

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

F
Tesis
3084
C.2

EVALUACIÓN DE CINCO ESPECIES OLERÍCOLAS PARA HUERTO COMERCIAL HIDROPÓNICO



TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

AGUEDA VÁSQUEZ SOSA



CHAPINGO, MÉXICO. NOVIEMBRE, 2008



BIBLIOTECA

EVALUACIÓN DE CINCO ESPECIES OLERÍCOLAS PARA HUERTO COMERCIAL HIDROPÓNICO

Tesis realizada por **Agueda Vásquez Sosa** bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



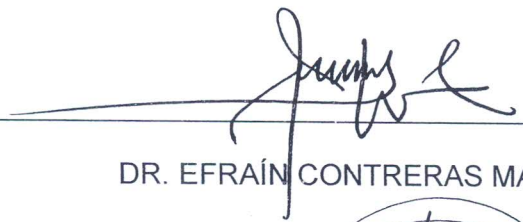
MC. DOMINGO MONTALVO HERNÁNDEZ

ASESOR:



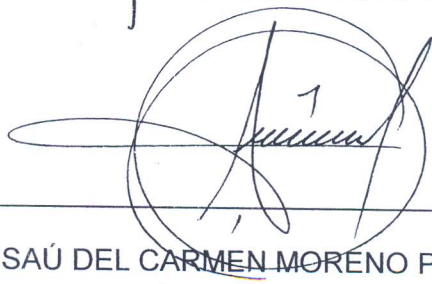
DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO

ASESOR:



DR. EFRAÍN CONTRERAS MAGAÑA

ASESOR:



DR. ESAÚ DEL CARMEN MORENO PÉREZ

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por presentarme una oportunidad de superación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico brindado durante el desarrollo de mis estudios.

Al Comité Asesor de este trabajo, por sus comentarios y recomendaciones para el desarrollo del proyecto y la redacción de la tesis.

A los Laboratorios de Ecología y Nutrición de frutales, así como a los técnicos de laboratorio Sr. Víctor, Sr. Gumaro y Don Toño, por su colaboración y ayuda en los trabajos de análisis de tejido vegetal.

A los alumnos chapingueros, por su ayuda durante las labores de construcción e instalación de los invernaderos y la fase experimental.

A mis amigos y compañeros Carolina, Lulú, Ma. Luisa, Martín, Porfirio, Reynaldo y Samuel por su ayuda durante el desarrollo de la maestría y por su amistad.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nacida en la ciudad de Oaxaca y traída desde pequeña a la Ciudad de México, realicé mis estudios en el oriente de la Ciudad de México. Graduada como Bióloga por la Universidad Autónoma Metropolitana en el año 2000, comencé a ejercer mi profesión en la Comisión de Recursos Naturales realizando prospecciones en Áreas Naturales Protegidas. Más tarde conformé parte de un grupo de investigación en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México, enfocado a la producción de formulaciones de hongos entomopatógenos para el control de plagas agrícolas. Posteriormente desempeñe el cargo de Asesor Ambiental en una empresa privada dedicada a la Consultoría Ambiental. Dentro de la Universidad Autónoma Chapingo, realicé estudios a nivel Maestría en el Posgrado de Horticultura del Departamento de Fitotecnia durante el periodo 2006-2007.

EVALUACIÓN DE CINCO ESPECIES OLERÍCOLAS PARA UN HUERTO COMERCIAL HIDROPÓNICO

EVALUATION OF FIVE HORTICULTURAL ESPECIES FOR A COMMERCIAL HYDROPONIC GARDEN

Águeda Vázquez Sosa¹ y Domingo Montalvo Hernández²

RESUMEN

Debido a la necesidad de generar opciones tecnológicas dirigidas a sistemas de producción en invernaderos de baja capacidad de inversión para dar atención a la población rural de escasos recursos, fue desarrollado un paquete tecnológico en sistema hidropónico con cinco hortalizas que permiten la producción para el autoconsumo y excedentes para la comercialización, evaluándose los factores densidad de plantación y concentraciones de solución nutritiva.

La densidad de plantación que presentó el mayor rendimiento por unidad de superficie para cada cultivo fue: brócoli 14, chícharo 125, col 17, espinaca 100 y lechuga de cabeza y orejona 16 plantas/m² respectivamente. Todos los cultivos tuvieron el mayor rendimiento con la solución nutritiva al 75 % de concentración.

En términos de rentabilidad, los cultivos representaron el siguiente ingreso: chícharo 39.56, col 154.98, espinaca 663.35, brócoli 11.69, lechuga orejona 364.12 y lechuga de cabeza 209.99 pesos/m² útil anual respectivamente.

Palabras clave: Hortalizas, densidad de plantación, solución nutritiva, rentabilidad.

ABSTRACT

Due to the need to generate technological options directed to systems of production in greenhouses of low capacity of investment for give attention to the rural population of lower resources, a technological set was developed an hidroponic system with five vegetables that allow the production for personal consumption and surpluses for the commercialization, evaluating plantation density and concentrations of nutrient solution.

The plantation density presented the biggest yield per surface for every cultivation was: broccoli 14, pea 125, cabbage 17, spinach 100, head lettuce and romaine lettuce 16 plantas/m² respectively. All cultivation get higher yield with 75 % nutrient solution.

In profitability terms, the vegetables represented the following entry: pea 39.56, cabbage 154.98, spinach 663.35, broccoli 11.69, romaine lettuce 364.12 and head lettuce 209.99 pesos/m² useful annual respectively.

Key words: Vegetables, plantation densities, nutrient solution, profitability.

1 Tesista
2 Director

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES	16
3. HIPÓTESIS	17
4. REVISIÓN DE LITERATURA	18
4.1. CONCEPTO DEL HUERTO	18
4.2. INVERNADEROS E HIDROPONÍA	21
4.3. FACTORES AMBIENTALES Y RENDIMIENTO	23
4.4. NUTRICIÓN VEGETAL	25
4.5. Macronutrientes	29
4.5.1. Nitrógeno	29
4.5.2. Fósforo	29
4.5.3. Potasio	30
4.5.4. Calcio	30
4.5.5. Magnesio	31
4.5.6. Azufre	31
4.6. Micronutrientes	32

4.6.1. Hierro	32
4.6.2. Manganeseo	32
4.6.3. Zinc	32
4.6.4. Cobre	33
4.6.5. Boro	33
4.6.6. Molibdeno	33
4.6.7. Cloro	34
4.7. METABOLISMO DEL NITRÓGENO	34
5. MATERIALES Y MÉTODOS	39
5.1. EXPERIMENTO 1. EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA	39
5.1.1. Localización del sitio experimental	39
5.1.2. Infraestructura	39
5.1.3. Material vegetal	41
5.1.4. Diseño experimental	42
5.1.5. Conducción del experimento	43
A) Brócoli	43
B) Chícharo	45
C) Col	46
D) Espinaca	47
E) Lechuga	48
5.2. EXPERIMENTO 2. EVALUACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS	49
5.2.1. Diseño experimental	51
5.2.2. Conducción del experimento	51
5.2.3. Variables evaluadas	55

A) Brócoli	55
B) Chicharo	55
C) Col	56
D) Espinaca	57
E) Lechuga de cabeza	57
F) Lechuga orejona	58
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..	59
6.1. EXPERIMENTO 1. EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA	59
6.1.1. Cultivo de brócoli	59
6.1.2. Cultivo de chicharo	63
6.1.3. Cultivo de col	65
6.1.4. Cultivo de espinaca	69
6.1.5. Cultivo de lechuga de cabeza	72
6.1.6. Cultivo de lechuga orejona	74
6.2. EXPERIMENTO 2. EVALUACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS	76
6.2.1. ANÁLISIS DE RENDIMIENTO PARA TODOS LOS CULTIVOS	76
6.2.2. ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL	78
6.2.3. ANÁLISIS DE NITRATOS	83
6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO	88
7. CONCLUSIONES	95
8. LITERATURA CITADA	97
ANEXO II	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Rangos de suficiencia de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) de especies de hortalizas.	28
Cuadro 2.	Contenido de nitratos en col, brócoli y chícharo cultivados en diversas partes del mundo.	37
Cuadro 3.	Límites permisibles de contenido de nitratos propuestos por la Unión Europea y el Ministerio de Agricultura en el Reino Unido para hortalizas de hoja.	38
Cuadro 4.	Fórmula para la preparación de solución nutritiva aplicada durante el experimento.	40
Cuadro 5.	Temperaturas promedio (mínima y máxima) registradas dentro del invernadero durante los meses de septiembre 2006 a enero 2007.	40
Cuadro 6.	Especies de hortaliza utilizadas para el experimento.	41
Cuadro 7.	Tratamientos utilizados para evaluar el efecto de la densidad sobre el rendimiento en cinco cultivos de hortalizas.	42

Cuadro 8.	Temperatura y humedad relativa promedio (mínima y máxima) registrada dentro del invernadero durante los meses de julio a noviembre de 2007.	50
Cuadro 9.	Fórmula para la preparación de tres concentraciones de solución nutritiva empleadas durante el experimento.	52
Cuadro 10.	Fórmula para la solución nutritiva sin nitrato evaluada en las hortalizas de hoja durante el desarrollo del experimento.	53
Cuadro 11.	Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para brócoli.	59
Cuadro 12.	Comparación de medias de las variables área foliar estimada, materia fresca de hojas, número de ramillas de la inflorescencia y diámetro de inflorescencia evaluadas bajo tres densidades de siembra para brócoli.	60
Cuadro 13.	Comparación de medias del porcentajes de incidencia para variables de calidad evaluadas en el cultivo de brócoli.	61
Cuadro 14.	Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para chícharo.	64
Cuadro 15.	Comparación de medias para el número de granos llenos, vacíos, vainas/planta y vainas/m ² evaluadas en chícharo bajo tres densidades de siembra.	64
Cuadro 16.	Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables medidas para el cultivo de col.	65

Cuadro 17.	Comparación de medias de las variables área foliar estimada, peso de “cabeza”, diámetro de “cabeza” y materia fresca de hojas evaluadas bajo tres densidades de siembra para brócoli.	66
Cuadro 18.	Comparación de medias del porcentaje de incidencia de variables cualitativas en el cultivo de “cabeza” de col.	67
Cuadro 19.	Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para espinaca.	69
Cuadro 20.	Comparación de medias de las variables número de hojas grandes, materia seca de raíz y longitud de peciolo evaluadas bajo tres densidades de siembra para espinaca.	70
Cuadro 21.	Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para lechuga de cabeza.	72
Cuadro 22.	Comparación de medias de las variables diámetro de cabeza (DC), peso de “cabeza”/planta (PCP), peso de “cabeza”/m ² (PCM ²) y cabeza compacta evaluadas bajo tres densidades de siembra para lechuga de cabeza.	72
Cuadro 23.	Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para lechuga orejona.	74
Cuadro 24.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de rendimiento de cinco cultivos olerícolas.	76
Cuadro 25.	Comparación de medias de la variable de rendimiento para los seis cultivos evaluados.	76

Cuadro 26.	Comparación de medias de contenido de P, K, Ca, Mg y N en tres concentraciones de solución nutritiva para brócoli, chícharo, col (hojas fotosintéticas y “cabeza”).	79
Cuadro 27.	Comparación de medias de contenido de P, K, Ca, Mg y N en cuatro concentraciones de solución nutritiva para espinaca.	79
Cuadro 28.	Cuadrados medios del análisis de varianza en contenido de P, K, Ca, Mg y N para tejido vegetal de lechuga de cabeza y lechuga orejona.	80
Cuadro 29.	Comparación de medias de contenido de P, K, Ca, Mg y N en tres concentraciones de solución nutritiva para lechuga de cabeza y lechuga orejona.	81
Cuadro 30.	Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de NO_3 en espinaca, lechuga de cabeza y lechuga orejona.	83
Cuadro 31.	Comparación de medias de contenido de NO_3 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en espinaca, lechuga de cabeza y lechuga orejona para cuatro concentraciones de solución nutritiva.	84
Cuadro 32.	Comparación de medias de contenido de NO_3 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en tres soluciones nutritivas para col, brócoli y chícharo.	87
Cuadro 33.	Costos de instalación de invernadero considerando depreciación de materiales.	88

Cuadro 34.	Rendimiento e ingreso bruto obtenido para los cultivos de brócoli, col, espinaca, chícharo y lechuga por metro cuadrado útil anual.	89
Cuadro 35.	Costos de operación por metro cuadrado útil anual obtenido para brócoli, espinaca, col, chícharo y lechuga.	89
Cuadro 36.	Rentabilidad de cultivo obtenida para los cultivos de brócoli, col, espinaca, chícharo y lechuga por metro cuadrado útil anual.	90
Cuadro 37.	Análisis de sensibilidad para chícharo, col, espinaca, brócoli y lechuga con base al precio de venta.	92
Cuadro 38.	Análisis de sensibilidad para chícharo, col, espinaca, brócoli y lechuga con base al rendimiento.	92
Cuadro 39.	Ingreso neto anual calculado para un invernadero de 1000 m ² manejado con cuatro cultivos hortícolas: col, chícharo, espinaca y lechuga.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Vías de asimilación de nitrato y nitrito y sus posibles efectos tóxicos.	37
Figura 2.	Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de brócoli.	63
Figura 3.	Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de chícharo.	65
Figura 4.	Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de col.	68
Figura 5.	Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de espinaca.	71
Figura 6.	Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de lechuga orejona.	75

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al diagnóstico sectorial la tierra cultivable per cápita decreció de 0.75 ha en 1960 a 0.34 ha en 2002 y para el 2010 se espera sea de 0.25 ha. De las 3.8 unidades de producción rural, 54% son menores de 5 ha y de este el 30% menor de 2 ha (Sagarpa, 2002).

En general la economía campesina, se ha caracterizado por la producción destinada al consumo familiar, se basa en el trabajo de hombres, mujeres y niños, y en muchas ocasiones se utilizan los patios de las casas o pequeños terrenos para la siembra de especies de hortalizas que a lo largo del año proveen de alimento a la familia. Plantas como haba, espinaca, papas, berenjena, tomate, rábanos, guisantes, lechuga, hinojo, zanahoria, alcachofa, calabaza, pepino, melón, sandía, pimiento, nabo, coliflor, col, acelga, betabel, espárrago, apio, ajo, cebolla, entre otros, han sido los cultivos recurrentes.

En la actualidad se sabe que las verduras aportan cantidades importantes de minerales y vitaminas necesarios para una buena alimentación y cuya producción está sujeta a estándares de calidad y sanidad que permiten su comercialización de acuerdo a la demanda de los mercados.

Por otro lado, se han desarrollado técnicas agrícolas como la hidroponía, que incrementan la productividad de los cultivos, al modificar las condiciones ambientales que las plantas requieren. Esta es una técnica de cultivo intensiva

que se puede usar en pequeñas superficies prescindiendo del suelo y que permite el incremento de la densidad de siembra y cuando se conjuga con la utilización de invernaderos, los requerimientos de luz, humedad, temperatura y aporte de nutrientes pueden ser controlados para incrementar los rendimientos por unidad de superficie manejada hasta en ocho veces el rendimiento convencional. Por otra parte, esta técnica de cultivo permite poco gasto de agua y al mismo tiempo productos frescos, limpios y con escasa aplicación de agroquímicos.

El manejo de la densidad de plantación y la concentración de la solución nutritiva son dos factores que modifican también la rentabilidad de los cultivos, ya que últimamente el precio de las semillas y de los fertilizantes se han incrementado considerablemente. Las semillas por ser de importación se cotizan en dólares y los fertilizantes han subido en promedio el doble de su valor. Esta propuesta tiene como meta, construir un paquete tecnológico de huerto comercial hidropónico, como una opción técnica para los productores que permita la producción de autoconsumo y excedentes para comercialización, en invernaderos de baja capacidad de inversión y para áreas no tan extensas, ya sea del medio rural o urbano.

1. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Generar información técnica para la creación de un paquete tecnológico de huerto comercial hidropónico para pequeñas superficies de producción en invernaderos poco tecnificados, a fin de proveer de alimentos al núcleo familiar y excedentes para comercialización y obtención de ingresos.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Definir la densidad de siembra óptima para el cultivo de brócoli, chícharo, col, espinaca y lechuga.
2. Evaluar tres concentraciones de solución nutritiva para determinar su efecto sobre el rendimiento de brócoli, chícharo, col, espinaca y lechuga.
3. Evaluar una solución nutritiva libre de nitratos con el fin de establecer si los tejidos de interés presentan niveles de nitrato óptimos para el consumo humano.
4. Realizar un estudio económico de las cinco especies olerícolas a fin de conocer su rentabilidad para un sistema hidropónico en invernadero a nivel comercial.
5. Elaborar una guía técnica de producción de cada una de las especies manejadas para el sistema de huerto hidropónico.

3. HIPÓTESIS

Al manipular la densidad de siembra se obtiene rendimiento diferencial en los cultivos, ya que el factor de competencia en el aprovechamiento de agua, nutrientes y factores ambientales entre plantas, provoca cambios en la estructura del crecimiento que favorecen un mayor o menor rendimiento.

Cuando se cambia la concentración de elementos en la solución nutritiva, se modifican los niveles de nutrientes disponibles en la absorción de las plantas, de tal forma que los rendimientos pueden aumentar o disminuir si esta concentración se aleja del rango de suficiencia del cultivo.

La eliminación de la fuente de nitratos en la solución nutritiva puede modificar su concentración en forma iónica en los tejidos de la planta.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. CONCEPTO DEL HUERTO

El huerto, es la pequeña superficie donde se cultivan numerosas plantas destinadas al consumo inmediato en el ámbito familiar (Gorini, 1997) y de acuerdo al espacio disponible puede establecerse en macetas, balcones, terrazas o patios, aunque un espacio de 100 m² de terreno es adecuado para cultivar verduras para el consumo de una persona durante todo el año (Boffelli-Guido, 2003).

Dada la necesidad de obtener mayores rendimientos por unidad de superficie en los cultivos debido al incremento de población en nuestro país, que genera creciente demanda de alimentos y la urgencia de crear opciones de trabajo para los productores del campo, se ha estudiado la opción de retomar el esquema de los huertos tradicionales con la premisa de la producción diversificada de cultivos de alto valor comercial que permitirán cubrir las necesidades de un núcleo familiar y obtener excedentes para comercialización que proporcionen ingreso para la subsistencia diaria.

El Huerto Comercial Hidropónico se define como un sistema o paquete tecnológico de producción en hidroponía bajo invernadero donde se cultivan al mismo tiempo, dentro de uno o dos pequeños invernaderos (500 a 2000 m²) con una misma solución nutritiva, diversas especies de hortalizas, sembrando y cosechando de manera intermitente para tener producción continua durante todo el año (Sánchez y Muñiz, 2008).

Los mismos autores señalan que las ventajas que este sistema representa son:

1) Producción programada y continua de diversas hortalizas que pueden venderse de forma semanal o quincenal en mercados locales a precios de consumidor final; 2) Alto rendimiento por unidad de superficie con excelente calidad y frescura de producto; 3) Sanidad de producción al evitar la entrada de insectos y manejo integrado a base de productos prácticamente inocuos que eviten enfermedades en los cultivos; 4) Muchas especies de hortalizas manejadas en este sistema pueden producir todo el año en localidades con climas no extremosos y una porción de localidades donde el clima es extremoso una parte del año; 5) Al contar con diversificación de productos se tiene estabilidad de ingresos pues la variación del precio de una hortaliza se compensa por el aumento de otra; 6) Utilización de especies de porte bajo favorecen la disminución del costo de la estructura del invernadero que no requiere soportar grandes cargas para tutorar las plantas sembradas; 7) Manejo de labores culturales en ciertas especies como podas y despuntes tempranos que favorecen alta densidad de plantas por superficie y más ciclos de cultivo por año; 8) Incorporación de personas con capacidades diferentes al proceso de producción, porque las labores que en este se desarrollan son sencillas y de fácil comprensión, siempre que se adecuen los espacios a sus necesidades particulares: pasillos para entrada de sillas de ruedas por ejemplo; 9) El huerto se planea con las especies más redituables para la localidad donde se establezca; puede incluir también flores de corte, plantas ornamentales y/o especias. Se acomodan los productos en mercados locales: tianguis, mercados sobre ruedas, recauderías, misceláneas, reparto a domicilio, comedores,

restaurantes y hoteles, etc.; 10) El sistema de cultivo es relativamente fácil de aprender y manejar al usarse una sola solución nutritiva, un mismo sustrato y un mismo sistema de riego para todas las especies.

