, cuyas diferencias entre la menor y la mayor densidad fueron estadísticamente significativas, Lipinski *et al.* (2002) señalan de igual modo, que el peso promedio de los

bulbos de cebolla disminuye al incrementar la densidad de plantación. Esto muestra que la baja densidad favoreció el desarrollo vegetativo de las plantas, pero no el de los bulbos, que en este caso representa la estructura de mayor interés antropocéntrico.

Dado que, con la mayor densidad se redujeron significativamente el peso de la planta, y que el diámetro polar del bulbo entre la alta y las otras dos densidades no hubo diferencias estadísticas, entonces el mayor número de bulbos por m², hizo posible el mayor rendimiento en la alta densidad, aunque de manera significativa solamente respecto a la menor densidad de población.

Cuadro 13. Comparación de medias de las variables de tres densidades de población en el cultivo de cebolla cambray.

Plantas/m ²	Diámetro polar del bulbo (cm)	Peso fresco por planta (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
396	1.66 ab ^z	45.55 b	18040 a
198	1.80 a	70.00 a	13860 ab
132	1.51 b	86.66 a	11440 b
Media	1.66	67.40	14446
DMS	0.21	17.10	5174

DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Estos resultados coinciden con Russo (2008), quien menciona que en las plantas de cebolla cultivadas en invernadero el rendimiento por unidad de superficie es mayor a medida que se incrementa la densidad. De igual manera, Rumpel y Felczynski (2000), indican que la producción de bulbos pequeños aumenta con una mayor densidad y que además ocurre una

aceleración en la madurez de las cebollas, por lo que se produce la caída de hojas anticipadamente, comparado con una densidad menor.

De esta forma se puede deducir que la mejor densidad de plantación es la de 198 plantas/m² porque no tiene diferencias significativas en rendimiento comparado con la densidad baja y alta, en tanto que en peso fresco por planta si hubo diferencias respecto a la densidad mayor donde disminuyó significativamente.

4.1.4 Cilantro

El análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas ni en altura de planta ni en rendimiento (Cuadro 14). Sin embargo, en la prueba de comparación de medias, el rendimiento mostró diferencias significativas en rendimiento. Se encontró que en la mayor densidad rindió 1.2 kg·m⁻² más que en la densidad intermedia y 3.1 kg·m⁻² más respecto a la menor densidad, pero dichas diferencias solamente fueron significativas entre la mayor y menor densidad (Cuadro 15).

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de cilantro.

Fuente de variación	Grados de libertad	Altura de plantas (cm)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	4.11	7279740.13
Repetición	2	10.11	554447.69
Error	4	13.27	1142581.14
Total	8	10.19	2529837.52
Coeficiente de variación		11.67	20.43

Al momento de la cosecha, las plantas mostraron variaciones en calidad, parámetros no cuantificados, ya que éstos son mayoritariamente visuales (Cantwell, 2010); sin embargo, es importante señalar que se apreció que la rigidez del tallo fue menor en la densidad más alta ya que éstos se rompían con mayor facilidad al momento de la cosecha; por lo que, a pesar de un alto rendimiento en la densidad mayor, hay que considerar este parámetro para vender un producto con mejor calidad.

El rendimiento obtenido en cilantro con la mayor densidad (mejor tratamiento) fue de $6.68 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y de $3.58 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ con la menor densidad, lo que representa al menos cuatro y dos veces mayor a lo que se reporta en campo que es de $15.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (SAGARPA, 2002).

Cuadro 15. Comparación de medias de variables evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de cilantro.

Plantas/m ²	Altura de plantas (cm)	Rendimiento (kg·m ⁻²)
1925	32.33 a ^z	6.688 a
1750	30.00 a	5.414 ab
1575	31.33 a	3.588 b
Media	31.22	5.230
DMS	10.60	3.110

DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.1.5 Frijol ejotero

El análisis de varianza en ejote mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en rendimiento, pero no en las otras variables estudiadas (Cuadro 16).

Cuadro 16. Cuadrados medios del análisis de varianza de caracteres evaluados en el cultivo de ejote.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Peso de fruto por planta (g)	Peso seco por planta (g)	Área foliar por planta (cm ²)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	1499.6	57.7	219936.2	5405125.6*
Repetición	2	373.0	43.4	2155472.5	292905.3
Error	4	528.2	250.0	2109170.5	393995.8
Total	8	732.3	221.3	2005182.9	1621505.7
Coeficiente de Variación		20.7	20.9	33.3	23.35

Las comparaciones de medias también indican que en peso seco, área foliar y peso del fruto por planta, no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 17).

El rendimiento (g·m⁻²) con la densidad de 30 plantas/m² fue mayor que con la menor densidad (15 plantas/m²) (Cuadro 17), con diferencias estadísticas. Al respecto Mack y Varseveld (1982) encontraron que utilizando densidades de plantación de 40 a 57 plantas/m² los rendimientos fueron más elevados que con 20 a 33 plantas/m². Así mismo, Derolez y Vulsteke (1985) obtuvieron altos rendimientos al establecer 37 plantas/m², a una separación entre surcos de 33 cm; Kostewick *et al.* (1981) observaron que en frijol ejotero los

mayores rendimientos se obtenían con una separación entre líneas de 32 cm.

Cuadro 17. Comparación de medias de variables evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de frijol ejotero.

Plantas/m ²	Peso seco por planta (g)	Área foliar por planta (cm ²)	Peso de fruto por planta (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
30	78.5 a	4230.3 a	136.7 a	4100.0 a
25	74.8 a	4501.0 a	101.3 a	2534.1 ab
15	74.6 a	4367.8 a	95.3 a	1429.0 b
Media	75.9	4366.2	111.1	2688.1
DMS	15.9	1461.7	66.9	1826.6

DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.1.5 Lechuga

En lechuga hubo diferencias altamente significativas para las tres variables analizadas (Cuadro 18).

Cuadro 18. Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de lechuga.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Ancho de planta (cm)	Peso fresco por planta (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	86.02**	3276.36**	19856469.44**
Repetición	3	4.00	674.36	825625.00
Error	30	5.89	344.10	699128.82
Total	35	10.28	539.97	1804676.53
Coeficiente de Variación		10.81	15.20	17.18

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

El ancho de planta medido al momento de la cosecha, a los 67 días después de la siembra (DDS) fue significativamente mayor en la densidad más baja, y

entre las otras no hubo diferencias (Cuadro 19). Ocurre lo mismo en relación al peso por planta ya que se observó que al aumentar la densidad, el peso por planta disminuye a una diferencia de 28 g entre la densidad más alta respecto a la más baja; estos resultados coinciden con los obtenidos por Martinac y Borosic (1986) quienes encontraron que en altas densidades de plantación de lechuga mantequilla, se obtiene alta producción, pero el tamaño de éstas disminuye al aumentar la densidad.

Aunque el ancho de planta y el peso por planta disminuyeron con la mayor densidad, el mayor número de plantas establecidas por unidad de superficie compensó esta disminución, de tal manera que con la densidad más alta se obtuvo significativamente un mayor rendimiento por unidad de superficie. Estos resultados coinciden con Rapaccioli *et al.*, (2001) quienes encontraron que los rendimientos promedios mayores se obtienen con alta densidad pero en detrimento de la calidad y pesos individuales.

Cabe señalar que en la actualidad, la lechuga y en particular las de tipo europeo no sólo se comercializan en piezas, sino que se encuentra en los supermercados empacadas en bolsas de cierto peso, por lo que visto desde esta forma de comercialización, sería más conveniente tener más peso de hoja por unidad de superficie, aunque se demerite el peso individual como también lo señalan Rapaccioli *op cit.*, *ad supra*. De esta manera la densidad de 56 plantas/m² es la más apropiada para producir lechuga tipo mantequilla dentro del sistema de huerto comercial hidropónico.

Cuadro 19. Comparación de medias de variables evaluadas entre densidades de población del cultivo de lechuga.

Plantas/m ²	Ancho de planta (cm)	Peso fresco por planta (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
56	19.92 b ^z	113.33 b	6346.70 a
42	22.17 b	111.67 b	4020.00 b
30	25.25 a	141.08 a	4232.50 b
Media	22.44	122.02	4866.38
DMS	2.44	18.67	841.55

DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.1.7 Rábano

Con base en el análisis de varianza, el diámetro polar mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y el área foliar por planta y el rendimiento diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Cuadrados medios del análisis de varianza de diferentes caracteres evaluados en el cultivo de rábano.

Fuente de Variación	GL	PFR (g)	DPR (cm)	DER (cm)	AFP (cm ²)	PSR (g)	PSH (g)	BIO (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	71.8	18.5*	2.6	49090.7**	0.10	0.10	0.42	3114056.2**
Repetición	3	49.4	4.5	2.2	39379.7	0.09	0.15	0.40	392440.8
Error	54	54.7	5.1	2.5	9035.5	0.07	0.10	0.28	127414.4
Total	59	55.0	5.5	2.5	11936.2	0.07	0.10	0.29	242132.3
Coeficiente de variación		31.1	1.7	1.5	28.3	32.3	33.8	29.6	14.6

GL: Grados de libertad; PFR: Peso fresco del rábano; DPR: Diámetro polar del rábano; DER: Diámetro ecuatorial del rábano; AFP: Área foliar por planta; PSR: Peso seco del rábano; PSH: Peso seco de hojas; BIO: Biomasa; * Significativo ($P \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

La comparación de medias mostró que en peso fresco y seco del rábano, diámetro ecuatorial, y biomasa, no hubo diferencias estadísticas entre

densidades. El diámetro polar y el área foliar por planta fue el mismo cuando se manejó 81 y 99 plantas/m², pero ambos caracteres se redujeron cuando la densidad de población se incrementó a 126 plantas/m²; por el contrario el rendimiento (g·m⁻²) aumentó en forma significativa a medida que se tuvo más plantas/m² (Cuadro 21).

El área foliar por planta disminuyó en un promedio de 4 % donde había el mayor número de plantas. El rendimiento fue afectado de manera positiva, ya que en esta densidad, fue mayor que en las densidades media y baja donde se obtuvieron 480 y 782 g más, respectivamente (Cuadro 21).

Cuadro 21. Comparación de medias de variables evaluadas en tres densidades de población en el cultivo de rábano.

Plantas/m ²	PFR (g)	DPR (mm)	DER (mm)	AFP (cm ²)	PSR (g)	PSH (g)	BIO (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
126	21.77 a ^z	36.41 b	32.33 a	283.69 b	0.77 a	0.90 a	1.66 a	2851.20 a
99	23.95 a	42.11 a	33.45 a	339.63 ab	0.83 a	0.95 a	1.78 a	2371.10 b
81	25.54 a	41.15 ab	34.61 a	382.49 a	0.91 a	1.04 a	1.95 a	2068.70 c
Media	23.75	39.88	33.45	335.26	0.83	0.96	1.79	2430.33
DMS	5.63	5.44	3.83	72.44	0.20	0.24	0.40	272.03

PFR: Peso fresco de rábano; DPR: Diámetro polar del rábano; DER: Diámetro ecuatorial del rábano; AFP: Área foliar por planta; PSR: Peso seco del rábano; PSH: Peso seco hojas; BIO: Biomasa; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El rábano normalmente se siembra en campo abierto a chorrillo en líneas de 0.15 a 0.25 m, en camas de cultivo de 1.2 a 1.5 de ancho. Algunas veces estas líneas se estrechan más, hasta 8 a 10 cm, quedando una distancia entre plantas de 3 a 5 cm (Maroto, 1989).