La infraestructura requerida para este sistema incluye un invernadero diseñado agronómicamente para los cultivos que han de sembrarse (lechuga, espinaca, col, betabel, cilantro, acelga, chícharo, fresa, jitomate, pepino, chiles, frijol ejotero, verdolaga, etc.), con superficie de 500 a 1000 m², con la ventaja de ser plantas de porte bajo que permiten un invernadero de baja altura (3.5 a 4 m a la cumbrera); sustratos como la arena de tezontle rojo, tepezil o arena de río tienen larga vida útil y bajo costo, además de permitir adecuado balance de humedad y oxigenación para las raíces; los contenedores sugeridos son camas de siembra de aproximadamente 1m de ancho y con drenaje libre, constituidas por grava de tezontle en la parte inferior (aproximadamente 8 cm) y rellenas con arena de tezontle (22 cm aproximadamente) con paredes laterales que pueden ser de diversos materiales (tabique, madera cubierta con plástico en el interior, lámina, malla gallinera, polietileno, etc.); pasillos cubiertos con ground cover o cemento para evitar la presencia de malezas y la fácil limpieza de los mismos; solución nutritiva utilizada para el riego de todas las plantas en las diferentes camas de cultivo, preparada en una cisterna y aplicada mediante el sistema de riego con manguera rígida y goteros integrados. Finalmente la demanda del mercado definirá los cultivos que han de cultivarse en el invernadero, aunque de forma experimental y comercial se ha tenido buenos resultados económicos produciendo acelga, betabel, cilantro, espinaca, lechuga europea o tipo Boston,

cebolla cambray, col, rábano, verdolaga, jitomate, pepino americano, pepino europeo, chile pimienta, chile jalapeño, también pueden considerarse en ciertos mercados o épocas del año fresa, apio, nabo, brócoli, colinabo, calabacita, chile manzano y chile habanero (Sánchez y Muñiz, 2008).

La planeación del huerto se lleva a cabo considerando las especies a producir y su cantidad de forma semanal o quincenal, para ajustar la superficie disponible o planear su construcción; el diseño de un esquema ayudará de forma visual para las labores de siembras, trasplantes y cosechas. Una vez planificado el huerto se procede a su establecimiento y manejo considerando apegarse lo más posible al programa del huerto diseñado inicialmente y modificándolo de forma inmediata cuando por razones de mercado se supriman especies de cultivo o se aumente superficie para otros cultivos (Sánchez y Muñiz, 2008).

4.2. INVERNADEROS E HIDROPONIA

Un invernadero puede definirse como una estructura que provee condiciones ideales para el satisfactorio crecimiento de las plantas y producción a través del año; el ambiente interno del invernadero es modificado para los factores de crecimiento como luz, temperatura, humedad y composición del aire y son controlados para obtener niveles óptimos a través del periodo de cultivo, incrementando varias veces la productividad. El cultivo en invernadero puede servir como una solución viable que facilite la producción de cultivos fuera de

temporada protegiéndolos de condiciones desfavorables para cubrir la amplia demanda de producción (Tiwari, 2003).

La elección de un tipo de invernadero se hace basado en aspectos técnicos: exigencias climáticas del cultivo, características climáticas de la zona donde se construye, mercado y comercialización de productos y la disponibilidad de mano de obra. El material de cobertura y la forma del invernadero son los dos principales aspectos constructivos que deben considerarse en el diseño del invernadero para crear el clima necesario para la especie que se requiere cultivar (Matalla y Montero, 2001).

Estas instalaciones están formadas por una estructura o armazón ligero (metálico, madera, hormigón, etc) sobre la que se asienta una cubierta de material transparente (polietileno, copolímero EVA, policarbonato, policloruro de vinilo, poliéster, cristal, etc.) con ventanas frontales y cenitales y puertas para el servicio del invernadero; han sido utilizados para producción de flores, hortalizas y ornamentales. Las principales ventajas de producción en invernadero son: cultivar fuera de época y conseguir mayor precocidad, disminuir el tiempo de los ciclos vegetativos de las plantas permitiendo obtener mayor número de cosechas por año, aumento de producción, obtención de mejor calidad, mejor control de plagas y enfermedades, ahorro en agua de riego (Serrano, 2005).

La hidroponía es un sistema de producción agrícola intensiva que se caracteriza por la utilización de sustratos diferentes del suelo agrícola que proporcionan las condiciones físicas, químicas y sanitarias para el desarrollo de las plantas, en el cual el sistema radical se alimenta de agua y nutrientes de forma controlada a través de una solución de elementos esenciales preparada con fertilizantes comerciales. Sus principales ventajas son: balance ideal de aire, agua y nutrientes, humedad uniforme, excelente drenaje, permite mayor densidad de población, corrección fácil y rápida de deficiencias o excesos de un nutrimento, control del pH, calidad de producto, precocidad en los cultivos, cultivo repetido de la misma especie de planta, uniformidad en los cultivos, ahorro en el consumo de agua, reducción de los costos de producción, enriquecimiento de productos alimenticios con sustancias como vitaminas o minerales, posibilidad de utilización de mano de obra no calificada (Sánchez y Escalante, 1988).

4.3. FACTORES AMBIENTALES Y RENDIMIENTO

Una de las condiciones más importantes para obtener rendimientos altos y de calidad en un cultivo, es el conocimiento de sus requerimientos ambientales, los de mayor importancia son: temperatura, luz, agua, CO₂ y sustancias nutritivas. Mientras mejor manejados sean los requerimientos de las plantas respecto a estos factores y su apropiada combinación durante las fases de desarrollo, mejor será su crecimiento y desarrollo y más altos y de calidad serán los rendimientos (Guencov, 1974).

Este mismo autor define el rendimiento biológico como la producción total de materia seca en un cultivo en tanto que el rendimiento económico o “rendimiento comercial” toma en consideración sólo las partes para lo cual una planta en particular es cultivada y cosechada. No obstante, para muchas plantas el desarrollo durante la fase vegetativa controla tanto el rendimiento biológico como económico.

La densidad tiene un efecto importante en el desarrollo, principalmente por la competencia por luz; en general mayores rendimientos por unidad de área son logrados en alta población porque el uso máximo de luz está en las etapas tempranas del desarrollo, sin embargo, el desarrollo de plantas individuales disminuye por la competencia por luz y por otros factores de crecimiento (Janick *et al.*, 1981).

En el proceso de fotosíntesis, la energía de la luz es convertida en energía química, siendo los cloroplastos las estructuras que contienen la clorofila, una sustancia capaz de absorber energía solar que a través de un conjunto de reacciones químicas, convierten esta energía lumínica en materiales de crecimiento para la planta (Fageria *et al.*, 1991).

De acuerdo con Taiz y Zeiger (1988) una alta tasa fotosintética se presenta como respuesta a una temperatura óptima para la fotosíntesis, momento en el cual varios pasos de la fotosíntesis están en óptimo balance y se vuelve limitante en algunos pasos al incrementar o disminuir la temperatura.

La respiración es el proceso mediante el cual se descomponen las sustancias orgánicas sintetizadas en la fotosíntesis que proporciona la energía para los procesos fisiológicos, las sustancias que no son descompuestas son utilizadas por la planta como elementos constructivos para el crecimiento y desarrollo y la formación de todos sus órganos (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

Cuando el gradiente de humedad entre el aire y la superficie de la hoja aumenta, la transpiración se incrementa y puesto que la humedad relativa es una función directa de la temperatura del aire, el efecto de la temperatura, viento y humedad relativa son interdependientes y todos están relacionados con la luz y el proceso fotosintético (Chapman y Carter, 1976).

Para la formación de los órganos y la realización normal de todos los procesos biológicos o fisiológicos para crecer y desarrollarse, las plantas no deben sufrir escasez alguna de sustancia nutritivas de acuerdo con Mengel y Kirkby (1981). La escasez de estos o la proporción anormal entre ellos influye desfavorablemente sobre el crecimiento y la formación de los órganos. En tales condiciones las cosechas disminuyen o la calidad de la producción decrece.

4.4. NUTRICIÓN VEGETAL

De acuerdo con Mengel y Kirkby (1981) una característica relevante de las plantas es la capacidad de tomar sustancias del ambiente y usarlas para la síntesis de sus propios componentes celulares o como una fuente de energía. Así, el suministro y absorción de compuestos bioquímicos necesarios para el

crecimiento y metabolismo puede definirse como nutrición y los compuestos químicos requeridos por un organismo como nutrientes.

La fase líquida del suelo, es la principal responsable del transporte de nutrientes hacia las raíces de las plantas; sin embargo, una proximidad física o química a la raíz es necesaria para la absorción de los mismos. La comunicación entre la raíz y los iones puede llevarse a cabo de diversas formas: 1) intercambio por contacto, 2) intercambio de iones del suelo con H en el mucigel, 3) difusión de iones en respuesta a un gradiente químico, 4) flujo de masas de iones de la raíz en respuesta a un gradiente de humedad y 5) por la extensión de la raíz hacia la fuente de iones (Gardner *et al.*, 1990).

A excepción del Carbono, las plantas toman los componentes esenciales para la constitución de su biomasa del suelo. Así, los macronutrientes y micronutrientes son incorporados desde la solución salina del suelo hasta el interior de las células, donde son almacenados, metabolizados o transportados a otras células, tejidos u órganos (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

Basado en los criterios propuestos por Arnon y Stout en 1939, los siguientes son conocidos como elementos esenciales para las plantas:

Macroelementos:

Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).

Microelementos:

Hierro (Fe), Manganese (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl) (Mengel y Kirkby, 1981).

Los macroelementos son encontrados y necesitados en las plantas en relativamente altas cantidades respecto de los microelementos.

La relación entre la disponibilidad de nutrientes en el sustrato y el contenido de nutrientes en la planta es utilizada en el análisis foliar para diagnosticar la disponibilidad de los mismos en el suelo (Mills y Benton, 1996). De acuerdo con estos autores, el principal objetivo de un análisis de tejido es la verificación de síntomas de deficiencia o monitoreo de niveles de nutrientes durante el periodo de crecimiento, también es utilizado para determinar si los niveles de fertilidad del suelo y el fertilizante utilizado son los adecuados para los requerimientos del cultivo. En ocasiones ciertos nutrientes pueden estar presentes en el suelo, pero no ser absorbidos por la planta ya sea por enfermedad o problemas en el crecimiento de la raíz, etc. Por otra parte, la concentración de nutrientes difiere no sólo en plantas distintas sino en órganos diferentes de una misma planta; esta variabilidad es afectada por el tipo de planta, edad fisiológica del tejido, posición en la planta, disponibilidad de nutrientes en el sustrato, concentración de nutrientes, factores climáticos diversos y condiciones del suelo, lo que indica que diferentes órganos responden diferencialmente a la variación de concentración de nutrientes en el sustrato.

Los principales criterios utilizados para interpretar los resultados del análisis vegetal son los niveles críticos, los rangos de concentración y los índices

nutricionales, comparando los resultados del análisis de laboratorio con uno o más de estos valores o rangos conocidos para determinar el estado nutricional de la planta (Alcántar y Sandoval, 1999).

Existen tablas de referencia de valores de nutrimentos generadas por Mills y Benton (1996) para diversos cultivos, que han sido analizados en un amplio rango de condiciones de crecimiento. El Cuadro 1 muestra los rangos de suficiencia de cinco elementos para brócoli, col, espinaca, chícharo y lechuga.

Cuadro 1. Rangos de suficiencia de macronutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) de especies de hortalizas.

Especie	P	K	Ca	Mg	N
Brócoli	0.30 - 0.75	2.00 - 4.00	1.00 - 2.50	0.23 - 0.75	3.20 - 5.50
Chícharo	0.30 - 0.80	2.00 - 3.50	1.2 - 2.00	0.30 - 0.70	4.00 - 5.00
Col	0.35 - 0.75	3.50 - 6.0	3.00 - 4.5	0.50 - 2.0	3.00 - 5.0
Lechuga de cabeza	0.40 - 0.80	5.50 - 9.00	1.50 - 2.80	0.60 - 0.80	3.50 - 5.00
Lechuga orejona	0.45 - 0.8	5.50 - 6.2	2.00 - 2.8	0.60 - 0.8	3.5 - 4.5
Col (hojas envolventes)	0.30 - 0.65	2.00 - 4.00	1.30 - 3.50	0.25 - 0.80	3.0 - 4.80
Col ("cabeza")	0.35 - 0.75	3.0 - 6.0	3.0 - 4.5	0.5 - 2.0	3.0 5.0
Espinaca	0.93	9.77	0.80	0.97	5.60

El rango de suficiencia es un intervalo en el cual la concentración de un nutrimento bajo el límite inferior del rango puede causar deficiencia en un tejido dependiendo de la interacción y concentración de otros nutrimentos y toxicidad en un nivel de concentración mayor del límite superior del rango.

4.5. Macronutrientes

4.5.1. Nitrógeno

Es un constituyente estructural de amino ácidos, proteínas y muchas enzimas, es parte de las bases púricas y pirimídicas, por lo que es un constituyente de los ácidos nucleicos (ADN y ARN); además está presente en la clorofila, NADH, NADPH y el ácido indolacético y se encuentra en su forma libre en las vacuolas; las plantas tienen mayor necesidad de nitrógeno durante el periodo en que se forma su sistema foliar y se acumula en concentraciones sustanciales en los tejidos conductivos (peciolos y tallos) durante el periodo vegetativo de crecimiento y su presencia favorece la mejor asimilación de fósforo y potasio; en deficiencia de nitrógeno las hojas son pequeñas y verde-amarillas y las hojas inferiores caen fácilmente pues su crecimiento es débil, de forma general, las plantas tienen poco desarrollo, las flores caen y el rendimiento puede verse disminuido (Mills y Benton, 1996).

4.5.2. Fósforo

El papel principal del fósforo es la transferencia de energía y el metabolismo de las proteínas (Fageria *et al.*, 1991), por lo que está presente en los fosfolípidos de la membrana, como lípido ancla constituyente de lipoproteínas y lipopolisacáridos; los mono-, di- y tri- fosfatos son constituyentes del DNA, tRNA, mRNA y rRNA; el uridín trifosfato (UTP) es requerido para la síntesis de sucrosa y calosa, citosina trifosfato (CTP) en la síntesis de fosfolípidos y guanidín trifosfato (GTP) en la formación de celulosa (Mills y Benton, 1996).

También forma parte de los núcleos celulares, cromosomas, plasma celular, enzimas, etc. y favorece la mejor formación y crecimiento del sistema de raíces sobre todo de las raíces fibrosas; durante el periodo de diferenciación celular promueve la formación de órganos generativos. En ausencia o escasez de fósforo, en la sección superior de los tallos y la parte inferior de las hojas se concentra la antocianina, pigmento que proporciona un color lila que llega hasta el rojizo (Guencov, 1974).

4.5.3. Potasio

Su absorción es altamente selectiva y acoplada a la actividad metabólica, presenta alta movilidad en las plantas en todos los niveles, dentro de las células y los tejidos, tanto como en transporte a larga distancia vía xilema y floema. Es el catión más abundante en el citoplasma y contribuye ampliamente al potencial osmótico de células y tejidos participando en el proceso de regulación del turgor celular a través de su concentración en las vacuolas. También es requerido para la activación de enzimas y los procesos de transporte de membrana (Marschner, 1986).

4.5.4. Calcio

El calcio es un elemento estructural de la pared celular que se une a los grupos carboxilo libres de las pectinas (pectinato de calcio) actuando como cementante entre células adyacentes, por lo que baja concentración de Ca en esta zona es parte del proceso de abscisión y maduración de frutos; está presente en vacuolas y en baja concentración en el citoplasma, además se relaciona con los

procesos de elongación celular en retoños y zonas meristemáticas de las raíces (Mills y Benton, 1996). Está involucrado en el metabolismo y formación del núcleo y la mitocondria y forma cristales insolubles de oxalato, carbonato, sulfato o fosfato regulando sus niveles de toxicidad. Es un importante activador enzimático como en el caso de la glutamato deshidrogenasa y varias α -amilasas relacionadas con la degradación del almidón en los cloroplastos. El calcio de la planta es inmóvil una vez que se ha depositado por lo cual su deficiencia se nota en tejidos jóvenes (Bidwell, 1979).

4.5.5. Magnesio

El magnesio actúa como un sitio de unión para algunas enzimas y sus sustratos; es activador enzimático en la síntesis de ácidos nucleicos y de enzimas en reacciones de carboxilación y descarboxilación y cofactor de enzimas kinasas que catalizan la transferencia de los grupos fosfato entre ATP y ADP. Es un componente esencial de la clorofila y se relaciona con la estabilización de las partículas ribosomales uniéndose en la adecuada configuración las subunidades que los conforman para la adecuada síntesis de proteínas (Fageria *et al.*, 1991).

4.5.6. Azufre

Es parte de aminoácidos como la cisteína y metionina y constituyente de proteínas y compuestos como la biotina, tiamina y coenzima A, además de formar parte de la estructura terciaria de enzimas y proteínas (Bidwell, 1979).

4.6. Micronutrientos

4.6.1. Hierro

Forma parte de los sitios de catálisis de enzimas de óxido-reducción y es esencial para la formación de la clorofila. Tiene función estructural en los lípidos de la lámina media, en el núcleo, cloroplastos y mitocondria y es requerido en la síntesis de proteínas. Su deficiencia puede observarse como clorosis en las hojas jóvenes (Bidwell, 1979). Es un componente esencial de muchos acarreadores de electrones y ferredoxinas, que están involucrados en la fijación del nitrógeno, la fotosíntesis y la transferencia de electrones (Fageria *et al.*, 1991).

4.6.2. Manganeseo

Actúa como catalizador de enzimas respiratorias y en el metabolismo del nitrógeno para el funcionamiento de la nitrato reductasa; su función en la fotosíntesis está en la secuencia de reacciones por las cuales los electrones son derivados del agua y el oxígeno es liberado. Como su movilidad es compleja y depende de la especie y la edad de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en hojas jóvenes y viejas y se caracteriza por presencia de manchas grises o amarillas (Bidwell, 1979).

4.6.3. Zinc

Es un activador enzimático (ácido láctico, ácido glutámico, alcohol y la pirimidin nucleótido deshidrogenasa) y se relaciona con el metabolismo de las auxinas. En deficiencia de zinc, la forma y hábitos de crecimiento de las plantas

presentan cambios importantes, entrenudos cortos y hojas pequeñas, además poco desarrollo de dominancia apical. Al estar relacionado con la síntesis de proteínas su deficiencia puede provocar un incremento de compuestos solubles nitrogenados (Bidwell, 1979; Hopkins, 1999).

4.6.4. Cobre

Es un cofactor de enzimas oxidativas como la plastocianina (un acarreador de electrones en la fotosíntesis) o la citocromo oxidasa la última enzima oxidasa en la respiración mitocondrial y la oxidasa del ácido ascórbico (Fageria *et al.*, 1991). En deficiencia de cobre las puntas de las hojas pueden verse blancas y torcidas (Gardner *et al.*, 1990).

4.6.5. Boro

El Boro está involucrado en el metabolismo de los carbohidratos y la síntesis de componentes de la pared celular (Fageria *et al.*, 1991). Es un elemento estructural en la pared celular y estimula la germinación del tubo polínico y la elongación. Cuando existe deficiencia de boro se manifiesta inhibición de la división celular en el ápice de los brotes y es seguida por la necrosis del meristemo, también se inhibe la elongación de raíces primarias y secundarias (Hopkins, 1999).

4.6.6. Molibdeno

Forma parte de la dinitrogenasa que se encarga de la reducción del nitrógeno atmosférico; durante la incorporación del nitrógeno hacia amino ácidos y otros

metabolitos que se lleva a cabo en las raíces y hojas, forma parte de la nitrato reductasa catalizando la reducción de nitrato a nitrito.; cuando se presenta deficiencia, las hojas jóvenes se doblan y deforman y pueden presentar clorosis intervenal o necrosis a lo largo de las venas de hojas viejas, también incluye manchas y marchitamiento del margen de las hojas (Hopkins, 1999; Bidwell, 1979).