Weston (1982), estudió la influencia del marco de plantación en el rendimiento de un cultivo de rábanos; observó que con una separación entre plantas de 2.6 cm la producción disminuyó significativamente que al establecerlas a 3.8 cm, y de acuerdo con Maroto (1989) la producción de rábano es de alrededor de $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ en un ciclo manejado a cielo abierto, que es inferior a la obtenida en este estudio ($2.851 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$).

Como el rábano se comercializa en manojos, que pueden ser de 20 rabanitos cada uno, entonces con la densidad de 126 plantas/m^2 se lograrían producir al menos $6 \text{ manojos de rábanos} \cdot \text{m}^{-2}$ de buen tamaño y peso.

4.2. Experimento 2. Concentraciones de solución nutritiva

4.2.1 Betabel

De acuerdo con el análisis de varianza, hubo diferencias significativas en todas las variables analizadas, excepto en número de hojas (Cuadro 22), aunque en las comparaciones de medias, tampoco hubo diferencias en diámetro polar del rábano (Cuadro 23).

Cuadro 22. Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de betabel.

Fuente de variación	GL	PFB (g)	DPB (cm)	DEB (cm)	NH	AFP (cm ²)	PSB (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	11894.9*	20.646	26.724*	1.72	771638.29*	171.01*	37302538.8*
Bloque	2	2401.8	42.136	8.020	14.88	922750.68	54.08	7532344.4
Error	49	2650.6	8.638	5.614	6.98	215268.06	35.51	8312533.7
Total	53	2990.1	10.355	6.502	7.08	262960.61	41.32	9377055.0
Coeficiente de variación		30.8	1.542	1.081	20.15	31.24	30.56	30.8

GL: Grados de libertad; PFB: Peso fresco del betabel; DPB: Diámetro polar del betabel; DEB: Diámetro ecuatorial del betabel; NH: Número de hojas por planta; AFP: Área foliar por planta; PSB: Peso seco del betabel; *: Significativo ($P \leq 0.05$).

En peso fresco del betabel, área foliar y rendimiento (g·m⁻²) los valores fueron estadísticamente iguales con la solución nutritiva de 75 % (tratamiento 2) como a 100 % (tratamiento 1), pero cuando la solución se bajó a 50 % (tratamiento 3) de concentración, dichos valores disminuyeron de manera significativa respecto a la solución a 100 %. El diámetro ecuatorial y peso seco del betabel sí se disminuyeron a partir de 75 % de la concentración. Se

puede notar que las diferencias en peso seco de betabel se debieron principalmente al ancho de éste. La mayor área foliar lograda con la solución nutritiva a 100 % seguramente permitió que se formaran más fotosintatos lo que explica que el incremento en cada uno de los componentes del rendimiento y el rendimiento *per se*, respecto a la menor concentración.

Considerando que la solución nutritiva representa un aspecto importante en el costo de producción y que el rendimiento no se ve afectado al disminuir un 25 % de la concentración más alta, entonces para betabel se puede sugerir el uso de una solución nutritiva a 75 % y con ella lograr ahorros en costos en 25 % (Cuadro 23).

Cuadro 23. Comparación de medias en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de betabel.

Concentración de solución nutritiva (%)	PFB (g)	DPB (cm)	DEB (cm)	NH	AF (cm ²)	PSB (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
100	195.13 a ^z	6.17 a	7.36 a	13.38 a	1711.0 a	23.05 a	10.92 a
75	161.22 ab	6.26 a	6.78 b	12.77 a	1438.9 ab	17.86 b	9.02 ab
50	144.71 b	5.63 a	6.63 b	13.16 a	1304.7 b	17.56 b	8.10 b
DMS	41.47	0.74	0.60	2.12	373.79	4.80	2.32
Media	167.01	6.02	6.92	13.11	1484.87	19.49	9.35

PFB: Peso fresco del betabel; DPB: Diámetro polar del betabel; DEB: Diámetro ecuatorial del betabel; NH: Número de hojas por planta; AF: Área foliar; PSB: Peso seco del betabel; Peso seco de las hojas por planta; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.2.2 Cebolla cambray

El análisis de varianza mostró que en peso fresco por planta, diámetro polar del bulbo y número de hojas hubo diferencias significativas, y para peso

fresco del bulbo y rendimiento, las diferencias fueron altamente significativas (Cuadro 24).

Cuadro 24. Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de cebolla cambray.

Fuente de variación	GL	PFP (g)	PFB (g)	DPB (cm)	DEB (cm)	NH	LH (cm)	PSB (g)	PSH (g)	Rend. (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	1029.8*	280.9**	12.8*	14.9	9.8*	366.8	6.6	2.2	11015344**
Bloque	2	2629.6	241.6	19.0	10.2	5.1	515.4	23.3	7.1	9473032
Error	85	323.7	49.5	2.9	5.0	2.3	164.7	10.1	1.2	1942931
Total	89	391.3	59.0	3.5	5.4	2.6	177.1	10.3	1.3	2316021
Coef. de var.		53.0	56.2	1.8	2.8	19.8	32.5	223.5	59.4	56
Media		33.8	12.5	2.9	2.5	7.7	39.4	1.4	1.8	2476

GL: Grados de libertad; PFP: Peso fresco por planta; PFB: Peso fresco por bulbo; DPB: Diámetro polar del bulbo; DEB: Diámetro ecuatorial del bulbo; NH: Número de hojas; LH: Largo de hojas; PSB: Peso seco del bulbo; PSH: Peso seco de hojas; *: Significativo ($P \leq 0.05$); **: Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Los resultados de comparaciones de medias muestran que en valores absolutos, el tratamiento de solución nutritiva a 50 % de concentración siempre fue mayor en todas las variables y que, entre 75 y 100 % de concentración, no hubo ninguna diferencia estadística. Pero, en peso fresco del bulbo y en el rendimiento (peso del bulbo por m²), la solución a 50 % superó de manera significativa a los otros dos tratamientos (Cuadro 25). De esto se deduce que en el caso de cebolla cambray, aunque no se observó ningún síntoma de toxicidad con las concentraciones más altas de sales minerales con las que fueron irrigadas, tuvieron efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas disminuyendo el rendimiento por unidad de superficie, por lo que con la solución a 50 % de concentración además de tener mejor rendimiento, se reducen los costos de producción.

Cuadro 25. Comparación de medias en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de cebolla cambray.

Concentración de solución nutritiva (%)	PFP (g)	PFB (g)	DPB (cm)	DEB (cm)	No. de Hojas	LH (cm)	PSB (g)	PSH (g)	RTO (g·m ⁻²)
100	34 ab ^z	11.8 b	2.8 b	2.3 a	7.8 ab	43.3 a	1.9 a	1.9 a	2136.4 b
75	28 b	10.7 b	2.8 ab	2.4 a	7.1 b	36.5 a	1.0 a	1.5 a	2116.6 b
50	40 a	16.0 a	3.2 a	2.8 a	8.2 a	38.4 a	1.2 a	2.1 a	3175.9 a
DMS	12	4.3	0.3	0.4	0.9	7.9	1.9	0.6	858.5
Media	34	12.5	2.9	2.5	7.7	39.4	1.4	1.8	2476.3

PFP: Peso fresco por planta; PFB: Peso fresco por bulbo; DPB: Diámetro polar del bulbo; DEB: Diámetro ecuatorial del bulbo; LH: Largo de hojas; PSB: Peso seco del bulbo; PSH: Peso seco de hojas; RTO: Rendimiento; CV: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.2.3 Lechuga

Para el cultivo de lechuga se encontraron diferencias altamente significativas únicamente para número de hojas y diferencias significativas en peso fresco, diámetro del tallo y rendimiento (Cuadro 26).

Cuadro 26. Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de lechuga.

Fuente de variación	GL	PFP (g)	No. de Hojas	LT (cm)	DT (mm)	P. seco (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	14572.1*	302.5**	4.5	35.36*	19.7	18885490.3*
Bloque	2	1063.8	106.4*	8.8	3.20	12.7	1378740.4
Error	40	4275.1	24.3	1.9	7.64	7.5	5540555.6
Total	44	4597.2	40.7	2.4	8.69	8.3	5957970.1
Coef. de variación		30.4	13.3	23.3	14.29	24.9	30.4
Media		214.7	37.0	6.0	19.34	11.0	7728.8

GL: Grados de libertad; PFP: Peso fresco por planta; LT: Largo del tallo; DT: Diámetro del tallo; *: Significativo ($P \leq 0.05$); **: Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

La respuesta que se obtuvo con la solución concentrada a 50 % para peso fresco, número de hojas, diámetro del tallo y rendimiento, fue mejor estadísticamente que en la solución nutritiva a 100 %. Entre una solución a 50 % y a 75 % no hubo ninguna diferencia significativa en las variables analizadas, excepto en número de hojas, donde en esta última concentración se formaron menos hojas. Entre 75 y 100 % de concentración de la solución todas las variables fueron iguales. Por lo tanto, al igual que en cebolla cambray, la solución nutritiva más adecuada para lechuga es aquella cuya concentración es de 50 %.

Cuadro 27. Comparación de medias en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de lechuga.

Concentración de solución nutritiva (%)	PFP (g)	No. de hojas	Largo del tallo (cm)	DT (mm)	Peso seco (g)	Rend. (g·m ⁻²)
100	191.25 b ^z	32.80 b	6.36 a	17.64 b	10.61 a	6884.9b
75	202.76 ab	36.46 b	5.38 a	19.76 ab	10.09 a	7299.4ab
50	250.06 a	41.73 a	6.30 a	20.62 a	12.29 a	9002.2a
DMS	58.11	4.38	1.24	2.45	2.43	2092
Media	214.68	37.00	6.01	19.34	10.99	7728.80

PFP: Peso fresco por planta; DT: Diámetro del tallo; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.2.4 Rábano

Se encontraron diferencias altamente significativas en peso fresco por planta, peso fresco de las hojas por planta, diámetro polar del rábano, área foliar, y peso seco del rábano; y diferencias significativas en peso fresco del rábano y rendimiento (Cuadro 28).

Cuadro 28. Cuadrados medios de las variables de crecimiento en la evaluación de tres concentraciones de solución nutritiva en el cultivo de rábano.

Fuente de variación	Grados de libertad	PFP (g)	PFR (g)	PFH (g)	DPR (mm)	DER (mm)	Área foliar (cm ²)	PSR (g)	PSH (g)	Rendimiento (g·m ⁻²)
Tratamiento	2	2731.1**	447.8*	1121.6**	384.8**	44.2	370896.1**	0.5	3.5**	7819446.1*
Bloque	2	881.0	640.2	89.7	192.8*	155.9	17716.1	0.6	0.6	10810171.2
Error	85	220.2	129.0	27.5	58.6	35.3	10119.0	0.2	0.1	2018591.4
Total	89	291.5	147.6	53.5	68.9	38.2	18397.0	0.2	0.1	2346511.2
Coeficiente de variación		40.0	49.3	37.3	20.6	19.2	37.4	49.5	35.9	49.2
Media		37.0	23.0	14.0	37.0	30.9	268.4	0.9	0.9	2884.9

PFP: Peso fresco por planta; PFR: Peso fresco del rábano; PFH: Peso fresco de las hojas por planta; DPR: Diámetro polar del rábano; DER: Diámetro ecuatorial del rábano; PSR: Peso seco del rábano; PSH: Peso seco de hojas; *: Significativo ($P \leq 0.05$); **: Altamente significativo ($P \leq 0.01$).

En las variables el peso fresco por planta, peso fresco de hoja, área foliar y peso seco de hoja, la solución a 100 % dio valores mayores que en las soluciones a 50 y 75 %. El peso fresco del bulbo y el rendimiento tuvieron mejor respuesta con la solución a 100 % respecto a la de 50 %; con la de 75 % no hubo diferencias estadísticas.

En rábano la parte de mayor interés antropocéntrico es la raíz engrosada que es la parte comestible, por lo que se puede deducir que para este cultivo, la solución nutritiva concentrada a 75 % es la mejor, además que entre esta concentración y a 100 % no hubo diferencias.

Cuadro 29. Comparación de medias en la evaluación de tres concentración de la solución nutritiva en el cultivo de rábano

Concentración de solución nutritiva (%)	PFP (g)	PFR (g)	PFH (g)	DPR (mm)	DER (mm)	Área foliar (cm ²)	PSR (g)	PSH (g)	Rend. (g·m ⁻²)
100	47.5 a ^z	26.4 a	21.1 a	40.0 a	31.9 a	395.7 a	1.1 a	1.3 a	3329.5 a
75	34.9 b	23.8 ab	11.1 b	38.2 a	31.3 a	219.3 b	1.0 a	1.0 b	2998.0 ab
50	28.8 b	18.8 b	10.0 b	33.1 b	29.6 a	190.3 b	1.0 a	0.6 b	2327.4 b
DMS	9.1	7.0	3.2	4.7	3.7	61.9	0.3	0.2	875.1
Media	37.1	23.0	14.1	37.1	30.9	268.4	1.0	0.9	2884.95

PFP: Peso fresco por planta; PFR: Peso fresco del rábano; PFH: Peso fresco de las hojas por planta; DPR: Diámetro polar del rábano; DER: Diámetro ecuatorial del rábano; AF: Área foliar; PSR: Peso seco del rábano; PSH: Peso seco de hojas; DMS: Diferencia mínima significativa; ^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.2.5 Análisis de tejido vegetal

El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey mostraron que con excepción de nitrógeno y fósforo en lechuga, en ninguno de los elementos analizados (N, P, K, Ca y Mg) de las cuatro especies (betabel, cebolla cambray, lechuga y rábano) se tuvo diferencias estadísticas (Cuadro 30).

Cuadro 30. Cuadrados medios del análisis de varianza del contenido de N, P, K, Ca y Mg para el tejido vegetal de las especies que se indican.

Especie	F. V.	GL	N	P	K	Ca	Mg
Betabel	Trat.	2	0.039	0.002	0.073	0.877	0.073
	Bloque	2	0.053	0.043	0.002	0.550	0.039
	Error	4	0.098	0.125	0.070	0.161	0.039
	Total	8	0.072	0.074	0.054	0.437	0.047
	CV		7.000	54.152	14.030	25.777	19.667
Cebolla cambray	Trat.	2	0.035	0.002	0.046	0.269	0.130
	Bloque	2	0.000	0.097	0.120	0.045	0.070
	Error	4	0.015	0.055	0.125	0.027	0.066
	Total	8	0.016	0.052	0.104	0.215	0.083
	CV		4.415	29.609	19.132	27.431	34.555
Lechuga	Trat.	2	0.240*	0.333**	0.085	0.171	0.086
	Bloque	2	0.017	0.000	0.107	0.267	0.237
	Error	4	0.019	0.002	0.055	0.104	0.027
	Total	8	0.074	0.084	0.075	0.162	0.094
	CV		3.220	3.682	29.588	17.798	12.697
Rábano	Trat.	2	0.411	0.247	0.154	3.051	0.187
	Bloque	2	0.242	0.151	0.114	1.815	0.098
	Error	4	0.749	0.236	0.036	2.228	0.100
	Total	8	0.538	0.217	0.248	2.330	0.121
	CV		17.859	60.975	31.015	48.926	44.000

F.V.: Fuente de variación; Trat.: Tratamiento; CV: Coeficiente de variación; GL = Grados de libertad; *: Significativo ($P = 0.05$); **: Altamente significativo ($P = 0.01$).

Los resultados de Daiss *et al.*, 2006 mostraron que dependiendo de la fuente de fertilización, son diferentes los efectos en el contenido nutrimental de las plantas.

La comparación de medias también mostró que no hubo diferencias estadísticas de los elementos analizados (N, P, K, Ca y Mg) en el tejido vegetal de cada especie entre las concentraciones de solución nutritiva

empleadas para los tratamientos (Cuadro 31). Es posible disminuir la concentración de la solución nutritiva incluso a 50 % de tal forma que no se afecta la concentración de los distintos elementos para estos cultivos.

Cuadro 31. Comparación de medias del contenido (%) de N, P, K, Ca y Mg en tres concentraciones de solución nutritiva para los cultivos de betabel, cebolla cambray y rábano.

Especie	Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
Betabel	100	4.48 a	0.62 a	2.07 a	2.14 a	0.84 a
	75	4.37 a	0.67 a	1.80 a	1.44 a	1.15 a
	50	4.60 a	0.65 a	1.81 a	1.08 a	1.02 a
	DMS	0.91	1.02	0.77	1.16	0.57
Cebolla cambray	100	2.97 a	0.77 a	1.99 a	1.73 a	0.64 a
	75	2.77 a	0.79 a	1.77 a	1.73 a	0.61 a
	50	2.80 a	0.82 a	1.79 a	2.25 a	0.98 a
	DMS	0.36	0.68	1.03	1.51	0.75
Lechuga	100	4.41 ab	0.93 c	0.98 a	1.80 a	1.33 a
	75	4.55 a	1.34 b	0.74 a	2.06 a	1.11 a
	50	4.01 b	1.59 a	0.66 a	1.58 a	1.44 a
	DMS	0.40	0.13	0.68	0.94	0.47
Rábano	100	4.42 a	0.60 a	1.83 a	2.15 a	0.50 a
	75	5.12 a	0.65 a	2.20 a	2.85 a	0.67 a
	50	4.99 a	1.12 a	1.79 a	4.14 a	0.99 a
	DMS	2.51	1.41	1.75	4.34	0.92

Para el cultivo de lechuga mantequilla el resultado del análisis de varianza para la concentración de elementos mostró diferencias significativa para el N y altamente significativa para el P, no así para el resto de los elementos analizados (Cuadro 30).

El nivel de N más alto en la comparación de medias, se mostró en la solución a 75%. En el caso de P el contenido más alto en este cultivo (lechuga

mantequilla) fue con el uso de la solución con menos concentración de nutrimentos (50%).

De acuerdo con Jones *et al.*, (1991) la lechuga requiere para su buen crecimiento de 4.0 a 5.0 % de N, 0.4 a 0.6 % de P, 6.0 a 7.0 de K, de 2.3 a 3.5 de Ca y del 0.5 a 0.8 % de Mg. Los resultados obtenidos indican que con excepción del Ca donde los contenidos en tejido vegetal fueron ligeramente menores a los indicados por dicho autor, los otros elementos se encuentran dentro de los valores o incluso ligeramente mayor. Estos resultados concuerdan con los rendimientos obtenidos (Cuadro 27) indicando que para lechuga una solución de 50 % es suficiente para lograr los contenidos de minerales en el tejido para lograr el mayor rendimiento.

Aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos, los resultados indican que en betabel, cebolla cambray y rábano también se encuentran dentro de los rangos sugeridos por Jones *et al.*, 1991. Por ejemplo en betabel se requiere para su buen crecimiento de 4.9 a 5.5 % en N; en P de 0.25 a 0.5 de 3.0 a 4.5; K de 3 a 4.5 en Ca de 2.5 a 3.5 y en Mg de 0.3 a 0.1 %. Los minerales que son deficientes en contenido son K y Ca para las tres concentraciones de nutrimentos.

En el caso de cebolla, los niveles suficientes de cada elemento no coinciden con los resultados obtenidos ya que se encuentran por debajo de los sugerido por Jones *et al.* (1991), en N de 5 a 6 %; P de 0.35 a 0.5 %; K de 4

a 5.5 %; Ca de 1 a 2 %; Mg 0.25 a 0.4 %. En este caso es porque el cultivo no llegó a término, el ciclo fue interrumpido en una etapa juvenil, ya que se requirieron cosechar de tamaño pequeño.

En rábano los niveles suficientes de nutrimentos son: N de 3.0 a 6.0 %; P de 0.3 a 0.7 %; de K de 4.0 a 7.5 %; Ca 3.0 a 4.5 y Mg de 0.5 a 1.2 %; estos niveles fueron obtenidos satisfactoriamente con las tres concentraciones de solución a excepción del K que en todos los casos fue deficiente.

4.3 Guía técnica para la producción de especies olerícolas de clima templando en un huerto comercial hidropónico

El propósito de esta guía técnica, es facilitar a los usuarios (técnicos o productores) el manejo de diferentes cultivos dentro de un huerto comercial hidropónico en invernadero (Figura 1), de una manera organizada y sintetizada.



Figura 1. Huerto comercial hidropónico establecido en un invernadero de 500 m².

4.3.1 Manejo general del huerto

4.3.1.1 Preparación de camas de siembra y sistema de riego

Para la producción de hortalizas de hoja y bulbo dentro del huerto, se sugiere el uso de camas de cultivo desde 1.2 hasta 1.5 m de ancho en función de la

especie, con una profundidad o elevación de 30 cm, con la longitud que se disponga en el invernadero. Al fondo de la cama se debe colocar una capa (7 cm) de grava gruesa (mayor de 2 cm) y en la parte superior a ésta, otra capa de 20 cm con grava fina (de 3 a 6 mm de diámetro). La grava que se coloca al fondo, sirve para separar el suelo del sustrato de cultivo y evita una posible contaminación de plagas del suelo al sustrato. Para evitar el contacto del suelo de las paredes de las camas con el sustrato, se debe aislar con un plástico. Las camas se elevan sobre el nivel del piso por lo menos 10 cm, lo cual se puede hacer con tabiques o cualquier otro material disponible.