4.6.7. Cloro

Interviene en la división celular de hojas y brotes y es requerido por el oxígeno involucrado en reacciones de fotosíntesis. Es un anión móvil con dos funciones: mantener la neutralidad eléctrica a través de la membrana y como uno de los principales solutos osmoreguladores de la vacuola (Hopkins, 1999).

4.7. METABOLISMO DEL NITRÓGENO

El nitrógeno se encuentra en una alta proporción en la atmósfera y también en los sedimentos del suelo, pero ninguno de los dos se encuentra disponible para el crecimiento de la planta, no obstante, algunos microorganismos pueden realizar la fijación del nitrógeno atmosférico hacia amonio o puede ser precipitado a la tierra luego de que los relámpagos ionizan el agua en H^+ y OH^- que unidos al O_2 pueden reaccionar con moléculas de N_2 para producir ácido nítrico o agregarse al suelo luego de ser derivado de forma industrial (Gardner *et al.*, 1990).

Las formas iónicas (NO_3 y NH_4^+) pueden ser absorbidas por la planta y el nitrato representa una forma más estable de almacenamiento, en tanto que el amonio, es bastante tóxico y por ello no puede almacenarse en los tejidos (Haynes, 1986).

Cuando el amonio es absorbido directamente del suelo o de la reducción de nitrato, este no se acumula en ningún lugar de la planta pues es tóxico porque causa inhibición de la formación de ATP en los cloroplastos y mitocondrias (Salisbury y Ross, 1985).

El nitrato al ser absorbido se distribuye en dos grupos: el grupo metabólico en el citoplasma y el de almacén en la vacuola. En el primero el nitrato es incorporado a proteínas, pero el segundo no está disponible (Blom-Zandstra, 1989). De acuerdo con Granstedt y Huffaker (1982), las vacuolas de plantas de cebada cultivadas en presencia de NO_3^- contienen el 58 % del NO_3 total celular y por ello representan la mayor zona de almacén de NO_3^- .

Las variaciones de luz afectan particularmente el nivel de NO_3 de las plantas, en luz total, el NO_3 es disminuido por el efecto de dilución de la alta producción de carbohidratos y la reducción de NO_3 . La alta temperatura también reduce la actividad de la enzima nitrato reductasa, la cual incrementa el contenido de NO_3 en la planta y también incrementa la transpiración y si la temperatura no es excesivamente alta y el suelo no es limitante de nitrato, la absorción de nitrato

se aumenta. El efecto neto es que se incrementará el nitrato, aun cuando el contenido de nitrógeno puede disminuir (Mills y Benton, 1996).

La toxicidad del nitrato en humanos viene determinada por su conversión a nitrito, que puede producir metahemoglobinemia por oxidación del Fe^{+2} de la hemoglobina. La metahemoglobina no es capaz de transportar el oxígeno a los tejidos, pudiendo dar lugar a efectos tóxicos graves e incluso la muerte cuando la cantidad de metahemoglobina es superior al 70 % de la hemoglobina total (Hewitt, 1975). Este efecto se produce casi exclusivamente en los lactantes debido a la menor acidez de su estómago (que favorece el crecimiento de microorganismos capaces de reducir el nitrato a nitrito), a la presencia de hemoglobina fetal (que es más fácilmente oxidable por el nitrito) y a la existencia de un cierto déficit del sistema enzimático capaz de reducir la metahemoglobina (NADH metahemoglobin reductasa) que sin embargo, es muy eficaz en adultos. Pero el riesgo más importante para la salud derivado de la exposición a estas sustancias se debe a que el nitrito puede reaccionar con aminas o amidas para formar compuestos nitrogenados (Figura 1), muchos de los cuales son potentes carcinógenos (Campbell, 2004).

La forma predominante de nitrógeno disponible para las plantas es el NO_3^- pues bajo diversas condiciones en el suelo el NH_4^+ es rápidamente nitrificado a NO_3^- . La utilización de nitrato por las plantas involucra varios procesos: absorción, almacenaje, translocación, reducción y la incorporación a formas orgánicas.

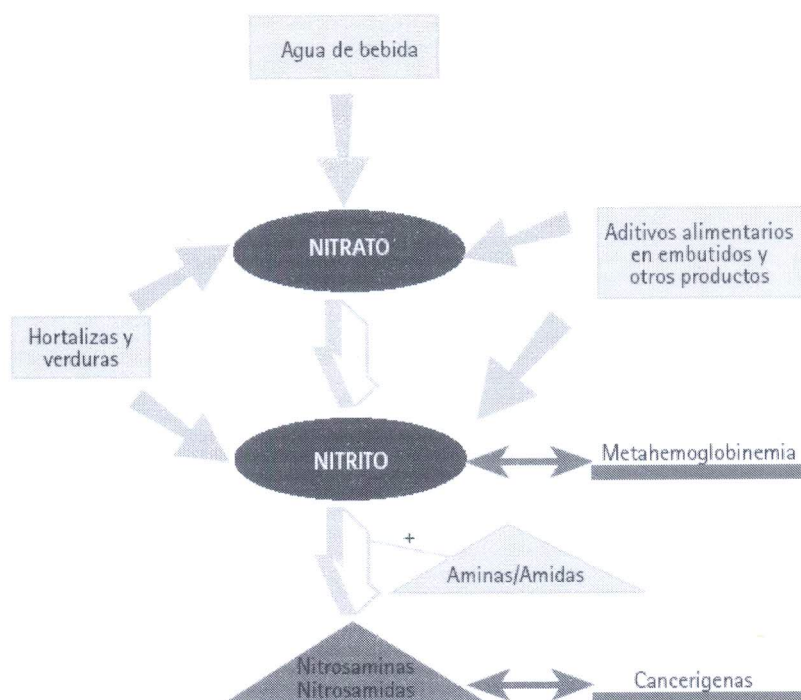


Figura 1. Vías de asimilación de nitrato y nitrito y sus posibles efectos tóxicos.

El nitrato está ampliamente distribuido en los alimentos, siendo las principales fuentes de exposición los vegetales y el agua. Algunas especies vegetales tienen gran capacidad de acumulación de nitrato (los productos de hoja fundamentalmente) y debido a la posibilidad de los efectos tóxicos mencionados para la salud del hombre se han establecido límites permisibles para su concentración, los cuales se muestran en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Contenido de nitratos en col, brócoli y chícharo cultivados en diversas partes del mundo.

Hortalizas	Concentración de nitratos ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)					
	Corea	Inglaterra	Alemania	Singapur	Queensland**	MAFF ^φ
Col	725	712	3100	930	240	165-351
Brócoli	----	----	----	----	70	155-611
Chícharo	----	----	----	----	15	----

Tomado de Chung *et al.*, 2003; ** Lyons *et al.*, 1994; ^φMinistry of Agriculture, Food and Fisheries, 1998.

Cuadro 3. Límites permisibles de contenido de nitratos propuestos por la Unión Europea y el Ministerio de Agricultura en el Reino Unido para hortalizas de hoja.

Producto	Fecha de recolección	Contenido máximo de NO_3 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) ¹
Espinacas frescas (<i>Spinacea oleracea</i>)	Recolectadas entre el 1 de octubre y el 31 de marzo	3 000
Lechuga fresca (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Recolectadas entre el 1 de abril y el 30 de septiembre	2 500
	Recolectadas entre el 1 de octubre y el 31 de marzo:	
	lechugas cultivadas en invernadero	4 500
	lechugas cultivadas al aire libre	4 000
	Recolectadas entre el 1 de abril y el 30 de septiembre:	
	lechugas cultivadas en invernadero	3 500
Lechugas del tipo "Iceberg"	lechugas cultivadas al aire libre	2 500
	Lechugas cultivadas en invernadero	2 500
	Lechugas cultivadas al aire libre	2 000
Producto	Época de cosecha	Contenido máximo de NO_3 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) ²
Espinacas frescas (<i>Spinacea oleracea</i>)	Otoño	2834
Lechuga fresca (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Otoño	2736
Col (<i>Brassica oleracea</i> var <i>capitata</i>)	Otoño	1380

¹ Diario Oficial de la Comunidad Europea, 19 Noviembre 2006; ² Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1998.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. EXPERIMENTO 1. EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA

5.1.1. Localización del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en temporada de otoño a invierno durante los meses de agosto 2006 a febrero 2007 en los invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, ubicados a 19° 29' de latitud norte y 98° 53' de longitud oeste, una altitud de 2250 msnm, con una temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación total anual de 636.5 mm, caracterizado por el tipo climático CB (wo)(w) (i')g; es decir, clima templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988).

5.1.2. Infraestructura

Se utilizó un sistema hidropónico bajo invernadero tipo túnel con paredes rectas, estructura metálica y cubierta de polietileno blanco con 70 % de transmisión de luz con 450 m² de superficie; para la ventilación cuenta con ventanas laterales protegidas con malla antiáfidos.

Se emplearon camas de siembra de 22 m de largo x 1.10 m de ancho elevadas sobre el terreno a profundidad de 30 cm rellenas de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 4 mm de diámetro, pasillos de concreto de 50 cm y un pasillo central que divide su longitud de 1 m de ancho.

El sistema de riego consistió de una línea terciaria del pasillo central hacia cada cama, mediante una bomba y el controlador de riego. El riego se proporcionó como sigue: 10 minutos de riego (con un gasto aproximado de $0.5 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ por gotero) con horario de 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00 y 15:00 horas. La solución nutritiva aplicada se describe en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Fórmula para la preparación de solución nutritiva aplicada durante el experimento.

Elemento aportado	Aporte del elemento mg L^{-1} o $\phi \text{ ml L}^{-1}$	Fuente fertilizante	Cantidad g/1000 L
N	206.7	Nitrato de Calcio (15.5-0-0) $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$	1333.33
Ca	253.3		
N	30.3	Nitrato de Potasio (KNO_3)	233.33
K	85.6		
P^ϕ	57.3	Ácido Fosfórico $[\text{H}_3\text{PO}_4]$	106.67
K	164.5	Sulfato de Potasio 50 % (K_2SO_4)	383.33
Mg	53.8	Sulfato de Magnesio $[\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}]$	633.33
Fe	2.7	Sulfato Ferroso $[\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}]$	15.00
B	0.4	Ácido Bórico $[\text{H}_3\text{BO}_3]$	3.33
Mn	0.6	Sulfato de Manganeseo $[\text{MnSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$	2.33
Cu	0.1	Sulfato de Cobre $[\text{Cu}(\text{SO}_4)\cdot 5\text{H}_2\text{O}]$	0.20
Zn	0.1	Sulfato de Zinc $[\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}]$	0.20
S^ϕ	8.0	Ácido Sulfúrico $[\text{H}_2\text{SO}_4]$	25.00

NOTA: El aporte de azufre solo fue calculado para el ácido sulfúrico

La temperatura promedio (mínima y máxima) mensual registrada en el invernadero durante el desarrollo del experimento se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Temperaturas promedio (mínima y máxima) registradas dentro del invernadero durante los meses de septiembre 2006 a enero 2007.

Mes	Temperaturas promedio ($^{\circ}\text{C}$)	
	Mínima	Máxima
Septiembre	11.42	43.85
Octubre	21.38	27.52
Noviembre	6.88	32.66
Diciembre	4.88	32.95
Enero	5.54	35.36

5.1.3. Material vegetal

Las cinco especies de hortalizas que fueron utilizadas para experimento, se enlistan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Especies de hortaliza utilizadas para el experimento.

Especie	Variedades	Compañía Productora
Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>)	Hy-liberty	Seminis
Chícharo (<i>Pisum sativum</i> L.)	Early perfection	NE
Col (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	Copenhagen market	Caloro
Espinaca (<i>Spinacea oleracea</i>)	Viroflay	NE
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>romana</i>)	Parrish-island	Caloro
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i>)	Great-lake 407	Caloro

NE No especificada

Se realizaron dos tipos de establecimiento, siembra directa (espinaca y chícharo) y trasplante (brócoli, col y dos variedades de lechuga: orejona y de cabeza); para la siembra directa, las semillas fueron depositadas en las camas desde el inicio del ciclo.

En el semillero se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades, que fueron rellenas con una mezcla de peat moss y perlita humedecida a punto de escurrimiento (en proporción 2:1), así preparadas se colocó una semilla por cavidad (o dos de acuerdo a la especie) a una profundidad no mayor a tres veces el tamaño de la misma, cubriendo con la mezcla de sustrato y regando inmediatamente después de la siembra. Una vez tapadas, se estibarón una

sobre otra cubriéndolas con un plástico para evitar deshidratación del sustrato y acelerar la germinación. En un periodo de tres días, las charolas fueron separadas y colocadas en bancales para iniciar los riegos con regadera, que fueron con agua durante la primera semana de crecimiento y con solución nutritiva durante las tres siguientes (proporcionadas en un 25 %, 50 % y 75 % de concentración respectivamente, de acuerdo a la solución especificada en el Cuadro 4). El transplante se realizó a los treinta días después de siembra (DDS) en las camas de tezontle.

5.1.4. Diseño experimental

Se evaluaron tres densidades: baja, media y alta, en cada uno de los cinco cultivos bajo estudio. Los tratamientos utilizados durante el experimento se listan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Tratamientos utilizados para evaluar el efecto de la densidad sobre el rendimiento en cinco cultivos de hortalizas.

Especie	Distancia entre	Densidad de siembra			plantas/m ² útil		
		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Brócoli	Hileras	35	35	35	7	10	14
	Plantas	40	30	20			
Chícharo	Hileras	20	20	20	42	63	125
	Plantas	12	8	4			
Col	Hileras	30	30	30	8	11	17
	Plantas	40	30	20			
Espinaca	Hileras	20	20	20	33	50	100
	Plantas	15	10	5			
Lechuga de cabeza	Hileras	30	30	30	12	14	16
	Plantas	30	25	20			
Lechuga orejona	Hileras	30	30	30	12	14	16
	Plantas	30	25	20			

Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de 72 unidades experimentales; se empleó como unidad experimental una fracción de cama de 1.10 x 0.91 m. y se manejaron 18 tratamientos en el experimento. El análisis de los resultados se discute como experimentos independientes entre cultivos.

El estadístico consistió en análisis de varianza y comparación de medias de Tukey en los casos en que se obtuvo significancia estadística entre tratamientos con $\alpha=0.05$, y se utilizó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS).

5.1.5. Conducción del experimento

A) Brócoli

La siembra en charola se realizó el día 8 de septiembre y el transplante se llevó a cabo a los 31 DDS estableciendo tres densidades de plantación.

Se condujo el crecimiento de las plantas a partir de los 21 días después de transplante (DDT) utilizando rafia a una altura de 1.80 m en forma paralela a las líneas sembradas.

El desarrollo de la inflorescencia se alcanzó a los 75 DDT y la cosecha del producto se hizo a los 75, 81 y 92 DDT, esto cuando se llegaba a la madurez comercial (considerada antes de la presencia de floración de las yemas) y se

realizó un muestreo en los tratamientos de cuatro plantas por unidad experimental.

Las variables medidas al momento de cosecha fueron: *Altura de planta (cm)*. De la base del tallo hasta el inicio de la base de la pella, medido con una cinta métrica. *Diámetro de tallo (cm)*. En la segunda hoja encontrada por encima del sustrato de siembra, medido con una cinta métrica. *Número de ramas*. Se consideró como rama aquella que surgía del tallo y presentaba nuevas ramificaciones de hojas con formación de inflorescencia. *Materia fresca de hojas (g)*. Todas las hojas incluyendo el pecíolo fueron pesadas en una balanza digital. *Área foliar estimada (cm²)*. Se registró el peso de un corte de hoja de 5 cm² para hojas chicas (0-20 cm de largo) y 10 cm² para hojas medianas (21-40 cm de largo) y grandes (> 40 cm de largo) y haciendo una relación entre el peso total de hojas y el peso del fragmento correspondiente, se obtuvo el dato de área foliar estimada. *Peso de inflorescencia (g)*. Fue cortada con una porción de tallo de 10 cm y se registró su peso con una balanza digital. *Diámetro de inflorescencia (cm)*. Se colocó el extremo de la cinta métrica en la orilla de la inflorescencia y se midió la longitud de la superficie de la pella hasta el extremo opuesto. *Número de ramillas de la inflorescencia*. La inflorescencia fue cortada en “ramillas” (pequeños racimos de la inflorescencia) y contados uno por uno. *Porcentaje de áreas blancas en la inflorescencia (%)*. Se cortaron las porciones “blancas” encontradas entre las ramillas y se calculó su porcentaje con base al peso de la inflorescencia. Características de la inflorescencia: *Consistencia compacta*. Se consideró cuando las ramillas de la inflorescencia se observaron

juntas. *Superficie lisa*. Se consideró cuando la inflorescencia no presentó hundimientos marcados. *Presencia de brácteas*. Cuando la inflorescencia presentó hojas intercaladas. *Presencia de quemaduras*. Cuando la inflorescencia presentó marcas de color marrón en su superficie. *Presencia de tallo hueco*. Se observó al realizar el corte de la inflorescencia si el tallo presentó un hueco.

B) Chicharo

La siembra directa en las camas se realizó el día 6 de septiembre, estableciendo tres densidades de plantación (con cinco hileras por cama). Para favorecer el crecimiento en altura de la planta de chícharo se colocaron mallas tutoras de 15 x 15 cm de cuadro con altura de 1.10 m en cada línea sembrada a los 15 días después de la germinación de la semilla y se permitió el crecimiento de las plantas a una altura de 1.50 m, por lo que una vez alcanzada se podó el punto de crecimiento de la planta en todas las unidades experimentales.

La primera cosecha de vainas de chícharo se hizo a los 83 DDS y se tuvieron tres cosechas más: 104, 127 y 136 DDS, cosechando sólo aquellas que estaban a punto de corte (cuando al tomar el pedúnculo y jalar, la vaina se desprendía con facilidad, vaina larga, turgente, recta y sabor dulce).

Las variables medidas para el chícharo al momento de la cosecha fueron las siguientes: *Porcentaje de fecundación*. En una muestra de 100 vainas se realizó un conteo de los granos dentro de la vaina, así como de los óvulos no

fecundados que fueron considerados como vacíos. *Longitud de vaina (cm)*. En una muestra de 100 vainas de la unidad experimental, del extremo del pedúnculo al de la vaina, con una regla metálica de 30 cm. *Rendimiento de vainas (g)*. Se realizó la cosecha de las vainas y se registró el peso con una balanza digital.

C) Col

La siembra en charola se realizó el 28 de agosto y el transplante se llevó a cabo a los 39 DDS. Para la cosecha se esperó hasta que el cultivo se encontrara en madurez hortícola (cabezas de col de consistencia dura al ser presionadas) que fue a los 90 DDT y se tomó información de todas las plantas sembradas por tratamiento al momento del corte.

Las variables medidas al momento de cosecha para el cultivo fueron las siguientes: *Materia fresca de "cabeza" (g)*. La cabeza de col fue cortada en la base de la misma y pesada en una balanza digital. *Perímetro de "cabeza" (cm)*. Con una cinta métrica se midió la longitud "ecuatorial" de la misma. *Materia fresca de hojas (g)*. Se tomaron las hojas no envoltentes y fueron pesadas en una balanza digital. *Área foliar estimada (cm²)*. Se hizo un corte lámina foliar de 10 cm², se tomó su peso y se calculó una relación con la materia fresca de hojas para obtener el área estimada. Forma de "cabeza": *Redonda*. Las "cabezas" en forma esférica. *Semiredonda*. Las "cabezas" que se alargaban hacia los extremos polares. *Ovalada*. Las "cabezas" que se alargaban hacia la parte "ecuatorial" de la "cabeza".

D) Espinaca

Se realizó siembra directa en las camas el día 8 de septiembre estableciendo tres densidades de plantación. La cosecha de plantas completas con hojas en buen estado, se realizó 41 DDS y se tomó una muestra de seis plantas por unidad experimental de cada tratamiento.