El sistema de riego de manera general, consiste de una cisterna de 10,000 L, una bomba de 1 HP, un programador de riego, la línea principal es una tubería de PVC de una pulgada y las líneas secundarias se conectan a las cintillas o mangueras de goteo en cada una de las camas (Figura 2).



Figura 2. Camas de siembra y sistema de riego.

4.3.1.2 Siembra

El establecimiento del cultivo puede ser mediante siembra directa o trasplante, como se señala en el Cuadro A1.

Cuadro A1. Tipo de siembra en algunas especies olerícolas de clima templado.

Nombre común	Tipo de siembra
Acelga	Directa
Betabel	Trasplante
Cebolla cambray	Trasplante
Cilantro	Directa
Frijol ejotero	Directa
Lechuga	Trasplante
Rábano	Directa

4.3.1.2.1 Siembra directa

Consiste en colocar directamente la semilla en el sustrato (tezontle) de la cama de siembra para que en ese sitio se lleve a cabo el ciclo completo del cultivo. El sustrato de la cama donde se sembrará, debe ser removido y profusamente regado con agua corriente, para promover aireación y humedad suficiente, y con ello, una germinación homogénea y un desarrollo adecuado de las plantas.

4.3.1.2.2 Siembra en charolas

Se realiza en charolas de poliestireno o unicel de 200 cavidades; el sustrato consiste de una mezcla de perlita y peat moss (1:1 v/v). Con el sustrato

húmedo a punto de escurrimiento se rellena la charola, se azota con firmeza una sola vez para que se acomode el sustrato dentro de las cavidades y se completa con el sustrato hasta el límite, posteriormente se marca un orificio en el centro de cada cavidad (la profundidad varía según la especie) en la que se coloca una o varias semillas; se cubre la semilla con el mismo sustrato de siembra. Las charolas se extienden y se les da un riego pesado con gota muy fina para no sacar el sustrato de las cavidades. Las charolas se trasladan al semillero donde son apiladas y envueltas con plástico para favorecer la temperatura de germinación y al cabo de tres días, habrá que destapar y observar el inicio de la germinación; el tiempo de ésta varía según la especie, cuando se observe al menos una plántula en emergencia se deben extender las charolas sobre bancos, y una vez que la germinación se homogenice en el semillero, se realiza el aclareo dejando una planta por cavidad (Figura 3).



Figura 3. Semillero de hortalizas.

Las plántulas crecen en el semillero durante 30 días aproximadamente y se riegan con agua corriente las dos primeras semanas, las otras dos, con solución nutritiva diluida a 50 %. Al cumplir con este tiempo se llevan al invernadero para ser trasplantadas.

4.3.1.3 Trasplante

Antes del trasplante, el sustrato de las camas de siembra debe ser removido y se moja profusamente, se hacen los agujeros a una profundidad de 10 cm y un diámetro de 3 cm aproximadamente (tamaño de cepellón) con una distribución de acuerdo a la densidad de cada especie.

4.3.1.4 Densidad de población

La densidad de población óptima y el arreglo de plantación para cada cultivo dentro del huerto varía según la especie, y será descrita en la ficha técnica de cada una de ellas.

4.3.1.5 Solución nutritiva y riego

La solución nutritiva para el manejo de estas especies, debe contener las siguientes concentraciones expresadas en mg/L o ppm: N = 112; P = 30; K = 150; Ca = 120; Mg = 22; S = 110 a 187; Fe = 1.5; Mn = 0.7; B = 0.3; Cu = 0.01; Zn = 0.01.

El contenido de nutrimentos en la solución se puede obtener con los siguientes fertilizantes: 1000 g de Nitrato de calcio, 175 g de nitrato de potasio, 290 g de sulfato de potasio, 475 g de sulfato de magnesio, 11 g de sulfato ferroso, 2.5 g de ácido bórico, 2 g de sulfato de manganeso, 0.2 g de sulfato de cobre, 0.2 g de sulfato de zinc, 80 ml de ácido fosfórico y 20 ml de ácido sulfúrico todo esto diluido en 1000 L de agua. El Molibdeno y cloro no se aplican, considerando que están en cantidad suficiente como impurezas del agua y los fertilizantes aplicados. Esta solución será utilizada a partir de la siembra directa o al momento del trasplante.

En caso de usar otras fuentes de fertilizantes, hay que considerar que al menos 70 % del nitrógeno debe provenir de fuentes a base de nitratos, y no más de 30 % de fuentes a base de amonio. El pH de la solución debe estar entre 5.5 y 6.5.

La cantidad de solución nutritiva a aplicar por día depende de las condiciones climáticas y edad de las plantas, pudiendo oscilar entre $3 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ para plantas chicas y en días nublados, hasta $6 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ para plantas de mayor desarrollo y días soleados. Se recomienda aplicar riegos de 10 min cada hora a partir de las 09:00 hasta las 16:00 horas.

4.3.2 Cultivos

4.3.2.1 Acelga

Nombre científico y origen

Pertenece a la Familia *Chenopodiaceae* y su nombre científico es *Beta vulgaris* L. var. *cicla* L.

Los primeros informes que se tienen de esta hortaliza la ubican en la región del Mediterráneo y en las Islas Canarias. Aristóteles hace mención de la acelga en el siglo IV A.C.

Características botánicas

Es una planta bianual y de ciclo largo que no forma raíz o fruto comestible. Tiene un sistema radicular bastante profundo y fibroso. Sus hojas constituyen la parte comestible y son grandes de forma oval o acorazonada, entre verde oscuro fuerte y verde claro según la variedad; tienen un pecíolo ancho y largo, que se prolonga en el limbo, puede ser de color crema o blanco (Figura 4).

Para que se presente la floración necesita pasar por un período de temperaturas bajas, después del segundo año de cultivo. El vástago floral alcanza una altura promedio de 1.20 m. La inflorescencia está compuesta por una larga panícula. Las flores son sésiles y hermafroditas pudiendo

aparecer solas o en grupos de dos o tres. El cáliz es de color verdoso y está compuesto por 5 sépalos y 5 pétalos. Las semillas son muy pequeñas y están encerradas en un pequeño fruto al que comúnmente se le llama semilla (realmente es un fruto llamado glomérulo que contiene de 3 a 4 semillas con un poder germinativo de 4 años).



Figura 4. Cultivo de acelga en el huerto comercial hidropónico mostrando las características botánicas de la especie.

Dentro de las variedades de acelga hay que distinguir las características siguientes:

- Color de la penca: blanca o amarilla, aunque hay exóticas de color naranja o rojo.
- Color de la hoja: verde oscuro, verde claro, amarillo.
- Grosor de la penca: tamaño y grosor de la hoja; abujado del limbo.
- Resistencia a la subida a flor.
- Recuperación rápida en corte de hojas.
- Precocidad.

Algunas variedades que podemos encontrar en el mercado son: Verde penca blanca, R. Niza, Paros y Gigante Fordhook, así como variedades exóticas de diferentes colores (Figura 5).



Figura 5. Variedades exóticas de acelga con tallos naranjas, rojos y morados.

Requerimientos climáticos

La acelga es una planta tolerante a condiciones climáticas extremas. Originalmente es una planta de clima templado, que vegeta bien con temperaturas medias. El mejor crecimiento se tiene manteniendo entre 15 y 30 °C durante el día, pero tolera temperaturas tan altas como 40 °C o tan bajas como 10 °C. En la noche lo adecuado es de 5 a 20 °C , aunque resiste heladas hasta de -5 °C.

En cuanto a luz, la difusa de entre 4000 y 7000 pies-bujía es muy benéfica y a aunque tolera la sombra, no es conveniente manejarla a menos de 3000 pies-bujía, porque puede acumular mayores concentraciones de nitrato en las hojas, lo cual puede ser dañino para la salud de los consumidores.

La humedad relativa debe estar entre 30 y 80%, aunque tolera valores más extremos. Dado sus amplios límites de tolerancia a los factores ambientales se adapta muy bien a su participación como componente en un huerto diverso, el cual debe planearse principalmente en función de los requerimientos de las especies de cultivo con menos rango de adaptación.

Siembra y densidad de población

La siembra se hace directamente en el sustrato de 0.5 a 1 cm de profundidad. Se coloca una semilla en cada cavidad o golpe. Se tapa y se riega con agua o solución nutritiva (dos a cinco veces por día, según la temperatura) hasta la emergencia. Para esta especie, en condiciones apropiadas de humedad y oxígeno para la raíz, la emergencia a una temperatura media de 20 °C es de 5 a 7 días (Figura 6).



Figura 6. Emergencia de plantas de acelga.

Cuando las plantas tienen 3 ó 4 hojas en la primera etapa de su crecimiento, se aclarea dejando una sola planta. Las plantas que se eliminan se cortan con ayuda de una navaja o tijera ya que si se arrancan se puede desarraigar a la planta que queda en el sustrato.

La distribución en la cama es de 20 cm de distancia entre hileras y entre plantas para tener una población de 30 plantas·m⁻².

Cosecha

De la siembra al inicio de cosecha de las hojas, transcurren de 50 a 60 días (**Figura 7**). Cosechando oportunamente, las hojas exteriores de la acelga se puede mantener en producción por un período de 1 a 2 años, mientras no se dé la floración.



Figura 7. Plantas de acelga en etapa de cosecha.

La recolección de la acelga puede hacerse de dos formas. La menos común consiste en recolectar la planta entera cuando alcanza un tamaño comercial de entre 750 y 1000 g de peso.

Lo más adecuado desde el punto de vista económico es la recolección manual y constante de las hojas exteriores de las plantas a medida que éstas van teniendo un tamaño óptimo. La longitud de las hojas es un indicador visual del momento de la cosecha (20 a 30 cm de largo aproximadamente), siendo el tiempo otro parámetro, de 50 a 60 días el primer corte y después cada 8 a 15 días. Es recomendable cortar las hojas con cuchillos o navajas bien afilados, evitando dañar el cogollo o punto de crecimiento, ya que podría provocarse la muerte de la planta. También se pueden cortar manualmente, tomándolas de la base del peciolo con movimientos laterales cuidadosos. El rendimiento aproximado es de 8 a 10 kg·m⁻² útil·mes⁻¹.

Una vez recolectadas las hojas, se colocan en manojos con un peso de medio a un kilo que a su vez se pueden empaquetar en conjuntos de unos 10 kilos (**Figura 8**).

Principales plagas y enfermedades

Se tiene considerado una serie de plagas que dañan el cultivo de la acelga dentro del huerto comercial, aunque su incidencia sea en realidad muy

reducida ya que el buen manejo del hermetismo dentro del invernadero deberá ser estricto desde el inicio del cultivo.

Las plagas que más proliferan en este cultivo son: Gusano de alambre (*Agrotis lineatum*), Gusano gris (*Agrotis segetum*), Mosca de la remolacha (*Pegomia batae* o *P. hyoscyami*), Falso medidor (*Trichoplusia ni* H.), Pulguilla (*Chaetocnema tibialis*) y Pulgón (*Aphis fabae*).

Como enfermedades comunes en este cultivo se tienen: Viruela de la acelga (*Cercospora beticola*), Mildiú (*Peronospora schatii*; *P. farinosa*; *P. spinaciae*), Sclerotinia (*Sclerotinia libertiana*) y algunas virosis.



Figura 8. Elaboración de manojos de acelga.

4.3.2.2 Betabel

Nombre científico y origen

Pertenece a la familia *Chenopodiaceae* y su nombre científico es *Beta vulgaris* L., var. *cruenta* Alef. Esta especie también es conocida con el nombre común de remolacha de mesa.

Aunque se trata de una planta probablemente originaria de Europa, no fue empleada como hortaliza según algunos datos en el siglo XVI.

Características botánicas

Es una planta bianual que durante el primer año de cultivo produce una roseta de hojas de márgenes enteros o sinuosos, forma oval, con peciolo alargados y limbo liso o arrugado. Paralelamente, en el primer año la parte superior de su raíz junto con elementos caulinare forman un tubérculo hipocotíleo, cuya forma puede ser alargada, redondeada o aplastada.

Si se hace un corte transversal en el tubérculo hipocotíleo, se pueden observar una serie de capas concéntricas, que pueden alternar el color rojo con capas de coloración rosa pálido. Si este contraste de color es muy acentuado, se manifiesta lo que se conoce como “zonificación” de betabel, característica que deprecia comercialmente.

Las capas concéntricas, corresponden alternadamente a elementos de tejido vascular y de parénquima de reserva, en el que se acumula el azúcar.

El segundo año de cultivo, la planta emite el tallo floral que aloja una inflorescencia compleja, larga y laxa, en la que las flores, de color verde-amarillento, están agrupadas cada 2/6. La polinización es alógama y generalmente anemófila. Como consecuencia del crecimiento ininterrumpido de los cálices tras la floración (fenómeno que se conoce botánicamente como acrecencia), se forman glomérulos que engloban cada uno de ellos 2 ó

3 semillas reniformes, cuya capacidad germinativa es de cuatro a seis años, y su peso de 1g por cada 60 a 70 semillas.

Variedades

En función de la forma de su tubérculo hipocotíleo, comercialmente se distinguen dos grupos: **1)** Alargadas, que pueden llegar a tener de 30 a 40 cm de longitud); y **2)** Redondeadas o aplastadas. Algunas casas comercializadoras de semillas como FAX MEXICO, S.A. de C.V., tiene las siguientes variedades: Scarlet Supreme (H). Muy erecta, uniforme, coronas pequeñas, ideal para proceso; Centurion (H). Madurez temprana, tamaño uniforme y excelente color rojo sangre, adecuada para mercado fresco y proceso. Chariot (H). Follaje erecto, mantiene forma en plantaciones de alta densidad.

Otras empresas como Bejo comercializan otras variedades: Pablo F1. Madurez relativa 90 días, con raíz redonda, color interno rojo intenso y sin anillos blancos, follaje de 30cm, para uso en mercado fresco y proceso, muy productivo, excelente calidad y color, muy liso. Redondo F1. Madurez relativa 100 días, con raíz redonda, color interno rojo intenso, follaje de 38cm, para uso en mercado fresco y proceso, follaje muy fuerte. Boro F1. Madurez a los 92 días, con raíz redonda, color interno rojo intenso y sin anillos blancos, follaje de 35 cm, para uso en mercado fresco, y proceso, muy productivo, follaje fuerte y excelente calidad. Rhonda F1. Madurez a los 96 días, raíz

redonda y de muy buen color, lisa y con una altura de follaje de 36 cm., para uso en el mercado fresco de manojos.

Otros híbridos que se comercializan en México son: Centurion (PS 589), Chariot (PS 185) y Scarlet Supreme de Bejo.

Requerimientos climáticos

Se considera planta de día largo, aunque hay cultivares de día neutro. No requiere excesiva luz, perjudicándole cuando ésta es elevada si va acompañada de un aumento de la temperatura. Requiere de abundante insolación, ya que en áreas sombreadas se reducen los rendimientos. La humedad relativa que requiere está comprendida entre el 60 y 90% en cultivos en invernadero.

Siembra, trasplante y densidad de población

La siembra de esta especie se realiza en charolas a una profundidad de 0.5 a 1.0 cm colocando una semilla por cavidad, ya que en realidad es un glómérulo, para iniciar la germinación, las temperaturas pueden ser desde 5 y 8 °C con una óptima de 25 °C, la emergencia de plántula con condiciones apropiadas de humedad y oxígeno se da a los tres días después la siembra cinco días más tarde, se realiza un aclareo dejando una planta por cavidad. A los 42 días después de la siembra se efectúa el trasplante a las camas de

siembra a una distancia entre hileras y plantas de 15 cm creando una densidad de población de $56 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ (Figuras 9 y 10).



Figura 9. Extracción de plántulas de las charolas para realizar el trasplante.



Figura 10. Distribución de plantas de betabel en las camas de siembra.

Cosecha

El diámetro de la raíz es un indicador visual del momento de la cosecha (7 cm aproximadamente). Generalmente esta actividad se realiza a los 49 días después del trasplante. Se arranca del sustrato sacudiendo el exceso de sustrato en las raíces fibrosas finales (Figura 11).

Principales plagas y enfermedades

Las plagas más importantes en betabel son: Mosca del betabel (*Pegomya betae* Curtis), Plaguilla del betabel (*Chaetocnema tibialis* Illig), Cásida del betabel (*Cassida vitatta* Villers), Gusanos blancos (*Anoxia* y *Metolontha*), Pulgones especies diversas (*Aphis fabae* Scop.), Orugas (*Spodoptera littoralis* Boisd.), (*Laphygma exigua* Hb.), Gusanos grises (*Agrotis*), Nemátodos como (*Heterodera schachtii* Schm.). Y las enfermedades más importantes son: Cercospora beticola Sacc., Rhizoctonia violacea Tul., Sclerotinia sclerotiorum (lib) De By., Mildiu del betabel, producido por Peronospora schachtii Fuck. Como virosis se presenta el mosaico del betabel y amarillamiento del betabel.



Figura 11. Cosecha de betabel.

4.3.2.3 Cebolla cambray

Nombre científico y origen

Su nombre científico es *Allium cepa* L. y pertenece a la familia *Liliaceae*. El origen primario de la cebolla se localiza en Asia central, y como centro secundario el Mediterráneo.

Características botánicas

Es una planta bianual, de tallo reducido a una plataforma que da lugar por debajo a numerosas raíces y encima a hojas, cuya base carnosa e hinchada constituye el bulbo. El bulbo está formado por numerosas capas gruesas y carnosas al interior, que realizan las funciones de reserva de sustancias nutritivas necesarias para la alimentación de los brotes y están recubiertas

de membranas secas, delgadas y transparentes, que son base de las hojas.

La sección longitudinal muestra un eje caulinar llamado cormo.

El sistema radical es fasciculado, corto y poco ramificado; siendo las raíces blancas, espesas y simples.

El tallo que sostiene la inflorescencia es recto, de 80 a 150 cm de altura, hueco, con inflamamiento ventrudo en su mitad inferior. Las hojas envainadoras, son alargadas, fistulosas y puntiagudas en su parte libre. Sus flores son hermafroditas, pequeñas, verdosas, blancas o violáceas, que se agrupan en umbelas.

El fruto es una cápsula con tres caras, de ángulos redondeados, que contienen las semillas, las cuales son de color negro, angulosas, aplastadas y de superficie rugosa.

Variedades

Las variedades de cebolla son numerosas y presentan bulbos de diversas formas y colores. Bajo el criterio comercial se pueden distinguir tres grandes grupos de variedades: cebollas gigantes, cebollas corrientes y cebolletas.

Algunas variedades que manejan las casas comerciales como Sakata y Bejo son: Nube, Virgin F1, Rosali, Azteca, Oro blanco, blanca de Cojumatlán.

Requerimientos climáticos

Es una planta de climas templados, aunque en las primeras fases de cultivo tolera temperaturas bajo cero, para la formación y maduración del bulbo, pero requiere temperaturas más altas y días largos. La temperatura de crecimiento está comprendido de 13 a 24 °C. la ideal durante el día es de 16 a 18 °C y en la noche de 13 a 16 °C. Presenta resistencia a temperaturas bajas de hasta -12 °C. La humedad relativa requerida es de 30 al 40 %. Es una especie sensible a los cambios bruscos de humedad ya que pueden ocasionar el agrietamiento de los bulbos. Una vez que las plantas han iniciado el crecimiento (Figura 12), la humedad del suelo debe mantenerse siempre en la misma cantidad.



Figura 12. Crecimiento de cebolla cambray en cama de siembra de un huerto comercial.

Siembra, trasplante y densidad de población

La siembra de la cebolla cambray se realiza en charolas (Figura 13), colocando en cada cavidad de 3 a 4 semillas a una profundidad de 0.5 cm, la emergencia ocurre a los 6 días después de la siembra y posteriormente se realiza el aclareo dejando una planta por cavidad, el trasplante se realiza a los 42 días después (Figuras 14a y 14b), la densidad de población a la que quedan distribuidas en las camas de siembra es de $198 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ a una distancia entre plantas 5 y entre hileras de 10 cm.

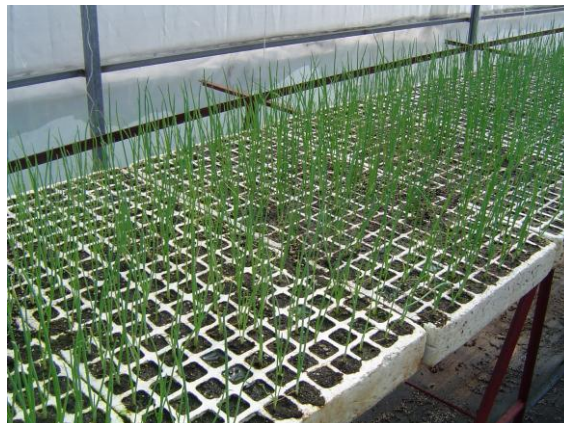


Figura 13. Plántulas de cebolla cambray en el semillero.

Cosecha

Esta se realiza de acuerdo al tamaño de producto que se requiera, por lo general, a los 49 o 56 días después del trasplante se hacen manojos y se amarran de 10 a 15 plantas según el mercado (Figura 15).