Las variables medidas al momento de la cosecha fueron las siguientes: *Materia fresca de planta (g)*. Se registró el peso en una báscula digital considerando la lámina foliar, el tallo y la raíz. *Materia fresca de hojas (g)*. Las hojas cortadas a la base del pecíolo, fueron pesadas en una báscula digital. *Materia fresca de tallo y raíz (g)*. Se tomó el tallo y la raíz separados con anterioridad y fueron pesados en una báscula digital. *Número de hojas chicas, medianas y grandes*. Se tomó como referencia la longitud de hoja de 0-20 , 21-30 y > 31 cm, respectivamente y de acuerdo a esta clasificación fueron contadas. *Longitud de raíz (cm)*. De la base del tallo hasta la punta de la raíz, medida con cinta métrica. *Longitud total de la hoja (cm)*. Tomando únicamente las hojas grandes, se midió desde la punta de la hoja hasta la base del pecíolo, con una cinta métrica. *Longitud de lámina foliar (cm)*. Tomando únicamente las hojas grandes, se midió de la punta de la hoja a la base de la lámina foliar con una cinta métrica. *Longitud del pecíolo (cm)*. Se calculó restando la longitud de la lámina foliar a la longitud total de la hoja. *Ancho mayor de lámina foliar (cm)*. Tomando solo las hojas grandes, se midió su longitud en la parte más ancha de la lámina foliar con una cinta métrica. *Área foliar (cm²)*. Se utilizaron todas las hojas y se midieron en un Integrador de área foliar (LICOR LI-300) por planta. *Materia*

seca de hojas y raíz (g). Se secaron en una estufa marca Thelco 6M, a una temperatura de 75 °C, hasta peso constante y el peso seco se registró con una balanza Sartorius 1206 MP. *Número de plantas chicas, medianas y grandes*. Fueron contadas tomando como referencia la longitud de hoja de 0-20 , 21-30 y > 31 cm respectivamente, desde la base del tallo a la hoja más larga de la planta.

E) Lechuga

La siembra de ambas variedades (romana y capitata) se realizó en charola el día 2 de octubre y el transplante se llevó a cabo 25 DDS estableciendo tres densidades de plantación (con cuatro líneas de siembra en ambos casos).

Para el caso de la lechuga orejona (variedad romana) se dejó transcurrir 39 días DDT para realizar el amarre de la planta, cuando las hojas en la parte central de la misma comenzaban a marcar un ligero "doblez" hacia el interior, éste se realizó con rafia procurando que se tomara la mayor cantidad de hojas arriba de la parte media de la planta sin hacer el amarre muy fuerte para evitar deformación del "manejo".

La cosecha de lechuga orejona se realizó a los 48 DDT tomando datos de todas las plantas sembradas y las variables medidas fueron las siguientes: *Largo de planta (cm)*. De la base de las hojas hasta la punta de la hoja más larga con una cinta métrica. *Peso de planta (g)*. Se tomó la planta sin raíz y se registró el peso con una balanza digital.

La cosecha de lechuga de cabeza se llevó a cabo a los 70 y 74 DDT, tomando datos a todas las plantas sembradas y las variables medidas fueron las siguientes: *Perímetro de "cabeza" (cm)*. Se midió la longitud ecuatorial de la cabeza con una cinta métrica. *Peso de "cabeza" (g)*. Se tomó el peso con una balanza digital. *Consistencia de "cabeza": Cabeza compacta*. Aquellas que al presionar el repollo se sintió firme.

5.2. EXPERIMENTO 2. EVALUACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS

El experimento se llevó a cabo en temporada de verano y otoño durante los meses de julio a noviembre de 2007, en los invernaderos del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo.

Se utilizó un sistema hidropónico en invernadero tipo capilla simétrico, con estructura metálica y cubierta de polietileno transparente de 462 m² de superficie; para la ventilación cuenta con ventanas laterales protegidas con malla antiáfidos y ventanas abatibles en la parte superior de ambos frentes.

Se emplearon camas de siembra de 20 m de largo x 0.86 m de ancho, elevadas sobre el terreno para dar una profundidad de 30 cm, rellenas de arena de tezontle rojo (abajo 10 cm de grava de tezontle y arriba 20 cm de arena de tezontle) con pasillos de concreto de 50 cm.

El sistema de riego consistió de tres cisternas con capacidad de 12000 L, cada una con una bomba de 1 HP conectada a un programador de riego Modelo Hunter XC de cuatro estaciones; la línea principal de cada una (tubería de PVC de 1 pulgada) llegaba al invernadero y por líneas secundarias se conectaban a 3 cintillas de goteo por cama. El invernadero contenía 14 camas de siembra, de las cuales cuatro recibieron riego al 100 % de concentración, seis al 75 % de concentración y las cuatro restantes al 50 % de concentración, con un gasto aproximado de $0.5 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ por gotero (Cuadro 10).

La temperatura y humedad relativa en el invernadero registrada durante el experimento, se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Temperatura y humedad relativa promedio (mínima y máxima) registrada dentro del invernadero durante los meses de julio a noviembre de 2007.

	Temperatura promedio (°C)		Humedad relativa promedio (%)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Julio	12.23	38.38	27.42	96.44
Agosto	11.57	39.95	25.59	95.03
Septiembre	10.63	36.78	31.37	98.80
Octubre	8.10	35.46	28.43	99.02
Noviembre	5.74	33.70	28.19	95.92

El riego de los cultivos se llevó a cabo del 23 de Julio al 20 de Septiembre, en riegos de cinco minutos cada hora a partir de las 9:00 de la mañana y hasta las 15:00 horas y del 21 de Septiembre al final del ciclo en riegos de siete minutos cada hora a partir de las 8:30 de la mañana y hasta las 16:30 horas.

5.2.1. Diseño experimental

Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones, dando un total de 20 unidades experimentales en el caso de las hortalizas de hoja (lechugas y espinaca) y 3 tratamientos con 5 repeticiones para el resto de los cultivos (brócoli, chícharo y col) dando un total de 15 unidades experimentales. Se empleó como unidad experimental una fracción de cama de 1.11 x 0.86 m para espinaca, lechuga de cabeza, lechuga orejona y chícharo y de 1.66 x 0.86 m para Col y Brócoli. La evaluación de los resultados se discute como experimentos independientes entre cultivos.

El análisis estadístico de las variables estudiadas se realizó mediante una prueba de análisis de varianza y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey en los casos en que se obtuvo significancia estadística entre tratamientos a un nivel de significancia de 5 % ($\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS).

5.2.2. Conducción del experimento

Con la finalidad de evaluar el efecto de la concentración de la solución nutritiva sobre el rendimiento de los cultivos se probaron tres concentraciones de solución: 100, 75 y 50 %, mas una cuarta solución empleada para probar si la eliminación del aporte de nitratos al final del periodo de desarrollo de la planta,

disminuye la concentración de los mismos en los tejidos foliares (Cuadro 9 y 10). Las primeras tres soluciones fueron aplicadas en cinco cultivos: brócoli, chícharo, col, espinaca y lechuga (orejona y cabeza) de las variedades mencionadas en el Cuadro 5, en tanto que la cuarta se aplicó únicamente en lechugas y espinaca.

Cuadro 9. Fórmula para la preparación de tres concentraciones de solución nutritiva empleadas durante el experimento.

Elemento aportado	Aporte del elemento mg·L ⁻¹ o ϕ ml L ⁻¹			Fuente fertilizante y fórmula química	Cantidad de fertilizante g/1000 L		
	100	75	50		100	75	50
N	206.7	155.0	103.4	Nitrato de Calcio (15.5-0-0)	1333.4	1000.1	666.7
Ca	253.3	190.0	126.7	[Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O]			
N	30.3	22.7	15.2	Nitrato de Potasio [KNO ₃]	233.4	175.0	116.7
K	85.6	64.2	42.8				
ϕ P	57.3	43.0	28.7	Ácido Fosfórico [H ₃ PO ₄]	106.7	80.0	53.3
K	164.5	123.4	82.3	Sulfato de Potasio 50 % [K ₂ SO ₄]	383.4	287.5	191.7
Mg	53.8	40.4	26.9	Sulfato de Magnesio [MgSO ₄ ·7H ₂ O]	633.4	475.0	316.7
Fe	2.7	2.0	1.4	Sulfato Ferroso [FeSO ₄ ·7H ₂ O]	15.0	11.3	7.5
B	0.4	0.3	0.2	Ácido Bórico [H ₃ BO ₃]	3.3	2.5	1.7
Mn	0.6	0.5	0.3	Sulfato de Manganeseo [MnSO ₄ ·4H ₂ O]	2.3	1.7	1.2
Cu	0.1	0.1	0.1	Sulfato de Cobre [Cu(SO ₄)·5H ₂ O]	0.2	0.2	0.1
Zn	0.1	0.1	0.1	Sulfato de Zinc [ZnSO ₄ ·7H ₂ O]	0.2	0.2	0.1
ϕ S	8	6.0	4.0	Ácido Sulfúrico [H ₂ SO ₄]	25.0	18.8	12.5

NOTA: El aporte de azufre solo fue calculado para el ácido sulfúrico

El tiempo de aplicación de los tratamientos de solución nutritiva fue durante el ciclo completo para la concentración 100, 75 y 50 %, en tanto que en los cultivos de hoja, se regó con solución al 75 % inicialmente y sustituyendo el nitrato por amonio en la última semana de desarrollo (Cuadro 10).

Se realizaron análisis de tejido para determinar el estado nutrimental de los cultivos y para verificar los niveles de nitratos contenidos en los tejidos; las muestras de tejido para análisis de elementos (N, P, K, Ca y Mg) fueron

colectadas de acuerdo con lo reportado por Mills y Benton, 1991 como sigue:

Hojas envoltantes de lechuga de cabeza, orejona y col a fin de ciclo, hojas maduras de reciente formación en espinaca a fin de ciclo, hojas maduras de reciente formación en chícharo al inicio de amarre de vaina y hojas maduras de reciente formación en brócoli al inicio de formación de la inflorescencia y se requirió de una muestra en fresco de 100 g de peso fresco para obtener una muestra de aproximadamente 15 a 20 g de peso seco en cada cultivo.

Cuadro 10. Fórmula para la solución nutritiva sin nitrato evaluada en las hortalizas de hoja durante el desarrollo del experimento.

Elemento Aportado	Aporte del elemento mg L ⁻¹ o ϕ ml L ⁻¹	Fuente fertilizante	Cantidad g/1000 L
N	178	Sulfato de Amonio 21-00-00	845
ϕ P	43	Ácido Fosfórico [H ₃ PO ₄]	80
K	187.6	Sulfato de Potasio 50 % de [K ₂ SO ₄]	445
Ca	100	Sulfato de Calcio [CaSO ₄ ·2H ₂ O]	325
Ca	100	Cloruro de Calcio [CaCl ₂ ·6H ₂ O]	410
Mg	40.4	Sulfato de Magnesio [MgSO ₄ ·7H ₂ O]	415
Fe	2	Sulfato Ferroso [FeSO ₄ ·7H ₂ O]	10
Mn	0.5	Sulfato de Manganeseo [MnSO ₄ ·4H ₂ O]	2
B	0.3	Ácido Bórico [H ₃ BO ₃]	2.5
Cu	0.1	Sulfato de Cobre [CuSO ₄ ·5H ₂ O]	0.15
Zn	0.1	Sulfato de Zinc [ZnSO ₄ ·7H ₂ O]	0.15

Las muestras de tejido para el análisis de NO₃ fueron tomadas como sigue:

hojas envoltantes de lechuga de cabeza, orejona y col a fin de ciclo; hojas maduras de reciente formación en espinaca a fin de ciclo; vainas de chícharo al presentarse frutos maduros (realizando el análisis solo a las semillas) e inflorescencia de brócoli a fin de ciclo y se requirió una muestra de 25 gramos en peso fresco para todos los cultivos.

La colecta se realizó en horario de 7:00 a 10:00 de la mañana evitando tomar hojas viejas o con daño por plagas y enfermedades. Una vez obtenida la muestra se procedió a retirar el exceso de polvo con un paño húmedo y posteriormente fueron colocadas en bolsas de papel para su traslado al laboratorio; el secado del material se realizó en una estufa Marca Thelco Modelo 6M a temperatura constante de 75 °C, hasta peso constante, posteriormente se trituraron las hojas para depositarlas en el molino Willey Modelo 4, donde después de pasar por una malla número 20, fue colectado este “polvo” en sobres de papel que fueron rotulados para cada especie y tratamiento. El polvo obtenido en la molienda fue conservado en frascos de vidrio y puesto nuevamente a secar en una estufa marca Quincy Lab Inc. AF Modelo 30, a 80 °C por dos días. Una vez secado se procedió a tapar y guardarlos en una caja de cartón hasta su utilización.

Las muestras fueron enviadas para su procesamiento al Laboratorio de Nutrición de Cultivos del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, realizando el procesamiento completo para el caso de la espinaca y llevando la digestión de las muestras para el resto de los cultivos. La lectura de los elementos P, K, Ca y Mg, fue realizada por espectrofotometría de ICP, el N se determinó por el método Kjeldahl y el NO₃ mediante el método modificado de Cataldo.

5.2.3. Variables evaluadas

A) Brócoli

Además de las variables descritas en el primer experimento (*Altura de planta, Diámetro de tallo, Número de ramas, Peso de inflorescencia, Diámetro de inflorescencia, Características de la inflorescencia - consistencia, superficie, brácteas y tallo*) se realizó la medición de las siguientes variables al momento del corte de la inflorescencia, para una muestra de seis plantas por unidad experimental:

Materia fresca de hojas, peciolo, tallo y pella (g). Se disgregaron las partes señaladas de la planta y fueron pesados con una balanza digital. *Materia seca de hojas, peciolo, tallo y pella (g).* Colocadas en bolsas de papel por separado para luego introducirse en una estufa Thelco 6M, a temperatura constante de 75 °C hasta peso constante y pesadas en una balanza analítica. *Área foliar (cm²).* Se tomaron las hojas (sin peciolo) de cada planta muestreada y se utilizó el integrador de área foliar LICOR LI-300, pasando una a una el conjunto de hojas de una planta y anotando un único valor obtenido.

B) Chicharo

Se tomó una muestra de seis plantas por unidad experimental a los treinta días de la germinación de la semilla para la medición de las siguientes variables:

Materia fresca de planta (g). Se colectó la planta sin raíz y registró el peso con una balanza digital. *Longitud de planta (cm).* Se midió con una cinta métrica del

inicio del tallo hasta la punta de la planta, en la rama más larga de la misma. *Número de nudos*. Contados en la rama más larga de la planta. *Número de flores*. Contadas en todas las ramas de la planta. *Número de vainas*. Contadas en todas las ramas de la planta. *Número de ramas*. Se consideró rama aquella que surgía en la base de la planta, y que contaba con hojas y zarcillos. *Materia seca de planta (g)*. Una vez que se midieron las variables anteriores, se colocó la planta en una bolsa de papel y fue introducida en una estufa Thelco 6M, a temperatura constante de 75 °C, hasta peso constante y posteriormente pesada con una balanza analítica Sartorius 1206 MP. *Rendimiento de vainas (g)*. Al momento de cosecha (a partir de los 81 DDS) se registró el peso con una balanza digital.

C) Col

Además de las variables descritas en el primer experimento (*Peso de “cabeza”, Perímetro de “cabeza”, Características de “cabeza” – Redonda, ovalada*) se realizó la medición de las siguientes variables en una muestra de seis plantas por unidad experimental al momento de cosecha de las plantas:

Materia fresca de tallo, hojas y repollo (g). Se disgregaron las estructuras y fueron pesadas en una balanza digital. *Volumen de cabeza (cm³)*. La “cabeza” de col se introdujo en una bolsa de plástico, se amarró y sumergió en una cubeta graduada que contenía agua y utilizando la fórmula densidad = masa / volumen, se obtuvo el dato requerido. *Características de “cabeza”: Acorazonada*. Aquellas donde el polo superior es más grande que el polo

inferior. *Materia seca de tallo, hojas y repollo (g)*. Una vez obtenido el peso fresco de las plantas se colocaron por separado en bolsas de papel y se colocaron en una estufa Thelco 6M, a temperatura constante de 75 °C, hasta peso constante y fueron pesados en una balanza analítica Sartorius 1206 MP.

D) Espinaca

Además de las variables descritas en el primer experimento (*Peso total de planta y Número de hojas*) se midieron las siguientes variables en una muestra de seis plantas por unidad experimental al momento de cosecha de la planta (54 DDS):

Materia fresca de hojas, tallo y raíz (g). Se disgregó la planta cortando las hojas en la base del peciolo y la raíz en la base del tallo y pesando por separado cada una de las estructuras mencionadas con la balanza analítica.

Materia seca de hojas, tallo y raíz (g). Una vez tomado el peso fresco se depositaron en bolsas de papel las diferentes estructuras y fueron introducidas en una estufa Thelco 6M, a temperatura constante de 75 °C, hasta peso constante y fueron pesadas con una balanza analítica Sartorius 1206 MP.

E) Lechuga de cabeza

Además de las variables descritas en el primer experimento (*Perímetro de cabeza y Peso de cabeza*) se midieron las siguientes variables en una muestra de seis plantas por unidad experimental al momento del corte de la planta (50 DDS):

Materia fresca de hojas y tallo (g). Se disgregó la planta y por separado el peso fue registrado con una balanza digital. *Materia seca de hojas y tallo (g).* Una vez registrado el peso fresco se colocaron en bolsa de papel por separado las estructuras y se introdujeron en una estufa Thelco 6M, a temperatura constante de 75 °C, hasta peso constante y fueron pesados con una balanza analítica Sartorius 1206 MP.

F) Lechuga orejona

Además de las variables descritas en el primer experimento (*Largo de planta y Peso de planta*) se midieron las siguientes variables en una muestra de seis plantas por unidad experimental al momento del corte de la planta:

Materia fresca de hojas y tallo (g). Se disgregó la planta y por separado el peso fue registrado con una balanza digital. *Materia seca de hojas y tallo (g).* Una vez registrado el peso fresco se colocaron en bolsa de papel por separado las estructuras y se introdujeron en una estufa Thelco 6M, a temperatura constante de 75 °C, hasta peso constante y fueron pesados con una balanza analítica Sartorius 1206 MP.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. EXPERIMENTO 1. EVALUACIÓN DE DENSIDADES DE SIEMBRA

6.1.1. Cultivo de brócoli

Los resultados del análisis de varianza mostraron efecto significativo para las variables materia fresca de hojas, área foliar estimada y número de ramillas de la inflorescencia; el resto de las variables evaluadas no mostraron efectos debido a la densidad de siembra (Cuadro 11).

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para brócoli.

Variables medidas	Tratamientos	Bloques	Error	Total	CV	Media
Grados de libertad	2	3	6	11		
Altura de planta	5.07	12.13	4.63		6.83	31.5
Diámetro de tallo	2.13	0.64	0.66		7.86	10.3
Número de ramas	0.001	0.002	0.002		44.92	2.33
Materia fresca de hojas	48835.97*	6468.65	9044.83		16.19	587
Área foliar estimada	101152.24*	1191.10	4924.80		8.29	845.79
Peso de inflorescencia	3975.38	853.53	1879.20		14.77	293.4
Diámetro de inflorescencia	3.58	0.28	3.68		8.73	21.95
No. de ramillas de inflorescencia	0.003*	0.0003	0.0005		4.26	28.26
Porcentaje de áreas blancas	0.0008	0.002	0.0009		7.02	17.96

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

De acuerdo con la comparación de medias (Cuadro 15), la mayor área foliar estimada se presentó en las densidades de 7 y 10 plantas/m², lo que indicó que debido a la mayor densidad de plantas en el tratamiento a alta densidad (14 plantas/m²) el sombreamiento causado entre plantas disminuye el desarrollo del follaje. El peso total de hojas fue diferente sólo entre las densidades baja y alta (7 y 14 plantas/m²) pues al no tener mucho sombreamiento en baja densidad, el grosor de los tejidos debió de ser mayor para protección por deshidratación de

los mismos, contrario al hecho de tener hojas delgadas cuando se encuentran sombreadas en altas densidades.

El número de ramillas de la inflorescencia fue diferente entre las densidades 10 y 14 plantas/m² como una posible consecuencia de mayor producción de fotosintatos requeridos para su desarrollo, proporcionados por la mayor área foliar en la densidad media respecto a la densidad alta (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias de las variables área foliar estimada, materia fresca de hojas, número de ramillas de inflorescencia y diámetro de inflorescencia evaluadas bajo tres densidades de siembra para brócoli.