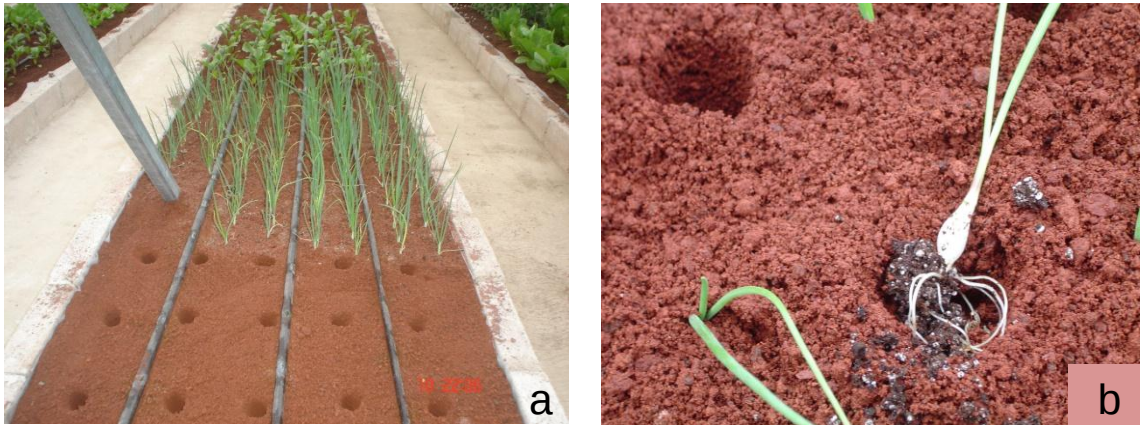


Figura 14. Trasplante de cebolla cambray. a. Elaboración de cavidades en la cama de siembra. b. Introducción de plantas de cebolla cambray en las cavidades de la cama de siembra.



Figura 15. Cosecha de cebolla cambray.

Principales plagas y enfermedades

Entre las plagas se encuentran: Escarabajo de la cebolla (*Lylyoderys merdigera*), Mosca de la cebolla (*Hylemia antigua*), Trips (*Thrips tabaci*),

Polilla de la cebolla (*Acrolepia assectella*) y Nemátodos (*Dytolenchus dipsaci*).

A este cultivo lo atacan enfermedades como: Mildiú (*Peronospora destructor* o *schleideni*), Roya (*Puccinia* sp.), Carbón de la cebolla (*Tubercinia cepulae*), Podredumbre blanca (*Sclerotium cepivorum*), Abigarrado de la cebolla, Tizón (*Urocystis cepulae*), Punta blanca (*Phytophthora porri*), Botritis (*Botrytis squamosa*), Alternaria (*Alternaria porri*).

4.3.2.4 Cilantro

Nombre científico y origen

Coriandrum sativum pertenece a la familia de las *Apiaceas*. Nativo del norte de África y el sur de Europa.

Características botánicas

Hierba anual de la de tallos rectos, hojas compuestas, flores blancas y frutos aromáticos. Todas las partes de la planta son comestibles, pero generalmente se usan las hojas frescas como se muestran en la figura 16.

Variedades

En Sakata las variedades que maneja de esta especie son: Hércules, variedad de madurez intermedia - tardía (60 días después de la siembra directa), su tallo es flexible por lo que resiste bien el amarre del manojo evitando pérdidas en la cosecha; Gladiador, de madurez intermedia, produce excelente calidad bajo condiciones de temperaturas frescas; Zeus, alta adaptación a diversos climas por lo que puede cultivarse todo el año, expresando su mayor potencial en la época de primavera - verano, donde soporta bien altas temperaturas y lluvias; su floración es más lenta



Figura 16. Cultivo de cilantro en un huerto comercial en baja densidad.

Requerimientos climáticos

Requiere un clima templado; en un clima más cálido, ocurre una notable disminución del rendimiento. Además, la concentración de aceite esencial en

los frutos disminuye con temperaturas superiores a 21 °C, siendo la temperatura óptima para la hinchazón del grano entre 15-18° C.

Siembra y densidad de población

Se realiza siembra directa en la cama previamente mojada y aireada, se preparan los surcos a una distancia de 10 cm entre sí con una profundidad de 1 cm, posteriormente se esparce la semilla sin amontonarla en la hilera (siembra a chorrillo) y se cubre con el mismo sustrato, esta distribución nos aporta una densidad de población de aproximadamente $1925 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ ($15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$). La emergencia (**Figura 17**) con la humedad y temperatura ideales para germinar ocurre a los 5 días después de la siembra.



Figura 17. Emergencia de cilantro en la cama de siembra.

Cosecha

El cilantro es un producto fresco que está en la lista de productos admisibles al mercado de los Estados Unidos y posee grandes oportunidades comerciales. Dependiendo de la temperatura se cosecha entre los 40 a 50 días después de la siembra (dds), arrancando las plantas desde la raíz como se observa en la Figura 18.



Figura 18. Cosecha de cilantro cultivado en un huerto comercial.

Principales plagas y enfermedades

La plaga más importante es el pulgón. Se conocen muy pocas enfermedades en el cilantro, la más importante es la mancha bacteriana (*Pseudomonas syringae*).

4.3.2.5 Frijol ejotero

Nombre científico y origen

Pertenece a la familia *Leguminosae* subfamilia *Papilionoideas*, tribu *Phaseoleas* y su nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L. También se conoce como judías verdes.

Es una planta americana oriunda de los geocentros VI y VII de Vavilov, que corresponden a México-América Central, y Perú-Ecuador-Bolivia, respectivamente. Los indicios más antiguos de cultivo data aproximadamente del año 5000 a. de C.

Características botánicas

Es una planta anual, de germinación epigea, su sistema radicular es muy fibroso noduliza mediante asociación simbiótica con cepas de *Rhizobium phaseoli*. Sus tallos son delgados y su crecimiento puede ser determinado o indeterminado sus hojas son trifoliadas, dotadas de pequeñas estípulas en la base del peciolo. Las inflorescencias están dispuestas en racimos terminales en las variedades con crecimiento determinado y axilares en las variedades con crecimiento indeterminado. Flores de varios colores según la variedad, blanco, amarillento, rosa, etc.; la quilla se encuentra enrollada con estambre vexilar libre. Presenta fecundación autógama, con menos de 5% de alogamia. El fruto es una legumbre de longitud y color variables.

Las semillas, cuya forma oscila entre ariñonada y subglobulosa, poseen dimensiones variables y pueden ser de diversos colores (marrón, negro, blanco, jaspeado, etc.). La capacidad germinativa de las semillas es en promedio de tres años.

Variedades

En la empresa Seminis hay variedades como Toro y Huracán, son de crecimiento determinado y porte bajo

Requerimientos climáticos

El frijol ejotero es una planta propia de climas cálidos. Para establecer una germinación homogénea y normal necesita temperaturas superiores a los 14 °C (**Figura 19**). Su cero vegetativo se establece entre 8 y 10 °C, y las heladas, por ligeras que sean, afectan de modo ostensible a la planta. Temperaturas excesivamente altas (> 28-30°C), unidas a regímenes de humedad relativa bajos, pueden provocar la caída de flores, e incluso de vainas recién cuajadas. Las fluctuaciones climáticas bruscas, principalmente como descensos térmicos acusados, originan la formación de vainas retorcidas y de escaso desarrollo, anomalía conocida como vainas de "ganchillo", muy frecuente en el cultivo otoñal e invernal de esta planta.

El crecimiento del frijol ejotero se detiene entre 8 y 10 °C, consiguiéndose un desarrollo óptimo de entre 18 y 25 °C. La humedad relativa óptima del aire en el invernadero durante la primera fase de cultivo es de 60 a 65 %, y posteriormente entre 65 y 75 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. Es importante que se mantenga sin excesivas oscilaciones de humedad.



Figura 19. Cultivo de frijol ejotero establecido dentro de un huerto comercial.

Siembra y densidad de población

Este cultivo requiere siembra directa, la cama bien húmeda y aireada. La germinación es epígea y la emergencia ocurre a los 5 días (Figura 20). Durante la germinación y emergencia, un régimen de bajas temperaturas o un exceso de humedad en el suelo, puede retrasarlas. Se depositan las semillas a 20 cm entre hileras y entre plantas (Figura 21), constituyendo una densidad de 30 plantas·m⁻².

Cosecha

La primer cosecha se realiza a los 66 días y siete días después, la segunda, cortando desde el inicio del pedicelo.

Principales plagas y enfermedades

Entre las plagas que más atacan a este cultivo son: Araña roja (*Tetranychus urticae* (Koch), Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* (West), Trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande), Minadores de hoja (*Liriomyza trifolii* Burgess) Las enfermedades ocasionadas por el exceso de humedad es la *Botrytis cinerea* Pers., y Oídio (*Sphaerotheca fuliginea* (Schelecht) *Rhizoctonia solani* Kühn, Roya común de la judía (*Uromyces phaseoli*).



Figura 20. Emergencia de frijol ejotero en la cama de siembra.



Figura 21. Plantas de ejote en la cama de siembra dentro del huerto comercial.

4.3.2.6 Lechuga mantequilla

Nombre científico y origen

La lechuga es una planta anual y autógama, perteneciente a la familia *Compositae* y su nombre científico es *Lactuca sativa* L. El origen de la lechuga no está muy claro; sin embargo, *Lactuca scariola* L., se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas.

Características botánicas

Posee un sistema radicular profundo, poco ramificado. Sus hojas se disponen primeramente en roseta y después se aprietan unas junto a otras formando un cogollo (Figura 22) más o menos consistente y apretado en unas variedades que en otras. Sus hojas pueden ser de forma redondeada,



Figura 22. Cultivo de lechuga tipo mantequilla en un huerto comercial hidropónico

lanceolada o casi espatulada. La consistencia de las mismas puede ser correosa o blanduzca. El borde de los limbos foliares puede ser liso, ondulado o aserrado.

En estados vegetativos avanzados, el cogollo, o en su caso el manojo central de hojas, se abre para dar paso a un tallo cilíndrico y ramificado portado de hojas, así como de capítulos florales amarillentos en racimos o corimbos. Es una planta autógama cuyas semillas (frutos) son aquenios típicos, provistos de un vilano plumoso.

Variedades

Botánicamente se distinguen cuatro variedades:

1. *Lactuca sativa* var. *Longifolia* Lam., que engloba aquellos cultivares que, aprovechándose por sus hojas, éstas no forman un verdadero cogollo (Lechugas romanas y tipo Cos), siendo aquellas de forma generalmente aovada u oblonga.
2. *Lactuca sativa* var. *Capitata* L., que incluye los cultivares que forman un cogollo apretado de hojas. La forma de sus hojas suele ser ancha, orbicular, etc., (lechugas acogolladas).
3. *Lactuca sativa* var. *Yntibacea* Hort. Son lechugas que poseen las hojas sueltas y dispersas.

4. *Lactuca sativa* var. *augustana* Irish., Lechugas que se aprovechan por sus tallos (lechuga espárrago), sus hojas son puntiagudas y lanceoladas. Sólo se cultivan en China.

Las dos primeras son las de cultivo más extendido.

Requerimientos climáticos

En términos generales puede decirse que prefieren climas templados y húmedos. La temperatura óptima para germinación de la lechuga es de 25 °C. En término medio, la temperatura óptima de crecimiento de las lechugas oscila entre los 5 y 20 °C. La humedad relativa conveniente para la lechuga es de 60 a 80 %, aunque en determinados momentos agradece menos de 60 %.

Siembra, trasplante y densidad de población

Se realiza siembra en charolas colocando una semilla en cada cavidad a una profundidad de 0.5, la emergencia ocurre a los 3 días (Figura 23). El momento del trasplante es a los 30 dds a una densidad de población de 42 a 56 plantas·m⁻², dependiendo del tamaño o peso final que se requiera por pieza; ésta, se obtiene colocando las plantas a una distancia entre hilera y plantas de 15 cm.

Cosecha

La cosecha se realiza a los 20-40 días después del trasplante (ddt) según el peso final que se desee por pieza, como se observa en la Figura 24, dando un giro ligero a toda la planta para que se troce el tallo y las hojas salgan completas, o bien con el apoyo de un cuchillo.



Figura 23. Plantas de lechuga mantequilla en charolas de siembra.



Figura 24. Plantas de lechuga mantequilla en etapa de cosecha. 87

Principales plagas y enfermedades

Entre las plagas más comunes podemos citar a los trips (*Frankliniella occidentalis*), los minadores (*Liriomyza trifolii* y *Liriomyza huidobrensis*), la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), y los pulgones (*Myzus persicae*, *Macrosiphum solani* y *Narsonovia ribisnigri*). Las enfermedades como Antracnosis (*Marssonina panattoniana*), Botritis (*Botrytis cinerea*), Mildiu velloso (*Bremia lactucae*), Esclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*), septoriosis (*Septoria lactucae*), Virus del mosaico de la lechuga (LMV), son las más comunes, en este cultivo.

4.3.2.6.7 Rábano

Nombre científico y origen

Pertenece a la familia *Cruciferae*, el género y especie es *Raphanus sativus* L. Las variedades de rábanos de pequeño tamaño se originaron en la región mediterránea, mientras que los grandes rábanos pudieron originarse en Japón o China.

Características botánicas

Es una planta anual. Su raíz es gruesa, carnosa, muy variable en cuanto a la forma y al tamaño, de piel roja, rosada, blanca, pardo-oscura o manchada de diversos colores (Figura 25).

El tallo, es corto antes de la floración, con una roseta de hojas. Cuando florece, el tallo se alarga alcanzando una altura de 0.50 a 1 m, de color verdoso y algo pubescente.

Sus hojas son basales, pecioladas, glabras o con unos pocos pelos hirsutos, de lámina lobulada con 1-3 pares de segmentos laterales de borde irregularmente dentado; el segmento terminal es orbicular y más grande que los laterales; hojas caulinas escasas, pequeñas, oblongas, verdosas, algo pubescentes, menos lobuladas y dentadas que las basales.



Figura 25. Bulbos de rábano cultivados en el huerto comercial hidropónico.

Tiene flores dispuestas sobre pedicelos delgados, ascendentes, en racimos grandes y abiertos; sépalos erguidos; pétalos casi siempre blancos, a veces rosados o amarillentos, con nervios violáceos o púrpura; 6 estambres libres; estilo delgado con un estigma ligeramente lobulado.

El fruto es una silícula de 3-10 cm de longitud, esponjoso, indehisciente, con un pico largo. Semillas globosas o casi globosas, rosadas o castaño-claras, con un tinte amarillento; cada fruto contiene de 1 a 10 semillas incluidas en un tejido esponjoso.

Variedades

Las variedades se clasifican según el tamaño y la forma de la raíz.

- Raíces globulares: Redondas rosadas punta blanca (la más difundida), y redondas rojas.
- Raíces oblongas: Medio largas rosadas, medio largo rosadas de punta blanca.

Variedades de raíces grandes (rábanos): son de color negro, rosado, blanco.

En el mercado existe diversidad de variedades que se adaptan a las necesidades del productor según su mercado.

Requerimientos climáticos

Prefiere los climas templados, teniendo en cuenta que hay que proteger al cultivo durante las épocas de elevadas temperaturas.

El desarrollo vegetativo (Figura 26) tiene lugar entre los 6° C y los 30° C, el óptimo se encuentra entre 18-22° C. La helada se produce a -2° C.

Siembra y densidad de población

La siembra se realiza directamente en las camas, a una distancia entre hileras de 12 cm y entre plantas de 6 cm conformando una densidad de 126 plantas·m⁻². Si la semilla tiene las condiciones óptimas de temperatura (20-25° C) y humedad, la emergencia ocurre a los 4 dds (Figura 27).



Figura 26. Cultivo de rábano establecido en el huerto comercial.



Figura 27. Emergencia de plantas de rábano en la cama de siembra.

Cosecha

La recolección se realiza a los 30 dds, es de forma manual como se observa en la Figura 28 y únicamente se sacuden los bulbos y se limpian con un trapo en caso de que tengan exceso de sustrato.



Figura 28. Cosecha de rábano.

Principales plagas y enfermedades

En este caso debido al ciclo tan corto, es más común que se presenten fisiopatías que alguna plaga o enfermedad. En este caso el ahuecado o acorchado, que algunas veces se manifiesta, es debido a la sobre-maduración y el sabor picante es provocado por un exceso de calor durante el cultivo.

4.3.3 Plagas más comunes en hortalizas dentro de un huerto hidropónico

En invernadero son muy pocas las plagas que atacan a los cultivos debido a la protección de las mallas antiáfidos y dobles puertas. A continuación se describen algunas de las más comunes.

Gusano de alambre (*Agrotis lineatum*).

Es raro encontrarlos bajo invernadero. Son coleópteros cuyos adultos miden de 6 a 12 cm de longitud, son de color oscuro y de forma alargada. Las larvas son de color pardo dorado, con cierta semejanza a los ciempiés, de forma cilíndrica y cuerpo notablemente rígido y una longitud de 2 a 5 cm. Producen galerías en las raíces de las plantas, provocando heridas que más tarde son colonizadas por distintos hongos del suelo causando enfermedad.

Gusano Gris (*Agrotis segetum*)

El adulto es una polilla, pero el problema lo ocasionan las larvas (gusanos) que comen por la noche y durante el día permanecen enterradas en el suelo y enroscadas. Son larvas grandes, de 4 centímetros. Las mariposas ponen 1.500 huevos en la planta o en el suelo. Las larvas que salen son grises oscuras. El daño es que atacan el cuello de las plantitas (la base de los

tallos) y aparecen tronchadas, aunque también se pueden observar daños en tallos y raíces. Es una plaga polífaga, ataca a multitud de plantas cultivadas.

Mosca del betabel (*Pegomia betae* o *P. hyoscyami*)

Los adultos tienen la cabeza grisácea con una rayita roja en la parte frontal; los ojos son rosados y las patas amarillas. Las larvas tienen una longitud de unos 7 mm; son de cabeza gruesa, dividida por un hendidura; no tienen patas y son de color blancuzco. La ninfa es de forma oval y color rosado. Los huevos son de color blanco sucio, rugosos, de 1 mm de longitud. Los adultos vuelan desde finales de abril a principios de mayo. Las hembras ponen los huevos en el envés de las hojas. Después de la eclosión las larvas perforan la epidermis y penetran en el interior de los tejidos del limbo, haciendo galerías que pueden llegar a ocupar toda la superficie foliar. Hay dos o tres generaciones por año.

Falso medidor (*Trichoplusia ni* H)

Las hembras ovipositan aisladamente en el follaje, huevecillos aplanados, blancos y con una fina retícula, de los que emergen larvas verdes muy típicas por caminar como “medidores” sin carecer por completo de falsas patas. Se alimenta únicamente de follaje, aunque su voracidad es tal que cuando se presenta en poblaciones elevadas defolia por completo las plantas, provocando pérdidas mayúsculas. Sus hospederas favoritas son las

coles y todas las crucíferas, aunque ataca muchos otros cultivos en los que, en determinadas circunstancias, puede convertirse en un problema.

Pulguilla (*Chaetocnema tibialis*)

El adulto es un escarabajo de unos 2 mm de longitud, de forma oval, de color negro azulado y brillo metálico. Los daños son pequeños orificios redondeados de unos 2 mm de diámetro en las hojas.

Pulgón (*Aphis fabae*, *Aphis gossypii* y *Mysus* sp)

Estos insectos son más comunes y de aparición más probable en el interior del invernadero; se sitúan en el envés de las hojas provocando daños que pueden afectar a su comercialización. Son homópteros de especies diversas como, que producen abarquillamientos de hoja y debilitamiento de las plantas.

Cásida del betabel (*Cassida vittata* Villers)

Coleóptero, crisomélido cuyas larvas principalmente son grandes devoradoras de hojas, llegando a dejar éstas reducidas al esqueleto de sus nerviaciones. Se combaten con los mismos insecticidas que se han indicado anteriormente.

Gusanos blancos

Coleópteros escarabeidos de distintos géneros como *Anoxia* y *Metolontha* cuyas larvas dañan las raíces.

Orugas comedoras de hojas

Lepidópteros como la rosquilla negra (*Spodoptera littoralis* Boisd.), la gardama (*Laphygma exigua* Hb.), etc., se combaten con tratamientos clorpirifos, triclorfón, etc.

Escarabajo de la cebolla (*Lylyoderys merdigera*)

Las larvas son de color amarillo; los adultos son coleópteros de unos 7 mm de longitud, de color rojo cinabrio. Su aparición tiene lugar en primavera. La puesta se realiza en las hojas. El estado de ninfosis tiene lugar en el suelo, del cual sale el adulto. Presenta dos generaciones anuales.

Producen daños los escarabajos adultos perforando las hojas. Las larvas recortan bandas paralelas a los nervios de las hojas.

Mosca de la cebolla (*Hylemia antiqua*)

Las larvas miden 6-8 mm. Color gris-amarillento y con 5 líneas oscuras sobre el tórax. Alas amarillentas. Patas y antenas negras. Avivan a los 20-25 días. Ponen unos 150 huevos. Inverna en el suelo en estado pupario. La ovoposición comienza a los 15-20 días después de su aparición. Ataca a las flores y órganos verdes. El ápice de la hoja palidece y después muere.

Trips (*Thrips tabaci*)

En veranos cálidos y secos es frecuente la invasión que puede proliferar y producir notables daños. Las picaduras de las larvas y adultos terminan por amarillear y secar las hojas. La planta puede llegar a marchitarse si se produce un ataque intenso, sobre todo si éste tiene lugar en las primeras fases de desarrollo de las plantas.

Polilla de la cebolla (*Acrolepia assectella*)

Es una mariposa de 15 mm de envergadura. Sus alas anteriores son de color azul oliváceo más o menos oscuro y salpicadas de pequeñas escamas amarillo ocre; las alas posteriores son grisáceas. Las larvas son amarillas de cabeza parda, de 15 a 18 mm de largo. Causan daños al penetrar las orugas por el interior de las vainas de las hojas hasta el cogollo. Se para el desarrollo de las plantas, amarillean las hojas y puede terminar pudriéndose la planta, ya que puede dar lugar a infecciones secundarias causadas por hongos.