Densidad plantas/m ²	Área foliar estimada (cm ²)	Materia fresca de hojas (g)	Número de ramillas de inflorescencia	Diámetro de inflorescencia (cm)
14	663.2 b ^z	463 b	25.8 b	20.875 a
10	953.91 a	622 ab	29.7 a	22.375 a
7	920.28 a	676 a	29.2 ab	22.625 a
DMS	152.25	206.33	3.67	4.16

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05).

El porcentaje de áreas blancas de la inflorescencia es una variable importante cuando el productor desea vender su cosecha para producto congelado o conserva, porque estas áreas son desechadas por no tener coloración verde y eso disminuye la ganancia en la venta, pero el análisis de varianza mostró que no hay diferencia estadística significativa entre las densidades de siembra establecidas (Cuadro 11).

Investigaciones previas llevadas a cabo por Thompson y Taylor (1976) resultaron que a mayor densidad de plantación es más rápida la madurez de la inflorescencia principal, menor diámetro de inflorescencia y menor presencia de brácteas y tallo hueco, de igual forma Chung (1985), encontró que el rendimiento del cultivo de brócoli fue menor en plantas sembradas en baja densidad, aunque en este caso la diferencia fue marcada por la consideración de la suma del rendimiento de las ramas secundarias producidas.

En la presente investigación se obtuvo el mismo porcentaje de tallo hueco en la inflorescencia aún cuando se incrementó la densidad, mientras que Limongelli (1979) encontró que el porcentaje de tallo hueco se incrementa con el aumento en densidad como producto de un espaciamiento excesivo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de medias del porcentaje de incidencia para variables de calidad evaluadas en el cultivo de brócoli.

Densidad (plantas/m ²)	Cabeza Compacta	Superficie Lisa	Variables (%)		
			Hojas en la Inflorescencia	Tallo Hueco	Quemaduras en la inflorescencia
7	87.50 a ^z	43.75 a	0.00 a	62.50 a	0.00 a
10	81.25 a	75.00 a	6.25 a	56.25 a	0.00 a
14	62.50 a	62.50 a	0.00 a	18.75 a	18.75 a
DMS	29.9	79.3	15.6	29.9	63.2

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05).

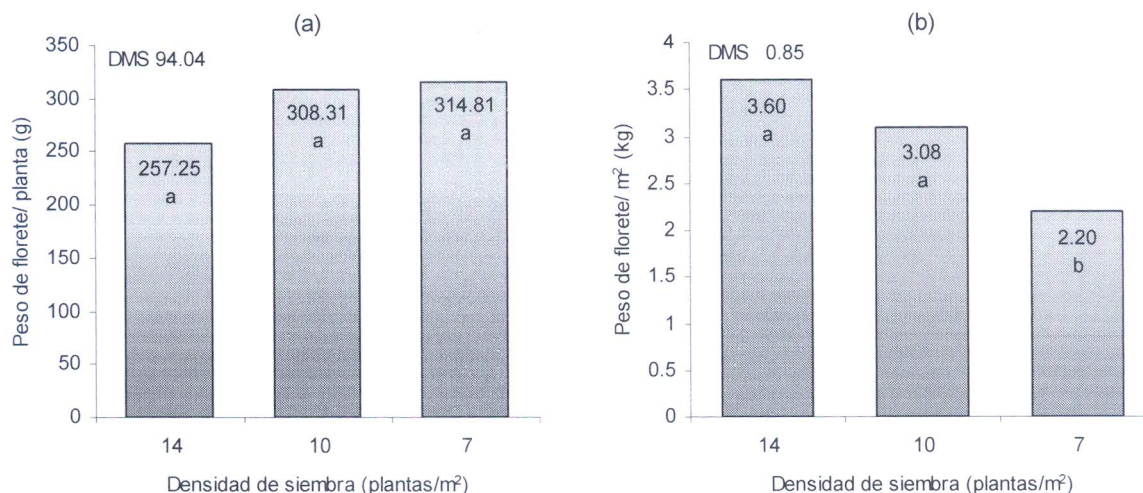
De acuerdo con el mismo autor, la temperatura alta durante el periodo de crecimiento puede ocasionar crecimiento excesivo del follaje, puede retrasarse la maduración y las cabezas pueden producirse disparejas y menos compactas además de que puede presentarse tallos huecos y brácteas en la inflorescencia.

Las temperaturas máximas presentadas en el invernadero durante la fase de crecimiento (octubre a noviembre) oscilaron entre 27 y 32 °C, sin embargo en este experimento no se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos para lo compacto de la inflorescencia, la superficie lisa o la presencia de brácteas (Cuadro 13).

Las quemaduras en la inflorescencia pudieron ser causadas por la presencia de gotas de agua que hacen el efecto de lupa y con los rayos del sol incidiendo en ellas con las consecuentes marcas en los tejidos.

Como parámetro de rendimiento del cultivo, se tomó el peso de las inflorescencias, habiendo obtenido un promedio de peso de inflorescencia por planta de 314, 308 y 257 gramos para la densidad baja, media y alta, respectivamente. No obstante, al considerar el rendimiento por unidad de superficie se obtuvo una producción de 2.20, 3.08 y 3.60 kg/m² para la densidad baja, media y alta respectivamente, siendo estadísticamente mayores las densidades alta y media (Figura 2). El diámetro de inflorescencia no varió estadísticamente entre densidades de acuerdo al análisis de varianza, oscilando entre 20.9 y 22.6 cm (Cuadro 12) valor que es mayor que el obtenido en el cultivo en campo abierto que varía de 7.5 a 15 cm (Limongelli, 1979) por lo que no demerita la calidad del producto.

A cielo abierto, Limongelli (1979), señala que el rendimiento total de brócoli oscila entre 10 – 20 toneladas por hectárea y si se considera el rendimiento de la densidad alta (3 kg/m²) en invernadero se tendrá un potencial de 30 ton·ha⁻¹.



^z Valores con la misma letra dentro de barras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05).

Figura 2. Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de brócoli.

De acuerdo con estos análisis se obtuvo que las densidades 10 y 14 plantas/m² fueron las de mayor rendimiento por superficie.

6.1.2. Cultivo de chícharo

El análisis de varianza de tratamientos de densidad de población, mostró efecto significativo para la variable rendimiento de vainas/planta; el resto de las variables no tuvieron efectos significativos (Cuadro 14).

De acuerdo con Jacomini (1986), un elevado número de frutos por planta suele ir acompañado por una reducción en el número de semillas que encierra cada

vaina y viceversa, no obstante, en las densidades manejadas se obtuvo un promedio de cinco granos bien formados contra un grano sin formar (Cuadro 15).

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para chícharo.

Variables medidas	Tratamientos	Bloques	Error	Total	CV	Media
Grados de libertad	2	3	42	47		
No. de granos llenos por vaina	0.02	0.06	0.170		7.85	5.25
No. de granos vacíos por vaina	0.04	0.03	0.157		39.43	1.00
Longitud de vaina	0.04	0.01	0.196		5.80	7.63
Rendimiento de vainas/planta	3685.16*	775.18	198.3		13.92	60.79

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 15. Comparación de medias para el número de granos llenos, vacíos, vainas/planta y vainas/m² evaluadas en chícharo bajo tres densidades de siembra.

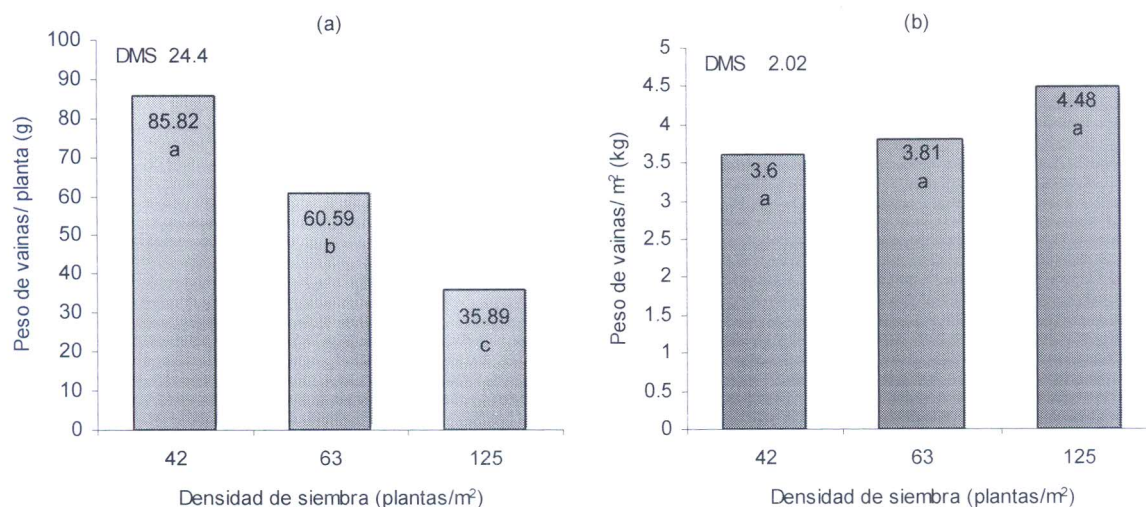
Densidad Plantas/m ²	Número de granos llenos	Número de granos vacíos	Número de vainas/planta	Número de vainas/m ²
125	5.25 a ^z	0.95 a	1289.5 a	161223 a
63	5.29 a	1.05 a	1113.8 a	70149 b
42	5.18 a	1.01 a	1138.0 a	47795 b
DMS	0.35	0.34	595.7	75371

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El rendimiento promedio de vainas fue de 35.89, 60.59 y 85.82 g/planta para la densidad alta, media y baja, respectivamente con diferencia significativa entre las tres densidades (Figura 3). Sin embargo, al considerar el rendimiento por unidad de superficie se obtuvieron 3.6, 3.8 y 4.48 kg/m² para la densidad baja, media y alta, aunque sin diferencia significativa.

Esto significa mayor producción de vainas de menor peso en densidad alta y menor producción de vainas de mayor peso en densidad baja y que debido al

mayor número de plantas sembradas en alta densidad hace equiparable el rendimiento obtenido (Cuadro 15).



^z Valores con la misma letra dentro de barras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Figura 3. Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de chícharo.

Se obtuvo que aun considerando la producción por unidad de superficie, las tres densidades presentaron el mismo rendimiento.

6.1.3. Cultivo de col

El resultado del análisis de varianza mostró diferencia significativa en todas las variables (Cuadro 16) lo que indicó que la densidad de siembra si afecta el rendimiento del cultivo.

Cuadro 16. Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables medidas para el cultivo de col.

Variables medidas	Tratamientos	Bloques	Error	Total	CV	Media
Grados de libertad	2	3	6	11		
Peso de col	675897.39*	106116.54	55742.03		20.31	1162
Diámetro de col	497.19*	9.20	56.49		16.58	45.30
Materia fresca de hojas	65561.59*	2773.21	7932.12		13.43	662.9
Área foliar estimada	43949.21*	6315.44	8088.78		14.93	602.3

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

Para el área foliar estimada, peso de col, diámetro y materia fresca de hojas se presentó diferencia significativa entre la densidad baja y alta (8 y 17 plantas/m²) como se muestra en el Cuadro 17. El área foliar estuvo relacionada de forma directa con el espacio que las plantas tuvieron para su crecimiento, así la densidad baja presentó el mayor valor de área foliar y la densidad alta el menor valor, además el sombreamiento a las plantas en las líneas centrales de siembra en la densidad alta no permitió el desarrollo de la cabeza, teniendo coles muy pequeñas e incluso plantas sin formación de la misma.

Cuadro 17. Comparación de medias de las variables área foliar estimada, peso de “cabeza”, diámetro de “cabeza” y materia fresca de hojas evaluadas bajo tres densidades de siembra para brócoli.

Densidad plantas/m ²	Área foliar estimada (cm ²)	Peso de “cabeza” (g)	Diámetro de “cabeza” (cm)	Materia fresca de hojas (g)
17	484.3 b ^z	751 b	32.9 b	526.7 b
11	638.0 ab	1160 ab	48.3 ab	681.3 ab
8	684.6 a	1574 a	54.6 a	780.7 a
DMS	195.1	512	16.3	193.2

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

Cabe mencionar que el tamaño es una variable importante al momento de la comercialización puesto que para algunos compradores como los restauranteros la preferencia se inclina hacia los tamaños grandes por la facilidad para la preparación de platillos, pero para los núcleos familiares muchas veces las amas de casa prefieren comprar porciones de col y en este sentido las plantas en densidad de 17 plantas/m² producen menor tamaño respecto a las que crecen en densidades de 8 y 11 plantas/m² (Cuadro 17).

Las temperaturas constantes mayores a 30 °C influyen en la formación de hojas sueltas y deformación de la cabeza; la falta de humedad favorece el escaso crecimiento de las plantas y la densidad de siembra influye en el sombreamiento entre plantas (Guencov, 1974). La comparación de medias de los datos obtenidos, mostró que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos para cabezas redondas, semiredondas y acorazonadas. La producción de los repollos fue diferente sólo entre las densidades 8 y 17 plantas/m², pero estadísticamente igual entre las densidades 8 y 11 plantas/m², así como entre 11 y 17 plantas/m², debido al sombreamiento entre plantas, sobre todos las de las líneas centrales del cultivo, ya que en ellas es donde se observó que las plantas no se desarrollaron porque las plantas crecidas alrededor provocaban sombra, y en consecuencia evitaban su crecimiento (Cuadro 18).

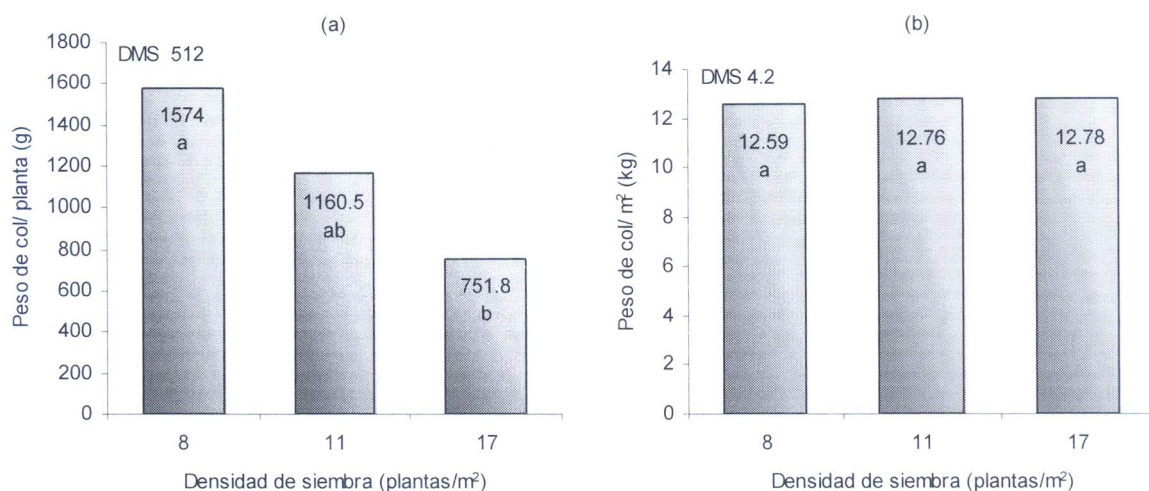
Cuadro 18. Comparación de medias del porcentaje de incidencia de variables cualitativas en el cultivo de “cabeza” de col.

Densidad (plantas/m ²)	Variables medidas (%)			
	Redondas	Semiredondas	Acorazonadas	Sin producción
8	43.75 a ^z	31.25 a	18.75 a	6.25 b
11	32.50 a	35.00 a	22.50 a	10.00 ab
17	17.18 a	34.38 a	12.50 a	35.94 a
DMS	40.6	44.3	21.6	28.1

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

El peso de la col se tomó como la variable de rendimiento para el cultivo. Se encontró que los valores para la densidad baja (1574 g) y media (1160.5 g) son estadísticamente iguales, pero la densidad baja fue mayor respecto de la densidad alta (751.8 g). Sin embargo, al considerar el rendimiento por

superficie, no se observó diferencia significativa entre las densidades evaluadas (Figura 4).



^z Valores con la misma letra dentro de barras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Figura 4. Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de col.

Entonces, en el rendimiento considerado por superficie, es equiparable tener 8 plantas que pesen 1.5 kilos o 17 plantas que pesen 751 gramos. No obstante, este cultivo es vendido pieza lo que implica que aun cuando el rendimiento no es diferente entre densidades por superficie sembrada, la rentabilidad si se verá afectada por el número de plantas, pues a mayor número de piezas cosechadas, el ingreso también será mayor.

Se obtuvo que las tres densidades presentaron el mismo rendimiento, sin haber diferencia significativa entre ellas aun considerando la producción por superficie cultivada.

6.1.4. Cultivo de espinaca

El resultado del análisis de varianza mostró diferencia significativa solamente en las variables número de hojas grandes, materia seca de raíz y longitud de peciolo (Cuadro 19).

Cuadro 19. Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para espinaca.

Variables medidas	Tratamientos	Bloques	Error	Total	CV	Media
Grados de libertad	2	3	6	11		
Peso de planta	65.15	281.248	162.5		13.77	92.54
Materia fresca de hojas	54.18	286.357	145.5		13.51	89.30
Número de hojas chicas	0.005	0.011	0.0		8.76	7.5
Número de hojas medianas	0.00	0.001	0.0		6.42	6.4
Número de hojas grandes	0.06*	0.027	0.0		16.83	4.29
Materia seca de hojas	1.42	0.496	0.4		13.64	4.78
Materia seca de raíz	0.02*	0.020	0.0		17.75	0.352
Longitud de hoja	27.94	21.160	6.2		8.35	29.99
Longitud de peciolo	20.59*	8.823	2.7		11.62	14.23
Área foliar	884.33	777.308	1176.8		16.89	203.09
No. de plantas chicas	0.024	0.128	0.03		60.80	4.4
No. de plantas medianas	0.025	0.005	0.01		18.43	13.2
No. de plantas grandes	0.013	0.048	0.03		29.71	12.33

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

De acuerdo con la comparación de medias, el mayor número de hojas grandes (en términos de longitud) así como en longitud del peciolo, se obtuvo en las densidades alta y media al ser estadísticamente iguales (Cuadro 20), esto indica que conforme se desarrollan las plantas y el follaje aumenta, las plantas comienzan a competir por luz y espacio, provocando el crecimiento en longitud de las hojas en densidades altas para mejorar la captación del recurso, a su vez es una ventaja para el productor al tener plantas de mejor apariencia para comercializar.

Cuadro 20. Comparación de medias de las variables número de hojas grandes, materia seca de raíz y longitud de pecíolo evaluadas bajo tres densidades de siembra para espinaca.

Densidad plantas/m ²	Número de hojas grandes	Materia seca de raíz (g)	Longitud de pecíolo (cm)
100	5.75 a ^z	0.262 b	16.6 a
50	4.31 ab	0.418 a	13.8 ab
33	2.81 b	0.375 ab	12.16 b
DMS	3.06	0.135	3.58

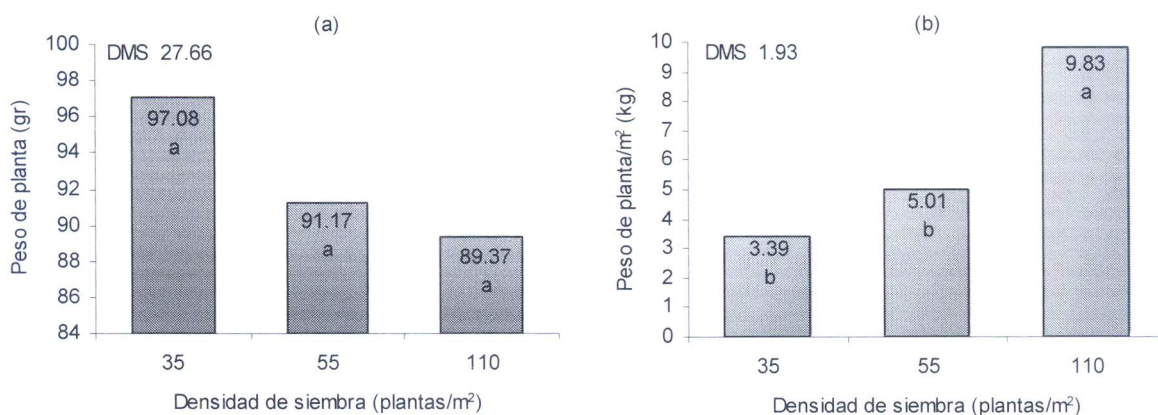
^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

El número de plantas chicas, medianas o grandes obtenidas en una parcela también puede ser un factor importante para la comercialización de esta especie, pero no se observó diferencia significativa entre las densidades probadas (Cuadro 19).

El peso seco representa la capacidad de acumulación de material estructural relacionado con el aparato fotosintético de la planta (Taiz y Zeiger, 1998) y aun cuando se manejaron diferentes densidades de siembra, el peso seco de hojas y el área foliar no mostraron diferencias significativas.

Es necesario considerar también el manejo en las labores de cultivo de las diferentes hortalizas y aun cuando la densidad alta de plantación puede favorecer altos rendimientos en la comercialización, el manejo de la densidad alta de las espinacas ocasiona el maltrato de la planta porque las hojas crecen bastante entrelazadas al estar muy cerca unas de otras, además del mayor tiempo invertido en la cosecha.

En la comparación de medias para el peso por planta no presentó diferencia entre las tres densidades, en tanto que la comparación de medias para el peso por superficie se obtuvo 3.39, 5.01 y 9.83 kg/m², siendo la densidad alta la de mayor rendimiento (Figura 5).



^z Valores con la misma letra dentro de barras son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Figura 5. Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de espinaca.

Este tipo de hortaliza se vende regularmente por manojo, por lo que aun cuando las matas sean de menor peso o tamaño, la siembra en alta densidad presenta mayor número de plantas y por tanto mayor cantidad de manojos. Sin embargo, para comercio al mayoreo, los manojos se manejan por peso y de cualquier modo la densidad alta presenta la mayor producción.

Para el cultivo de espinaca bajo estas consideraciones la densidad que presentó mayor rendimiento fue 110 plantas/m².

6.1.5. Cultivo de lechuga de cabeza

Los resultados del análisis de varianza mostraron efecto significativo para la variable peso de cabeza, en tanto que la densidad de siembra no tuvo efecto sobre el diámetro de cabeza (Cuadro 21).

Cuadro 21. Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para lechuga de cabeza.

Fuente de variación	Grados de libertad	Variables medidas	
		Diámetro de "cabeza"	Peso de "cabeza"
Tratamientos	2	88.22	30341.81*
Bloques	3	19.61	826.13
Error	6	18.42	1846.19
Total	11		
CV		12.18	9.97
Media		35.21	430.82

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

Como resultado de la comparación de medias se obtuvo que la densidad baja y media (12 y 14 plantas/m²) tuvieron el mayor peso de "cabeza". En diámetro de cabeza y peso de cabeza por m² no hubo diferencia entre las tres densidades (Cuadro 22).

Cuadro 22. Comparación de medias de las variables diámetro de cabeza (DC), peso de "cabeza"/planta (PCP), peso de "cabeza"/m² (PCM²) y cabeza compacta evaluadas bajo tres densidades de siembra para lechuga de cabeza.

Densidad plantas/m ²	DC (cm)	PCP (g)	PCM ² (kg)	Cabeza compacta
16	29.8 a ^z	333.61 b	5.3 a	17.1 a
14	37.2 a	457.14 a	6.4 a	21.4 a
12	38.5 a	501.73 a	6.0 a	20.8 a ^z
DMS	9.31	93.21	1.3	26.9

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

Esto indica que a pesar del mayor número de plantas en alta densidad, el peso de la cabeza de lechuga por superficie es equiparable a la cantidad obtenida con menor número de plantas en la densidad baja, porque presentaron mayor peso, por lo que utilizar cualquiera de las tres densidades de siembra planteada representó el mismo rendimiento. Sin embargo, para fines de rentabilidad del cultivo, un mayor número de lechugas implica mayor ingreso por lo que 16 plantas/m², fue considerada como la densidad más rentable.

Martinac y Borošić (1986) encontraron que en altas densidades de plantación de lechuga mantequilla, se obtiene alta producción, pero el tamaño de las lechugas es pequeño. Sin embargo, en este experimento para el diámetro de cabeza no se detectó diferencia significativa (Cuadro 22) aun cuando se utilizaron tres densidades de siembra, considerando la posibilidad de que la distancia entre plantas, debido al arreglo de la siembra (tres bolillo), le proporcionó el suficiente espacio para su crecimiento.

De acuerdo con SIAP-SAGARPA (2008), en lechuga cultiva a cielo abierto se tiene una producción promedio de 20 ton·ha⁻¹, y tomando la producción de lechuga para la densidad baja (6 kg/m²) evaluada se tiene una producción potencial de 60 ton·ha⁻¹ en invernadero que es mucho mayor que la de campo abierto.

Las temperaturas altas durante el periodo de crecimiento, como las presentes en el invernadero de 32 a 35 °C, puede estimular la formación de plantas poco

compactas para el caso de la lechuga (Álvarez y Richardson, 1956); sin embargo, en esta investigación la comparación de medias del porcentaje de cabezas compactas no mostró diferencia significativa entre las densidades evaluadas (Cuadro 22).

6.1.6. Cultivo de lechuga orejona

Los resultados del análisis de varianza mostraron que el peso de planta es influenciado por la densidad de siembra (Cuadro 23), pero no en la longitud de planta.

Cuadro 23. Cuadrados medios del análisis de varianza en las variables consideradas para lechuga orejona.

Variables medidas	Tratamientos	Bloques	Error	Total	CV	Media
Grados de libertad	2	3	6	11		
Longitud de planta	2.45	3.51	0.84		2.31	39.79
Peso de planta	7788.54*	4489.57	857.57		5.38	543.31

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

En la comparación de medias del peso por planta se obtuvo que las densidades baja y media fueron estadísticamente iguales y mayores a la densidad alta, pero el análisis por superficie mostró que las densidades media y alta fueron estadísticamente iguales y de mayor peso que la densidad baja (Figura 6).

Aun cuando la estructura de crecimiento de la planta (posición erecta) permite la alta densidad de plantación, se observó disminución en el peso por planta en la densidad de 16 plantas/m² (Figura 6). No obstante el rendimiento comercial

es mejor cuando se efectúa una evaluación con base en la superficie de siembra, debido a que el producto se vende por pieza.

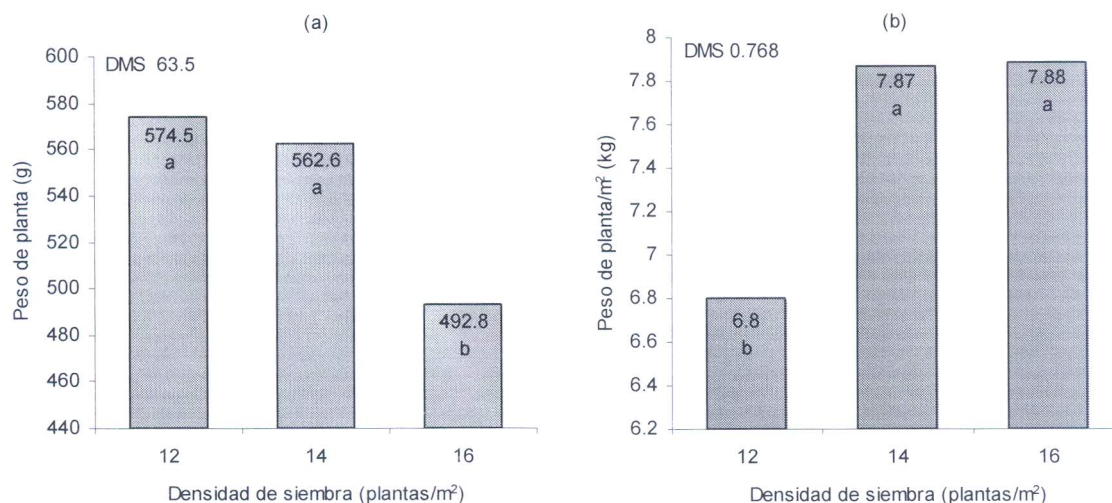


Figura 6. Comparación del rendimiento promedio obtenido por planta (a) y por metro cuadrado (b) para el cultivo de lechuga orejona.

Se obtuvo que las densidades que favorece el mayor rendimiento para el cultivo de lechuga orejona fueron 14 y 16 plantas/m².

Aparte de la discusión de los resultados de los dos experimentos realizados, como resultado parcial la investigación se conformó un manual del manejo técnico de los diferentes cultivos estudiados a fin de enriquecer el paquete tecnológico del huerto comercial hidropónico, en el cual se incluyó la descripción de las especies, variedades, siembra, labores culturales y cosecha. El manual se presenta en el Anexo I de este trabajo y en el apartado 6.3. se muestra un análisis simple de rentabilidad de las especies hortícolas estudiadas como parte del Huerto Comercial Hidropónico.

6.2. EXPERIMENTO 2. EVALUACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS

6.2.1. ANÁLISIS DE RENDIMIENTO PARA TODOS LOS CULTIVOS

De los datos obtenidos para los cinco cultivos, se encontró que la concentración de solución nutritiva tuvo efecto significativo sobre el rendimiento sólo en la espinaca y lechuga de cabeza (Cuadro 24).

Cuadro 24. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de rendimiento de cinco cultivos olerícolas.

Especie	Peso de: GL	Tratamientos 2	Bloques 4	Error 8	Total 14	CV	Media
Brócoli	Inflorescencia	331.71	4646.02	1672.52		20.59	198.53
Chícharo	Vainas	57021.90	10282.85	23190.71		19.02	3201.2
Col	"Cabeza"	140676.42	243076.57	98063.44		23.11	1354.7
Espinaca	Planta	3403.60*	675.87	755.52		25.08	109.57
Lechuga cabeza	"Cabeza"	40107.27*	4647.19	10861.03		15.42	675.76
Lechuga orejona	Planta	14956.74	5786.76	4945.06		20.08	350.14

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación; GL: Grados de libertad.

La comparación de medias indicó que en brócoli, chícharo, col y lechuga orejona no hubo diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 25) pero en espinaca y lechuga de cabeza la concentración de la solución nutritiva si tuvo efecto sobre el rendimiento.

Cuadro 25. Comparación de medias de la variable de rendimiento para los seis cultivos evaluados.

Especie	Brócoli	Chícharo	Col	Espinaca	Lechuga de Cabeza	Lechuga orejona
Tratamiento	Peso (g) de:					
	Inflorescencia	Vainas	Cabeza	Planta	Cabeza	Planta
100	207.53 a ^z	3692.6 a	1355.8 a	108.30 ab	726.50 ab	305.43 a
75	196.40 a	2918.0 a	1521.9 a	105.20 ab	756.20 a	355.87 a
50	191.67 a	2993.2 a	1186.4 a	80.73 b	666.83 ab	314.04 a
75NH ₄ ⁺	NA	NA	NA	144.06 a	553.53 b	425.23 a
DMS	73.9	1100.8	565.92	51.61	195.68	132.04

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). NA: No analizado

Para espinaca el valor más bajo fue para la concentración al 50 % que pudo diferenciarse estadísticamente de la solución al 75 % con amonio en la última semana, presentando esta última mayor rendimiento que la primera, que pudo deberse a que la concentración de elementos en la solución al 50 % estuviera bajo el nivel de suficiencia y por ello el cultivo no presentó mayor rendimiento.

Economakis (1990) encontró que en lechugas de tipo mantequilla, un rango óptimo de CE para su cultivo se encuentra entre 2.00 a 3.00 mS. Para el presente experimento en lechuga de cabeza, la solución nutritiva al 75 % a base de nitratos (con 2.58 mS de CE) dio mayor rendimiento que con la solución al 75 % con amonio en la última semana (756 g/planta). Glenn *et al.* (1984) mediante análisis de crecimiento en lechugas y espinacas, obtuvieron que lechugas tipo mantequilla fueron más eficientes en la utilización de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), pues aun en valores altos de PAR se obtuvo mayor tasa de crecimiento, por lo que aun cuando se suministró una fuente de nitrógeno de rápida asimilación (amonio), la lechuga en la solución al 75 % de concentración, presentó mayor rendimiento.

La lechuga orejona se cosechó a los 50 DDT porque se notó inducción a la floración en aproximadamente el 30% de las plantas. Robredo *et al.* (2000) realizaron experimentos con diferentes soluciones nutritivas y encontraron que de forma independiente a ello, las variedades de lechugas evaluadas presentaron alargamiento para floración, luego de 60 días de cultivo, causado por la temperatura durante su período de crecimiento pues de acuerdo a la

literatura temperaturas mayores a 28 °C favorecen la floración (Álvarez y Richardson, 1956).

En los casos del brócoli, chícharo y col aun al disminuir la concentración de elementos nutritivos en la solución, se observó el mismo rendimiento entre tratamientos, lo que redituó en ahorro económico por la utilización de menor cantidad de fertilizantes, sin cambiar el rendimiento del cultivo.

6.2.2. ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa entre las diferentes concentraciones de solución nutritiva para la concentración de elementos (P, K, Ca, Mg y N) analizados en los cultivos de brócoli, chícharo, col (en hojas fotosintéticas y en la “cabeza”) y espinaca (datos no mostrados) y la comparación de medias también mostró que no hubo diferencia estadística en la concentración de los elementos analizados (P, K, Ca, Mg y N) entre las concentraciones de solución nutritiva empleadas para los tratamientos (Cuadro 26 y 27).

Esto indica que es posible disminuir la concentración de la solución nutritiva incluso al 50 % de tal forma que no se afecta la concentración de los distintos elementos para estos cultivos. En la espinaca además puede darse aporte de N en forma de amonio al final del desarrollo del cultivo y aun así no tener variación en la concentración nutrimental.

Cuadro 26. Comparación de medias de contenido de P, K, Ca, Mg y N en tres concentraciones de solución nutritiva para brócoli, chícharo, col (hojas fotosintéticas y "cabeza").

Especie	Concentración	P	K	Ca %	Mg	N
Brócoli	100	0.75 a ^z	1.38 a	0.37 a	0.29 a	5.05 a
	75	0.79 a	1.42 a	0.34 a	0.29 a	5.04 a
	50	0.79 a	1.38 a	0.29 a	0.28 a	5.16 a
	DMS	0.29	0.08	0.13	0.09	0.07
	Media	0.780	1.399	0.335	0.290	5.08
Chícharo	100	0.55 a	1.55 a	0.32 a	0.28 a	4.05 a
	75	0.56 a	1.43 a	0.33 a	0.36 a	3.66 a
	50	0.51 a	1.49 a	0.31 a	0.29 a	3.97 a
	DMS	0.43	0.22	0.16	0.12	0.97
	Media	0.543	1.493	0.325	0.314	3.89
Col (hojas fotosintéticas)	100	0.54 a	1.93 a	0.35 a	0.28 a	3.11 a
	75	0.53 a	2.12 a	0.57 a	0.35 a	3.47 a
	50	0.54 a	1.98 a	0.39 a	0.35 a	2.78 a
	DMS	0.10	0.33	0.52	0.14	0.83
	Media	0.544	2.017	0.440	0.333	3.126
Col ("cabeza")	100	0.54 a	2.02 a	0.31 a	0.23 a	2.57 a
	75	0.60 a	2.01 a	0.32 a	0.21 a	2.43 a
	50	0.54 a	1.88 a	0.34 a	0.22 a	2.77 a
	DMS	0.07	0.24	0.22	0.05	1.01
	Media	0.565	1.976	0.324	0.225	2.594

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

Cuadro 27. Comparación de medias de contenido de P, K, Ca, Mg y N en cuatro concentraciones de solución nutritiva para espinaca.

Especie	Concentración	P	K	Ca %	Mg	N
Espinaca	100	0.67 a	2.35 a	0.56 a	0.79 a	3.89 a
	75	0.79 a	2.91 a	0.90 a	1.04 a	4.00 a
	50	0.67 a	3.30 a	1.08 a	1.35 a	3.69 a
	75 NH ₄ ⁺	0.58 a	2.77 a	0.86 a	1.14 a	4.33 a
	DMS	0.99	2.52	1.42	0.99	0.74
	Media	0.684	2.837	0.852	1.084	3.980

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

Para el cultivo de lechuga de cabeza el resultado del análisis de varianza para la concentración de elementos mostró diferencia significativa para el Mg, no así para el resto de los elementos analizados (Cuadro 28).

Cuadro 28. Cuadrados medios del análisis de varianza en contenido de P, K, Ca, Mg y N para tejido vegetal de lechuga de cabeza y lechuga orejona.

Especie	Fuente de variación	Grados de libertad	Elementos analizados				
			P	K	Ca	Mg	N
Lechuga de cabeza	Tratamientos	2	0.0125	0.3318	0.0113	0.0522*	0.1309
	Bloques	2	0.0198	0.2426	0.0132	0.0192	0.0761
	Error	4	0.0199	0.1126	0.013	0.0096	0.1089
	Total	8					
	CV		20.15	8.6	26.36	14.57	11.19
Lechuga orejona	Tratamientos	2	0.0714*	0.2150	0.0559*	0.0194	0.3585*
	Bloques	2	0.0108	0.1088	0.0039	0.0125	0.1151
	Error	4	0.0068	0.1262	0.0071	0.0185	0.0692
	Total	8					
	CV		8.75	10.15	16.12	24.92	8.62

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

En la comparación de medias para los elementos, los niveles de concentración de Mg mostraron el nivel más alto para la solución 100 % y la menor para la concentración 75 NH_4^+ ; sin embargo, la solución 75 NH_4^+ resultó estadísticamente igual a las soluciones 75 y 50 % y estas a su vez no difieren estadísticamente de la solución al 100 % (Cuadro 29).

En el cultivo de lechuga orejona hubo diferencia significativa en la concentración de P, Ca y N de acuerdo al resultado del análisis de varianza para las cuatro concentraciones de solución nutritiva empleadas (Cuadro 28). El resto de los elementos no mostró diferencia estadística.

Al utilizar la solución con amonio, se observó la disminución de concentración de magnesio, esto debido a la absorción competitiva que ambos cationes pueden presentar al momento de la absorción (Mills y Benton, 1996), esto aunque el tratamiento con amonio sólo haya durado una semana.

Cuadro 29. Comparación de medias de contenido de P, K, Ca, Mg y N en tres concentraciones de solución nutritiva para lechuga de cabeza y lechuga orejona.

Especie	Concentración	P	K	Ca %	Mg	N
Lechuga de cabeza	100	0.62 a	3.74 a	0.39 a	0.85 a	2.67 a
	75	0.77 a	3.97 a	0.43 a	0.68 ab	2.93 a
	50	0.71 a	3.55 a	0.38 a	0.59 ab	3.02 a
	75 NH ₄ ⁺	0.68 a	4.33 a	0.51 a	0.55 b	3.16 a
	DMS	0.39	0.94	0.32	0.27	0.93
	Media	0.699	3.901	0.432	0.672	2.948
Lechuga orejona	100	1.06 a ^z	3.58 a	0.32 b	0.43 a	3.38 a
	75	1.04 a	3.80 a	0.63 a	0.59 a	3.20 ab
	50	0.72 b	3.17 a	0.57 a	0.54 a	2.58 b
	75 NH ₄ ⁺	0.93 ab	3.43 a	0.56 ab	0.60 a	3.01 ab
	DMS	0.23	1.0	0.23	0.38	0.74
	Media	0.944	3.500	0.522	0.545	3.047

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (P≤0.05)

La comparación de medias mostró para P que las soluciones 75, 100 y 75 NH₄⁺ fueron iguales, pero las dos primeras fueron mayores que la concentración al 50 %; ésta resultó estadísticamente igual a la solución 75 NH₄⁺. En el caso del Ca las soluciones 75 y 50 % fueron estadísticamente mayores que la solución al 100 %, pero iguales al tratamiento 75 NH₄⁺. En el caso de N la solución al 100 % fue mayor sólo con respecto a la solución al 50 %, ya que respecto a los tratamientos 75 y 75 NH₄⁺ resultó igual; también estos dos tratamientos

resultaron estadísticamente iguales respecto a la solución al 50 %. En K no hubo ninguna diferencia estadística (Cuadro 29).