Nemátodos (*Dytolenchus dipsaci*)

Las plantas pueden ser atacadas en cualquier estado de desarrollo, aunque principalmente en tejidos jóvenes. Las plántulas detienen su crecimiento, se curvan y pierden color. Se producen algunas hinchazones y la epidermis puede llegar a rajarse. En bulbos algo más desarrollados el tejido se reblandece en las proximidades de la parte superior.

Araña roja (*Tetranychus urticae* Koch)

Se desarrolla en el envés de las hojas causando decoloraciones, punteaduras o manchas amarillentas que pueden apreciarse en el haz como primeros síntomas. Con mayores poblaciones se produce desecación o incluso defoliación. Los ataques más graves se producen en los primeros estados fenológicos. Las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa favorecen el desarrollo de la plaga. En judía y sandía con niveles altos de plaga pueden producirse daños en los frutos.

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* West)

Los daños directos amarillamiento y debilitamiento de las plantas son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, absorbiendo la savia de las hojas. Los daños indirectos se deben a la proliferación de negrilla sobre la melaza producida en la alimentación, manchando y depreciando los frutos y

dificultando el normal desarrollo de las plantas. Ambos tipos de daños se convierten en importantes cuando los niveles de población son altos.

Minadores de hoja (*Liriomyza trifolii* (Burgess))

Las hembras adultas realizan las puestas dentro del tejido de las hojas jóvenes, donde comienza a desarrollarse una larva que se alimenta del parénquima, ocasionando las típicas galerías. La forma de las galerías es diferente, aunque no siempre distinguible, entre especies y cultivos. Una vez finalizado el desarrollo larvario, las larvas salen de las hojas para pupar, en el suelo o en las hojas, para dar lugar posteriormente a los adultos.

4.3.4 Enfermedades fungosas más comunes en el huerto

Viruela de la acelga (*Cercospora beticola*)

En las hojas aparecen pequeñas manchas redondeadas de unos 3 mm de diámetro; al principio el centro de la mancha es grisáceo, después se forman unos puntitos negros. Toda la superficie de las hojas puede quedar cubierta por las manchas que se van secando. Para su control realizar tratamientos con oxiclورو de cobre, zineb, benomilo, caldo bordelés, etc.

Mildiú (*Peronospora schatii*; *Peronospora farinosa*; *Peronospora spinaciae*).

Las hojas centrales presentan color más claro, deformándose, aparecen más o menos rizadas. El envés queda cubierto por un moho gris o violáceo de aspecto aterciopelado. Es más común en la espinaca pero eventualmente ataca a la acelga. Tratamiento con zineb, diclofluanida, maneb, etc., cuando aparezcan los primeros síntomas.

Botritis (*Botrytis squamosa*)

Manchas de color blanco-amarillo que se manifiestan por toda la hoja. Cuando el ataque es severo se produce necrosis foliar. Ocurre en condiciones de humedad.

Alternaria (*Alternaria porri*)

Suele aparecer, en un principio, como lesiones blanquecinas de la hoja que, casi de inmediato, se vuelven de color marrón. Cuando ocurre la esporulación, las lesiones adquieren una tonalidad púrpura. Los bulbos suelen inocularse estando próximos a la recolección cuando el hongo penetra a través de cualquier herida.

Sclerotinia (*Sclerotinia libertiana*)

El micelio se desarrolla en los tejidos, produciendo un moho blancuzco en el que se observan los esclerocios. En las raíces aparecen manchas grandes que al final se reblandecen, pudriéndose. Para su control se aconseja una desinfección del suelo antes de la plantación mediante metil-tiofanato + maneb, vinclozolina.

Podredumbre blanca (*Sclerotium cepivorum*)

Fieltro blanco algodonoso que ostenta a veces pequeños esclerocios en la superficie de los bulbos. Los ataques se sitúan en el momento en que brotan las plantas o bien al aproximarse la recolección. Las hojas llegan a presentar un color amarillo llegando a morir posteriormente.

Ceniza u oídio (*Sphaerotheca fuliginea*)

Los síntomas que se observan son manchas pulverulentas de color blanco en la superficie de las hojas (haz y envés) que van cubriendo todo el aparato vegetativo llegando a invadir la hoja entera, también afecta a tallos y pecíolos e incluso frutos en ataques muy fuertes. Las hojas y tallos atacados se vuelven de color amarillento y se secan

Podredumbre gris (*Botryotinia fuckeliana*)

En plántulas produce Damping-off. En hojas y flores se producen lesiones pardas. En frutos se produce una podredumbre blanda (más o menos acuosa, según el tejido), en los que se observa el micelio gris del hongo

Podredumbres de cuello y/o raíces (*Phytophthora* spp. y *Pythium* sp.)

Provocan enfermedades tanto en siembras como en trasplantes de los distintos cultivos hortícolas. En plántulas provocan en la parte aérea marchitamientos y desecaciones acompañados o no de amarillamientos. La planta se colapsa y cae sobre el sustrato. Al observar el cuello se encuentran estrangulamientos y podredumbres, y en las raíces, podredumbres y pérdidas de éstas.

***Rhizoctonia solani* Kühn**

En ejote produce chancro rojizo en hipocotilo y podredumbres de raíces en plántulas, provocando la marchitez y muerte de éstas. En otros casos los chancros cicatrizan y la planta sobrevive con la consiguiente disminución del crecimiento y de su producción.

Roya común de la judía (*Uromyces phaseoli*)

Se manifiesta por manchas amarillentas en el haz de las hojas que se corresponden en el envés con manchas pardas. El ataque puede afectar también a las vainas.

5. CONCLUSIONES

1. Las densidades de población que resultaron con mayor rendimiento de los cultivos del huerto comercial hidropónico son: acelga 30, betabel 56, cebolla cambray 198, cilantro 1925, frijol ejotero 30, lechuga mantequilla 56 y rábano 126 plantas/m², respectivamente.
2. El rendimiento y calidad de las distintas especies evaluadas no se vieron disminuidos cuando la concentración de la solución nutritiva se manejó a 75 % de una solución completa. Esta concentración se obtiene aplicando los siguientes nutrimentos (mg/L): N = 112; P = 30; K = 150; Ca = 120; Mg = 22; S = 110 a 187; Fe = 1.5; Mn = 0.7; B = 0.3; Cu = 0.01; Zn = 0.01.
3. De los resultados obtenidos en el presente trabajo, complementado con una revisión bibliográfica, se elaboraron fichas técnicas para el proceso de producción de cada cultivo, que pueden ser aplicadas en el manejo de un huerto comercial hidropónico.

6. LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G. y Sandoval V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial Núm. 10. SMCS. Chapingo, México. 150 p.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. *In*: Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. C. A. BLACK (ed.). American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, U. S. A. pp 208-211.
- Castellanos, J. Z. y Borbón M., C. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México, *In*: Manual de producción de tomate en invernadero. Javier Z. Castellanos (ed.). pp. 1-18.
- Cantwell, M. 2010. Página electrónica:
<http://postharvest.ucdavis.edu/index.html> September 7, 2010.
- Daiss, N. M.; Lobo, G.; Socorro, A. R.; Bruckner, U.; Heller, J. and González, M. 2008. The effect of three organic pre-harvest treatments on Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla* L.) quality. Eur. Food Res. Technol. 226: 345–353.
- Derolez, J. and Vulsteke G. 1985. Accumulation of nitrate: a cultivar-linked property with celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*). Qual. Plant. Foods Hum. Nutr. 35: 375-378.

Diario Oficial de la Federación. 1982. Norma Oficial NMX-FF-044-1982 Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Hortalizas en estado fresco. Acelga. Normas Mexicanas. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

Janick, J.; Schery, R. W.; Woods, F. W. and Ruttan, V. W. 1981. Plant Science. An Introduction to World Crops. 3rd ed. W. H. Freeman and Company. New York, USA. 868 p.

Jones, J. B., Jr.; Wolf, B. and Mills, H. A. 1991. Book Plant Analysis Handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. 213 p.

Kostewick, S. R. 1981. Bush Snap Bean Yields as Influenced by Row Spacing and Weed Population. Proc. Fla. State Hort. Soc. 94:127-129.

Lipinski, V. M.; Gaviola, S. and Gaviola, J.C. 2002. Effect of plant density on yield of onions cv. Cobriza INTA with drip irrigation. Agric. Téc. 62 (4): 574-582.

Mack, H. J. and Varseveld, G. W. 1982. Response of bush snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to irrigation and plant density. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:286-290.

Maroto B., J. V. 1989. Horticultura herbácea especial. 3ra edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 566 p.

Martinac, V. and Borosic, J. 1986. The Effect of Plant Density on the Lettuce Yields Growing in the Glasshouse. Acta Hort. 176:125-131.

Mills, H. A. and Benton, J. Jr. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro Macro Publishing, Inc. 213 p.

Ortiz-Cereceres, J.; Sánchez-Del Castillo, F.; Mendoza-Castillo, M. C y Torres-García, A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. Rev. Fitotecnia Mexicana. Vol. 32 (4):289-294.

Rapaccioli, G. L.; Fernandez, N. N. y Aguirre, C. M. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada y densidad de siembra en lechuga (*Lactuca sativa*) en suelos arenosos de Corrientes. Instituto Agrotécnico “Pedro Fuentes Godo” - Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE. Argentina. pp 101-104.

Reséndiz M., R. C. 2010. Evaluación agronómica de variedades de chile morrón manejadas con diferentes tipos de poda y densidades de población. Tesis Doctoral. Instituto de Horticultura. UACH, Chapingo, Edo. de México. 99 p.

Russo, V. M. 2008. Plant density and nitrogen fertilizer rate on yield and nutrient content of onion developed from greenhouse-grown transplants. HortScience 43:1759-1764.

Rumpel, J. and Felczynski, K. 2000. Effect of plant density on yield and bulb size of direct sown onions. Acta Hort. (ISHS) 533:179-186.

SAGARPA. 2002. Anuario Estadístico. Dirección de Estadística y Cálculo de México.

SAGARPA, 2010. Página electrónica: <http://www.sagarpa.gob.mx>

- Salerno, A.; Pierandrei, F.; Rea, E., Colla, G., Rouphae and Saccardo F., F. 2005. Floating system cultivation of radish (*Raphanus sativus* L.): production and quality. Acta Hort. (ISHS) 697:87-92.
- Sánchez-Del C. F.; Ortiz C., J.; Mendoza C., M.C.; González H., V. A.; y Colinas L., M. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo apto para un ambiente no restrictivo. Agrociencia. 33: 21-29.
- Sánchez Del C., F.; Escalante R., E. R. 1988. Un sistema de producción de plantas hidroponía principios y métodos de cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. 3ra Ed. México.194 p.
- SAS. 1998. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, South Central Agricultural Research Laboratory, 911 Highway 3W, Lane, OK 74555, United States.
- Vásquez S., A. 2008. Evaluación de cinco especies olerícolas para huerto comercial hidropónico. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. México.130 p.
- Weston, G., 1982. The effects of crowding, daminozide and red to far red ratios of light on the growth of radish (*Raphanus sativus* L.) J. Hort.I Sci. 57, 373-6.