Los resultados indican que la disminución de la concentración de elementos al 50 %, provocó reducción en la concentración de nitrógeno y fósforo en los tejidos, los cuales son relevantes para el metabolismo, pues el nitrógeno es un elemento básico para de elementos constituyentes para la planta y el fósforo como fuente de energía de los procesos metabólicos (Fageria *et al.*, 1991), por lo que es importante no disminuir demasiado su concentración para no afectar el rendimiento.

Brócoli, chícharo, col y lechuga orejona obtuvieron el mismo rendimiento con las tres concentraciones de solución nutritiva (100, 75 y 50 %); lechuga de cabeza con solución al 75 % de concentración y espinaca con solución 75 NH_4^+ , sin embargo, una de las finalidades del manejo de un huerto hidropónico es tener en un área todo el conjunto de hortalizas manejadas con un mismo sistema de riego, por lo que bajo esta consideración y con base a los resultados obtenidos la solución al 75 % de concentración es la que se recomienda utilizar para el huerto hidropónico, sin que ello represente la disminución del rendimiento en los diferentes cultivos.

De forma muy importante para el productor, la disminución de la concentración en la solución nutritiva permite a la vez reducción en el costo de operación, al reducir la cantidad de fertilizantes utilizada, lo que implica el menor costo de

producción y consecuentemente aumento de la rentabilidad, sobre todo en momentos en que los fertilizantes tienen altos precios en el mercado.

6.2.3. ANÁLISIS DE NITRATOS

Los resultados del análisis de varianza para el contenido de NO_3 mostró diferencia significativa para el cultivo de espinaca y lechuga orejona, pero no para el cultivo de lechuga de cabeza (Cuadro 30).

En el cultivo de espinaca la mayor concentración de NO_3 se presentó en la concentración al 100 % significativamente mayor que en la solución al 75 % con sustitución de NO_3^- por NH_4^+ la última semana de cultivo y para la lechuga orejona la mayor concentración se obtuvo en la solución al 75 %, significativamente diferente que la solución al 100 % de concentración En lechuga de cabeza no hubo ninguna diferencia (Cuadro 31).

Cuadro 30. Cuadrados medios del análisis de varianza para el contenido de NO_3 en espinaca, lechuga de cabeza y lechuga orejona.

	Tratamientos	Bloques	Error	Total	CV
Espinaca	15462988.2 (3)*	1593116.6 (5)	2577090.1 (11)	(19)	24.57
Lechuga de cabeza	1172192.37 (3)	958108.16 (2)	817330.97 (6)	(11)	27.25
Lechuga orejona	3168191.09 (3)*	377639.29 (4)	758618.11 (12)	(19)	22.43

*: Significativo ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación; (): Grados de libertad.

Se han estudiado diferentes métodos de disminuir la acumulación de nitrato en los tejidos vegetales: controlando el suministro de nitrato, manipulando el metabolismo del nitrato o cultivando plantas con bajos niveles de nitrato (Blom-Zandstra, 1989) y se sabe que al utilizar amonio como la fuente de nitrato, este

tiende a ser inmediatamente transformado en amino ácidos, debido a la toxicidad que presenta este ión al modificar el gradiente osmótico en las membranas (Taiz y Zeiger, 1998).

Cuadro 31. Comparación de medias de contenido de NO_3 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en espinaca, lechuga de cabeza y lechuga orejona para cuatro concentraciones de solución nutritiva.

Concentración	Espinaca	Lechuga de cabeza	Lechuga orejona
100	8855 a ^z	3238.6 a	3261.2 b
75	6103 ab	3286.9 a	5017.4 a
50	6558 ab	4132.8 a	3407.8 ab
75 NH_4^+	4609 b	2610.2 a	3842.8 ab
DMS	3055.6	2555.3	1635.4
Media	6531.39	3317.13	3882.29

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

La concentración de los elementos en las diferentes soluciones nutritivas empleadas, fueron disminuida de forma proporcional en cada caso (75 y 50 %), no así en la solución 75 NH_4^+ , donde el aporte de nitrógeno se dio por completo en forma de amonio durante la última semana de desarrollo, con la finalidad de observar si el aporte por esta vía favorece la disminución en la presencia de nitrato en los tejidos de las plantas.

Szwonek (1986) en un experimento con lechuga y espinaca encontró que la concentración de NO_3 fue dependiente de la dosis aplicada de nitrógeno, y se incrementa de forma proporcional con el aumento en la dosis de nitrato. Schröder y Bero (2001) estudiaron tres variedades de lechuga y diferentes concentraciones de nitrato, ellos encontraron que el contenido de NO_3 varía dependiendo del nivel de nitrógeno de la solución nutritiva y que el contenido de

NO_3 disminuye conforme se da el desarrollo de la planta, pero que la radiación afecta el contenido de nitrato más que la variedad y/o la cantidad de nitrato en la solución, pues al cosechar en condiciones de alta luminosidad se reducen los niveles de nitrato por el aumento en la actividad de la enzima nitrato reductasa.

Por su parte Lyons *et al.* (1994) señalan que los altos residuos de nitratos usualmente reflejan altos niveles de nitrógeno, pues al usar excesivamente la fertilización nitrogenada fuera del rango agronómico de mayor eficiencia, el contenido de nitratos aumenta, pero no el rendimiento del cultivo.

Una vez que fue cambiado el suministro de NO_3^- por NH_4^+ en la solución nutritiva para el tratamiento 75 NH_4^+ se observó que en el caso de la espinaca hubo reducción significativa en la concentración de nitratos en el tejido (Cuadro 31) siendo 8855 y 4609 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para las concentraciones de 100 % y 75 NH_4^+ respectivamente, cuya diferencia fue estadísticamente significativa.

De acuerdo con Blom-Zandstra (1989) el nitrato actúa como un regulador osmótico y por esta razón se almacena en las vacuolas, así al eliminar el nitrato de la solución nutritiva, la concentración de este ión encontrada en los tejidos, es aquella que fue almacenada con anterioridad y el amonio entrante es utilizado directamente para la producción de elementos estructurales (aminoácidos) ya que no puede ser almacenado por su toxicidad, aumentando con ello el rendimiento del cultivo.

Para la lechuga orejona la mayor concentración de nitratos se observó en la solución al 75 % y la menor en la solución al 100 %, esto puede relacionarse con un error de muestreo ya que no hay factores ambientales o fisiológicos que indiquen el porqué de esta variación en la concentración, pero puesto que no hay reducción significativa entre los tratamientos que aportan nitrato o amonio la diferencia entre el rendimiento tampoco es significativa.

Teniendo en cuenta que se han establecido límites permisibles de contenido de nitratos por la Unión Europea y el Ministerio de Agricultura en el Reino Unido (Cuadro 3) los cuales se encuentran en el rango de 2834 a 3000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para espinacas cosechadas en otoño, es importante la diferencia entre la media de 6531 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ obtenida en este experimento y que aun considerando el nivel menor sobrepasa por mucho estos límites.

Para el caso de la lechuga los límites establecidos van de 2736 a 3500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para las cosechadas en invernadero en época de otoño (Cuadro 3) y que en el caso de la solución nutritiva con aporte de amonio fue menor (2610 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) lo que proporciona una opción viable para la reducción del contenido de nitratos en este tipo de hortalizas.

Puesto que la mayor importancia para la concentración de nitratos se observa en las hortalizas de hoja por ser reservorio de los mismos, en otros cultivos no se han registrado de forma importante. Sin embargo, existen datos en algunas publicaciones (Chung *et al.*, 2003; Ministerio de Agricultura en el Reino Unido;

Lyons *et al.*, 1994) donde se presentan algunos valores obtenidos para nitratos en Chicharo, Col y Brócoli (Cuadro 2).

La concentración de nitratos obtenidos para este experimento se presenta en el Cuadro 32 de acuerdo a los tres tratamientos empleados, encontrando diferencia significativa en las distintas soluciones empleadas para el caso del brócoli y col.

Cuadro 32. Comparación de medias de contenido de NO_3 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en tres soluciones nutritivas para col, brócoli y chicharo.

Concentración	Col ("cabeza")	Brócoli (floretes)	Chicharo (semillas)
100	15530.00 a	8198.0 b ^z	2694.6 a
75	10380.00 b	8837.7 a	3330.3 a
50	9857.33 c	8694.7 a	2926.0 a
DMS	295.07	483.79	745.89
Media	11922.4	8576.77	2983.59

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

En el caso de la col se observó una relación directa entre la disminución de la concentración en la solución nutritiva y la disminución de nitratos en el tejido. En el caso del brócoli la concentración 75 y 50 %, formaron un grupo de mayor contenido de nitratos respecto de la solución al 100 % la cual mostró la concentración más baja. Para el chicharo no hubo diferencia significativa en la concentración de nitratos entre las concentraciones de solución evaluadas.

6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para tener una perspectiva de la factibilidad de producción de un huerto comercial, es importante realizar un estudio económico que permita conocer las pérdidas o ganancias que se obtendrán a lo largo del tiempo.

En el Cuadro 33 se muestra una estimación de los costos de instalación depreciados para el invernadero por metro cuadrado útil, que será considerado para todos los cultivos.

Cuadro 33. Costos de instalación de invernadero considerando depreciación de materiales.

	Costo/m ² (\$)	Tiempo de depreciación (años)	Costo depreciado/m ² (\$)	Costo depreciado/ m ² útil (\$)
Invernadero	200	10	20	13.2
Plástico	8	2	4	2.64
Sistema de Riego	15	5	3	1.98
Tinas y sustrato	20	10	2	1.32
			Total	19.14

Para estimar la rentabilidad de los cultivos, se consideró el rendimiento y costos de operación utilizando la densidad de siembra y la concentración de solución nutritiva que presentaron mayor rendimiento para los cultivos de acuerdo a los análisis previos realizados y que se muestran en los Cuadros 34 y 35, respectivamente.

Como se observa en el Cuadro 35 existe un rubro relevante para los costos de operación, la mano de obra que es incluso equiparable al gasto de fertilizante,

Cuadro 34. Rendimiento e ingreso bruto obtenido para los cultivos de brócoli, col, espinaca, chícharo y lechuga por metro cuadrado útil anual.

	Unidad	Densidad (plantas/m ²)	Ciclos/ año	Rendimiento/ m ² /ciclo (Unidades)	Rendimiento/ m ² / año (Unidades)	Precio anual/ Unidad (\$)	Ingreso bruto/ m ² /año (\$)
Chícharo	kg	125	3.13	4.48	14.02	12.00	168.29
Col	pz	17	3.00	17	51.00	5.00	255.00
Espinaca	manejo	100	8.00	33	264.00	3.00	792.00
Brócoli	kg	14	3.79	3.60	13.64	8.00	109.14
Lechuga Orejona	pz	16	7.20	16	115.20	4.00	460.80
Lechuga de cabeza	pz	16	4.80	16	76.80	4.00	307.20

Cuadro 35. Costos de operación anuales por metro cuadrado útil anual obtenido para brócoli, espinaca, col, chícharo y lechuga.

	Densidad (plantas/m ²)	Fertilizantes	Agroquímicos	Luz	Semilla	Mano de obra	Malla tutora	Imprevistos	Total c/Mo	Total s/Mo
Chícharo	125	85.28	1.15	1.09	3.72	65.8	10.0	8.4	175.36	109.59
Col	17	66.32	0.57	1.09	5.91	65.8	NA	7.0	146.64	80.88
Espinaca	100	85.30	0.85	1.09	13.92	65.8	NA	8.3	175.27	109.51
Brócoli	14	66.32	0.28	1.09	3.76	65.8	NA	6.9	144.07	78.31
Lechuga orejona	16	66.38	1.50	1.09	1.74	65.8	NA	6.8	143.31	77.54
Lechuga de cabeza	16	66.32	1.73	1.09	2.09	65.8	NA	6.8	143.84	78.07

NA: No aplica; c/Mo: Con mano de obra; s/Mo: Sin mano de obra.

pero que si el productor es el encargado de realizar las labores productivas el costo operativo total disminuye en un 62 %, garantizando que el ingreso neto obtenido cubrirá el sueldo del productor.

Se observó que el cultivo de brócoli presentó ganancia aun cuando se consideró la rentabilidad sin el gasto de mano de obra contratada (Cuadro 36); esto debido a factores como el ocupar mucha área por planta dentro del invernadero y disminuyendo su rendimiento. En general el brócoli no es un cultivo que alcance precios muy altos y combinado con el rendimiento que puede obtenerse no genera suficiente ingreso para que sea rentable. Sin embargo el estudio de variedades de inflorescencia compacta y brotación lateral es una opción que puede ser investigada para un manejo en el sistema de huerto.

Cuadro 36. Rentabilidad de cultivo obtenida para los cultivos de brócoli, col, espinaca, chícharo y lechuga por metro cuadrado útil anual.

Especie	Unidad	Densidad (plantas/m ²)	Costos de Instalación (\$)	Costos de Operación c/Mo (\$)	Costos de Operación s/Mo (\$)	Ingreso bruto (\$)	Ingreso neto c/Mo (\$)	Ingreso neto s/Mo (\$)
Chícharo	kg	125	19.14	175.36	109.59	168.29	-26.21	39.56
Col	pz	17	19.14	146.64	80.88	255.00	89.22	154.98
Espinaca	manejo	100	19.14	175.27	109.51	792.00	597.59	663.35
Brócoli	kg	14	19.14	144.07	78.31	109.14	-54.07	11.69
Lechuga Orejona	pz	16	19.14	143.31	77.54	460.80	298.35	364.12
Lechuga de cabeza	pz	16	19.14	143.84	78.07	307.20	144.22	209.99

c/Mo: Con mano de obra; s/Mo: Sin mano de obra. Nota: Todos los datos están calculados por metro cuadrado anual.

Sin embargo, con un análisis de sensibilidad calculado para brócoli con base al precio y al rendimiento, se calculó que un precio de \$9.00 por kg, incrementó el

ingreso neto a \$122.78 y con un rendimiento de 4.5 kg/m²/ciclo el ingreso neto fue de \$136 (Cuadro 37 y 38) para ambos la rentabilidad se ve aumentada a \$13.64/m² anual y \$27.28/m² anual respectivamente, por lo que estos dos factores deben ser observados para obtener la mayor ganancia posible, procurando en el caso del manejo del rendimiento que la calidad del producto no se vea disminuida.

No obstante, el cultivo de brócoli no es tan rentable como el caso de otras hortalizas como la espinaca por ejemplo que presentó un ingreso neto de \$663/m² anual, la lechuga orejona \$364/m² anual y la lechuga de cabeza \$209/m² anual (Cuadro 36); esta rentabilidad es consecuencia de la cantidad de cosechas que pueden realizarse a lo largo del año y un mayor número de plantas por superficie sembrada.

El análisis de sensibilidad indicó que el incremento en el precio de venta es el factor que incidió notablemente en la rentabilidad de los cultivos (Cuadro 37) pues al aumentar un peso al precio de venta el ingreso neto aumenta \$264/m² anual para la espinaca, \$115/m² anual para la lechuga orejona y \$77/m² anual para la lechuga de cabeza al subir dos pesos en su precio de venta.

Descartando el brócoli, se realizó la estimación del posible beneficio económico que se obtendría para un invernadero de 1000 m² haciendo una combinación de los cuatro cultivos restantes, obteniendo un ingreso neto anual potencial de \$167,571.77 considerando una determinada cantidad de unidades a producir

Cuadro 37. Análisis de sensibilidad para chícharo, col, espinaca, brócoli y lechuga con base al precio de venta.

Especie	Unidad	Densidad (plantas/m ²)	Ciclos/ año	Rendimiento/ m ² /ciclo	Rendimiento/ m ² anual	Precio anual/Unidad (\$)		Ingreso bruto/m ² /año (\$)	
						- Promedio	+	- Promedio	+
Chícharo	kg	125	3.13	4.48	14.02	9.00	12.00	126.22	168.29
Col	pz	17	3.00	17	51.00	3.00	5.00	153.00	255.00
Espinaca	manejo	100	8.00	33	264.00	2.00	3.00	528.00	792.00
Brócoli	kg	14	3.79	3.60	13.64	7.00	8.00	95.49	109.14
Lechuga orejona	pz	16	7.20	16	115.20	3.00	4.00	345.60	460.80
Lechuga de cabeza	pz	16	4.80	16	76.80	3.00	4.00	230.40	307.20

Cuadro 38. Análisis de sensibilidad para chícharo, col, espinaca, brócoli y lechuga con base al rendimiento.

Especies	Unidad	Densidad (plantas/m ²)	Ciclos/ año	Rendimiento/m ² /ciclo	Rendimiento/m ² /año	Precio anual/ Unidad (\$)		Ingreso bruto/m ² /año (\$)	
						- Promedio	+	- Promedio	+
Chícharo	kg	125	3.13	3	4.48	7	9.4	112.70	168.29
Col	pz	17	3.00	15	17	19	45	225.00	255.00
Espinaca	manejo	100	8.00	25	33	41	200	600.00	792.00
Brócoli	kg	14	3.79	2.5	3.60	4.5	9.5	75.79	109.14
Lechuga orejona	pz	16	7.20	14	16	18	101	403.20	460.80
Lechuga de cabeza	pz	16	4.80	14	16	18	67	268.80	307.20

por semana (Cuadro 39). La cantidad obtenida variará según se modifiquen los diversos factores ya mencionados (rendimiento, precio de venta o unidades a producir) haciendo más o menos rentable la producción en el huerto.

Comparando con la producción de un invernadero de 1000 m², manejado de forma tradicional para jitomate, 2 ciclos por año y 10 racimos por planta, se tendría una producción estimada de 40 toneladas por año y una ganancia de \$60,000.00 anual por lo que al comparar con el ingreso potencial del huerto se observa que el sistema de huerto puede ser aún más rentable que el cultivo de jitomate (Sánchez y Moreno, 2007).

Cuadro 39. Ingreso neto anual calculado para un invernadero de 1000 m² manejado con cuatro cultivos hortícolas: col, chicharo, espinaca y lechuga.

Especie	Unidades a producir por semana	Superficie total a sembrar (m ² útiles)	Superficie a utilizar por ciclo (m ² útiles)	Producción anual (unidades)	Ingreso neto/ m ² anual	Ingreso neto anual estimado
Col	40 pz	27	4.80	1657	154.98	4215.50
Chicharo	45 kg.	124	32.25	1768	39.56	4890.28
Espinaca	130 manojos	31	3.90	5776	663.35	20696.62
Lechuga orejona	470 pz	242	28.20	20613	364.12	88012.37
Lechuga de cabeza	470 pz	242	28.20	20613	209.99	50757.00
Superficie sembrada		665	Ingreso neto por invernadero de 1000 m ²		\$168,571.77	

La producción continua de las hortalizas es otra de las características del huerto comercial y se consigue gracias al manejo de los espacios dentro del invernadero, haciendo una distribución de los mismos basada en sus ciclos de cultivo, como en el caso de la espinaca que presentó 8 ciclos/año por lo que se

distribuirán en las camas de cultivo 8 áreas (de acuerdo al ejemplo mostrado en el Cuadro 39, 3.9 m² útiles) que serán sembradas de forma semanal, comenzando la primer área en la semana 1 y siguiendo hasta el área ocho en la semana 8, llegada la novena semana se realizará el corte de las espinacas que fueron sembradas en la semana 1 y en ese mismo sitio se realizará una nueva siembra, de tal modo que el manejo del espacio es óptimo por lo que no se requiere de nuevas áreas para las siembras y cosechas sucesivas, sino que las mismas son utilizadas de forma consecutiva para obtener la producción deseada. De esta forma es que se maneja el resto de las hortalizas, considerando los diferentes ciclos de cultivo, momentos de siembra y cosecha y las cantidades requeridas para cada uno de los cultivos.

Además existen otros cultivos que no fueron analizados en este trabajo, pero que también pueden ser considerados para un huerto comercial, algunos de ellos son: rábano, acelga, frijol ejotero, cilantro, betabel, chiles poblanos, verdolagas o calabazas entre otros, todos ellos cuyos ciclos de cultivo permiten tener tres o más cosechas anuales y muchos de ellos con altos precios de mercado que los hacen rentables, porque además no requieren mayor infraestructura o labores culturales que incrementen de forma considerable su costo de operación, su porte bajo también favorece que la estructura del invernadero no sea muy alta (menor a 5 metros) que disminuye los costos de instalación, ahorrando al productor parte de la inversión inicial que ha de manejar para llevar a cabo un sistema de huerto comercial hidropónico.

7. CONCLUSIONES

Las densidades que presentaron el mayor rendimiento por unidad de superficie para las diferentes hortalizas, así como su rendimiento potencial fueron: chícharo 125 plantas/m² y 4.50 kg/m², col 17 plantas/m² y 12.78 kg/m², espinaca 100 plantas/m² y 8.04 kg/m², lechuga de cabeza 16 plantas/m² y 5.3 kg/m² y lechuga orejona 16 plantas/m² y 7.88 kg/m².

La solución nutritiva al 75 % de concentración satisface las necesidades de nutrición para los diferentes cultivos estudiados y puede ser utilizada como la solución nutritiva adecuada para todo el huerto.

Al utilizar una solución hidropónica cuya fuente de nitrógeno fue el amonio en la última semana del desarrollo del cultivo, redujo la concentración de nitratos en los tejidos de la espinaca, por lo que esta puede ser una opción para mantener los niveles de nitrato para consumo humano dentro de límites adecuados.

En términos económicos, los cultivos representaron el siguiente ingreso en pesos/m² útil anual: chícharo 39.56, col 154.98, espinaca 663.35, brócoli 11.69, lechuga orejona 364.12 y lechuga de cabeza 209.99 respectivamente. Al comparar las hortalizas, el brócoli se consideró no rentable bajo las condiciones aquí planteadas, por lo que se recomienda el estudio de variedades de inflorescencia compacta y brotación lateral que puede ser adecuado para un sistema de huerto comercial.

Se obtuvo información técnica para la conformación de una guía del cultivo de cinco hortalizas manejadas en un huerto comercial hidropónico, sin embargo se requiere de mayor investigación que permita indagar sobre otras variedades, tiempos de transplante, frecuencias de riego, etc. que optimicen los ciclos de producción y mejoren los rendimientos de estos y otros cultivos planteados.

8. LITERATURA CITADA

Alcántar, G.G.; V.M. Sandoval. 1999. Manual de Análisis Químico y Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 156 p.

Álvarez L.E.; R.W. Jr. Richardson. 1956. La lechuga. Indicaciones generales para su cultivo. Folleto de divulgación No. 22. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Oficina de estudios especiales. México, DF. 35 p.

Anónimo. 1978. Instructivo técnico del cultivo de la col. Centro de información y documentación agropecuaria. La Habana, Cuba. 25 p.

Azcon-Bieto, J.; M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Mc. Graw-Hill Interamericana. 522 p.

Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. AGT Editor, S.A. 784 p.

Blom-Zandstra, M. 1989. Nitrate Accumulation in Vegetables and its Relationship to Quality. Ann. appl. Biol. 115: 553-561.

Boffelli-Guido , E. 2003. El huerto. Guía completa. Editorial De Vecchi. 221 p.

Campbell, M. K.; O.F. Shawn. 2004. Bioquímica. 4º edición. Thomson Learning Ibero. 578 p.

Chapman, S.R., L.P. Carter. 1976. Crop Production. Principles and practices. W.H. Freedman and Company. USA. 566 p.

Chung, B. 1985. Effect of Plant Density on the Sequential Harvest Yield of Broccoli. Aust. J. Exp. Agric. 25: 959-962.

Chung, S.Y.; J.S. Kim; M. Kim; M.K. Hong; J.O. Lee; C.M. Kim; I.S. Song. 2003. Survey of Nitrate and Nitrite Contents of Vegetables Grown in Korea. Food Additives and Contaminants 20: 621–628.

Diario Oficial de la Comunidad Europea, 19 Noviembre 2006. Disponible en: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/es/oj/2006/l_364/l_36420061220es00050024.pdf

Economakis, C.D. 1990. Effect of Solution Conductivity on Growth and Yield of Lettuce in Nutrient Film Culture. Acta Horticulturae 287: 309-317.

Fageria, N.K.; V.C. Baligar; C.A. Jones. 1991. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Marcel Dekker, Inc. USA. 476 p.

García, M.E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a la República Mexicana. UNAM. México, DF. 219 p.

Gardner, F.P.; R.B. Pearce; R.L. Mitchell. 1990. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. USA. 327 p.

Glenn, E.P.; P. Cardran; T. L. Thompson. 1984. Seasonal Effects of Shading on Growth of Greenhouse Lettuce and Spinach. *Scientia Horticulturae* 24: 231-239.

Gorini, F. 1970. El cultivo de la espinaca. Acribia. Zaragoza, España. 89 p.

Gorini, F. 1997. El huerto rentable. Editorial De Vecchi, S.A. 254 p.

Granstedt, R.C.; R.C. Huffaker. 1982. Identification of the Leaf Vacuole as Major Nitrate Storage Pool. *Plant Physiol.* 70: 410-413.

Guencov, G. 1974. Fundamentos de la horticultura cubana. Instituto cubano del libro. La Habana. 355 p.

Haynes, R.J. 1986. Mineral Nitrogen in the Plant-soil System. Academic Press. Inc. 483 p

Hewitt, E.J.; T.A. Smith. 1975. Plant Mineral Nutrition. The English Universities Press. 298 p

Hopkins, W.G. 1999. Introduction to Plant Physiology. 2ª Edición. John Wiley & Sons, Inc. USA. 512 p.

- Jacomini, E. 1986. Cultivo moderno del guisante. De Vecchi, S.A. Barcelona, España. 125 p.
- Janick, J.; R.W. Schery; F.W. Woods; V.W. Ruttan. 1981. Plant Science. An Introduction to World Crops. 3ª edición. W.H. Freeman and Company. New York, USA. 868 p.
- Limongelli, J.C.H. 1979. El repollo y otras crucíferas de importancia en la huerta comercial. Hemisferio Sur, S.A. 144 p.
- Lyons, D.J.; E.R. George; E. N. Peter; E. McC. Leith. 1994. Nitrate and Nitrite in Fresh Vegetables from Queensland. J Sci Food Agric. 64: 279-281.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited. 674 p.
- Matalla G., A.; Montero C., J.I. 2001. Invernaderos. Diseño, construcción y climatización. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. 209 p.
- Mateo, B.; M. José. 1968. Repollos y coles de bruselas. Variedades y cultivo. Ministerio de agricultura. España, Madrid. 110 p.
- Martinac V.; J. Borošić. 1986. The Effect of Plant Density on the Lettuce Yields Growing in the Glashouse. Acta Horticulturae 176:125-131.

Mengel, K.; E.A. Kirkby. 1981. Principles of Plant Nutrition. 3rd edition. International Potash Institute. Bern/Switzerland. 655 p.

Mills, H.A.; J.Jr. Benton. 1996. Plant Analysis Handbook II. Micro Macro Publishing, Inc. 422 p.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1996. Nitrate in Vegetables. Food Surveillance Information Sheet No. 91. Disponible en: <http://archive.food.gov.uk/maff/archive/food/infosheet/1998/no158/158nitra.htm#Annex>

Robredo, P.; M. Quiroga; R. Echazú. 2000. Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 4: 213-219.

SAGARPA. 2002. Diagnóstico sectorial de SAGARPA.

Salisbury, F.B.; C.W. Ross. 1985. Plant Physiology. 3^a edición. Wadsworth, Inc. USA. 540 p.

Sánchez del Castillo, F.; Escalante R., E.R. 1988. Hidroponía. Principios y métodos de cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. 194 p.

Sánchez del Castillo, F.; Moreno P. E. del C. 2007. Curso de huerto comercial hidropónico. Chapingo, México.

- Sánchez del Castillo, F.; Muñiz C., F.J. 2008. El huerto comercial hidropónico: una alternativa para pequeños y medianos productores de invernadero. Memorias del 2do. Simposio Internacional de Invernaderos. p 23 - 48.
- Schröder, F.G.; H. Bero. 2001. Nitrate Uptake of *Lactuca sativa* L. Depending on Varieties and Nutrient Solution in Hidroponic System PPH. Acta Hort. 548: 551-555
- Serrano C., Z. 2005. Construcción de invernaderos. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. 504 p.
- Szwonek, E. 1986. Nitrates Concentration in Lettuce and Spinach as Dependent on Nitrate Doses. Acta Horticulturae 176: 93-97.
- Taiz, L.; E. Zeiger. 1998. Plant Physiology. 2ª Edición. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachussets. 792 p.
- Tiwary, G.N. 2003. Greenhouse technology for controlled environment. Alpha Science International Ltd. 544 p.
- Thompson, R.; H. Taylor. 1976. Plant Competition and its Implications for Cultural Methods in Calabrese. Journal of Horticultural Science 51: 147-157.
- Urrestarazu, G.M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª edición. Mundi-Prensa. España. 881 p.

ANEXO I

GUÍA TÉCNICA PARA CULTIVAR HORTALIZAS BAJO SISTEMA HIDROPÓNICO COMERCIAL EN INVERNADERO

INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas en México se ha desarrollado básicamente con técnicas de producción agrícola para cielo abierto, con las implicaciones de estar sujeto al régimen climático y la estacionalidad de lluvias predominante en las diferentes zonas del país.

En la actualidad se cuenta con técnicas de cultivo enfocadas al manejo de las condiciones climáticas y nutricionales que favorezcan el mejor desarrollo y altos rendimientos por unidad de superficie que pueden aplicarse a un sin número de cultivos, pero principalmente a aquellos que proporcionan rentabilidad en su manejo de forma comercial.

Se presenta una guía para un sistema de producción de hortalizas manejadas en cultivo hidropónico bajo invernadero, en la cual se especificarán las condiciones de manejo para cuatro cultivos de hortalizas (chícharo, col, espinaca y lechuga) las características del invernadero, las camas de siembra y el sistema de riego diseñado para un huerto comercial hidropónico.

Esta guía estará basada en un ejemplo para un invernadero tipo capilla simétrico, con estructura metálica y cubierta de polietileno transparente, con una superficie de 1000 m² con ventanas laterales para la ventilación protegidas con malla antiáfidos y ventanas abatibles en la parte superior de ambos frentes (Figura 1A).

Se emplearon camas de siembra de 20 m de largo x 1.10 m de ancho (aunque de acuerdo a las dimensiones del invernadero este tamaño de cama puede variar), elevadas sobre el terreno para dar una profundidad de 30 cm, rellenas de arena de tezontle rojo con tamaño promedio de partícula de 4 mm de diámetro con pasillos de concreto de 50 cm entre camas y un pasillo central que dividirá ambos lados del invernadero.

El sistema de riego consistirá de una cisternas con capacidad de 10,000 L, con una bomba de 1 HP conectada a un programador de riego o manejada de forma manual; la línea principal será tubería de PVC de una pulgada que llegará al centro del invernadero y por líneas secundarias se conectará a cintillas de goteo en cada una de las camas.



Figura 1A. Invernadero tipo capilla simétrico.

ESPECIFICACIONES

El cuadro siguiente muestra de forma concreta el manejo que se dará para cada uno de los cultivos y el número de semillas a utilizar al momento de la siembra.

Hortaliza	Tipo de manejo	Número de semillas a sembrar por cavidad
Espinaca	Siembra directa	Tres a cuatro
Chicharo	Siembra directa	Una semilla
Lechuga (orejona o cabeza)	Transplante	Dos a tres
Col	Transplante	Dos

La siembra directa implica que la semilla será sembrada directamente en las camas de tezontle para llevar ahí su ciclo completo, desde germinación hasta producción.

El transplante requiere de siembra en charolas, que se manejarán en un semillero y que al paso de 30 días serán trasladadas al área de siembra en el invernadero donde las plantas obtenidas serán transplantadas a las camas de tezontle para completar su desarrollo hasta el momento de cosecha.

PREPARACIÓN DE CAMAS PARA SIEMBRA DIRECTA O TRANSPLANTE

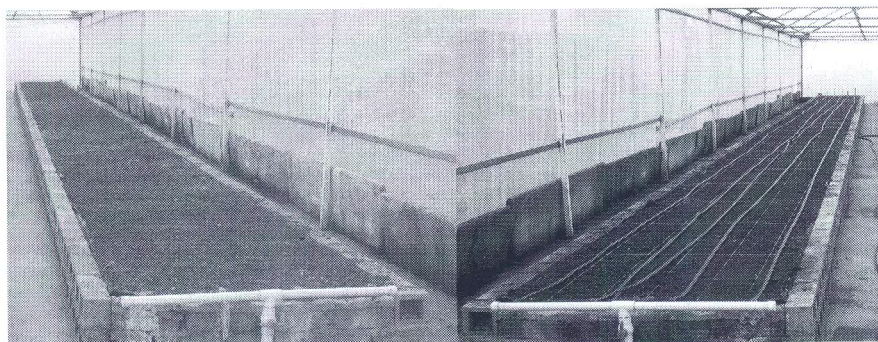


Figura 2A. Camas de siembra con tezontle recién removido y con cintillas de goteo.

El tezontle de las camas, que en su parte inferior será grava gruesa (aproximadamente 8 cm) y en la parte superior será arena (aproximadamente 22 cm), deberá ser removido para evitar la compactación del material y ligeramente aplanado para que no presente desniveles en el sustrato. Se colocarán cintillas de goteo (3 a 4 acorde a la dimensión de la cama) y debe recibir un riego pesado con agua corriente el mismo día antes de realizarse las labores de siembra.

SIEMBRA EN CHAROLA



Figura 3A. Siembra en charola de poliestireno
puñado y presionarlo, el sustrato gotee ligeramente). Se forma un pequeño orificio en el sustrato en cada cavidad con la punta de una pluma o presionando

La siembra se hace en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con una mezcla de peat moss y agrolita en proporción 2:1 que ha sido previamente humedecida a punto de escurrimiento (cuando al tomar un

ligeramente con la punta del dedo y se colocan las semillas en cada cavidad (el número indicado de acuerdo al cultivo). Una vez sembradas las semillas, se coloca una ligera cubierta con el mismo sustrato preparado y se da un riego con agua corriente a las charolas para que tengan suficiente humedad durante el proceso de germinación. Las charolas son llevadas al área de semillero donde son apiladas y cubiertas con una plástico para favorecer la temperatura de germinación y evitar la evaporación de agua (Figura 4A). En un lapso de tres días el plástico es retirado y las



Figura 4A. Charolas apiladas para germinación

charolas son extendidas sobre una base alta. Las charolas se mantienen en esta área durante treinta días y se riegan por dos semanas con agua corriente y dos semanas más con solución nutritiva. Al finalizar este tiempo serán llevadas al área de transplante en el invernadero.

FERTILIZACIÓN

Se recomienda preparar solución nutritiva con la siguiente composición (en mgL^{-1} o ppm): Nitrógeno 119, Fósforo 29, Potasio 125, Calcio 127, Magnesio 27, Hierro 1, Manganeso 0.3, Boro 0.2, Zinc 0.1 y Cobre 0.1, a base de los siguientes fertilizantes: Nitrato de Calcio 667, Nitrato de Potasio 117, Sulfato de Potasio 192, Sulfato de Magnesio 317, Sulfato Ferroso 8, Bórax 1.7, Sulfato de Manganeso 1.2, Sulfato de Cobre 0.1, Sulfato de Zinc 0.1 todos ellos medidos en gramos para 1000 L de agua, además Ácido Fosfórico 53 y Ácido Sulfúrico 13 ml

para 1000 L de agua. Será utilizada a partir de la siembra directa o transplante según el caso de cada cultivo.

Se recomienda aplicar un riego de 10 minutos cada hora a partir de las 9:00 horas y hasta las 16:00 horas y revisar el nivel de la cisterna de forma esporádica para preparar la solución nutritiva cada vez que se requiera.

MANEJO DE CULTIVOS EN EL HUERTO

CULTIVO DE CHÍCHARO



El chícharo es una planta herbácea anual pues durante este periodo presenta el desarrollo vegetativo y la formación de fruto; pertenece a la familia de las leguminosas y al género *Pisum* (Figura 5A). Las especies cultivadas son dos: *Pisum sativum* L. o guisante común, destinado a la alimentación humana

y el *Pisum arvensis* L. llamado también bisalto, en el que la planta entera se destina a la alimentación del ganado (Jacomini, 1986).

El guisante es típicamente un cultivo primaveral o primaveral-veraniego, su temperatura mínima para la germinación es de 4.4 °C y necesita un aumento térmico progresivo para alcanzar el óptimo nivel de vegetación, que está comprendido entre los 14 y 18 °C. El pH óptimo se encuentra entre 5.5 y 6.5.

En la época de maduración de los frutos, la temperatura no debería sobrepasar los 20 °C, por el daño que podrían ocasionar las temperaturas elevadas en la calidad del producto.

El desarrollo vegetativo puede durar de 40 a 60 días, tiempo en el cual la planta crece en altura apareciendo de un modo continuado nuevas hojas. La extensión del área foliar es un factor muy importante desde el punto de vista productivo, dado que son las propias hojas las que forman las sustancias que alimentan a las semillas.

Las semillas verdes del guisante son ricas en sustancias alimenticias como carbohidratos, proteínas, aminoácidos y vitaminas A, B₁, B₂ y C.

VARIEDADES

Las características para la selección de las diversas variedades son numerosas: destino del producto, aspecto del tegumento de la semilla seca, color y diámetro de la semilla fresca, tiempo de desarrollo del ciclo vegetativo, altura y aspecto de la planta, productividad, resistencia a las enfermedades, etc.

El guisante destinado al consumo fresco ha de tener un ciclo de maduración precoz, vaina larga, turgente y recta, simientes de diámetro uniforme y sabor dulce. Las plantas de este tipo de variedades y con estas características suelen ser trepadoras o enanas, de desarrollo indeterminado.

Cuando se trata de variedades de un desarrollo determinado, en un momento dado del ciclo, se detiene el crecimiento del tallo con la formación de una inflorescencia apical, lo que hace que el número de nudos y entrenudos sea fijo y siempre el mismo; para las variedades de crecimiento indeterminado su número es variable, de acuerdo con las condiciones ambientales.

SIEMBRA

Este cultivo requiere de siembra directa en el sustrato y se recomienda sembrar en hileras a 20 centímetros de separación y 4 centímetros entre plantas,



Figura 6A. Siembra de chícharo en la cama de tezontle

en una cavidad de aproximadamente 1.5 cm de diámetro a una profundidad no mayor al triple del diámetro de la semilla; una vez colocada una sola semilla por cavidad se cubre con el mismo tezontle y se riega con agua corriente (Figura 6A). La germinación se observa de tres a cuatro días después y debe sembrarse nuevamente en las cavidades donde no se observa brote de planta (Figura 7A).

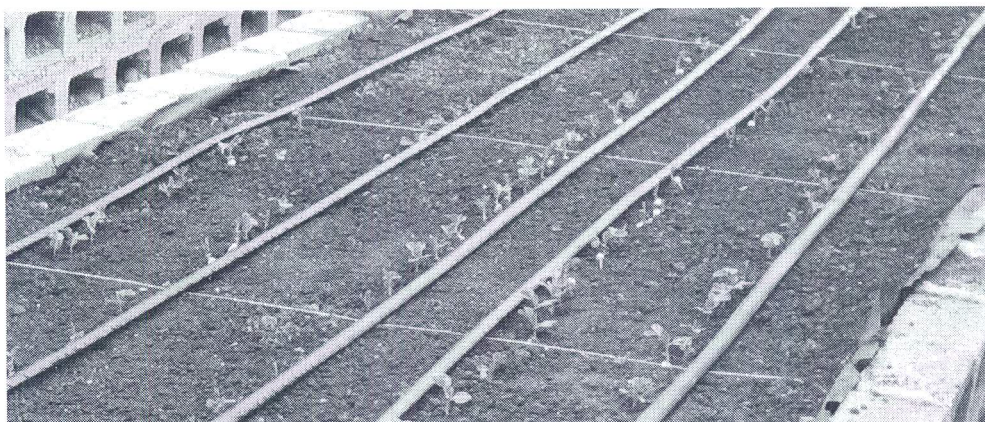


Figura 7A. Germinación de semillas de chícharo.

LABORES CULTURALES

Para favorecer el crecimiento vertical de las plantas de chícharo y con ello la producción, se requiere colocar una malla tutora a lo largo de las líneas de siembra dentro de los 15 a 20 días después de la germinación (Figura 8A). Con este sistema las plantas continúan su crecimiento, por lo que se recomienda utilizar variedades de crecimiento determinado para no sobrepasar el metro y medio de altura.

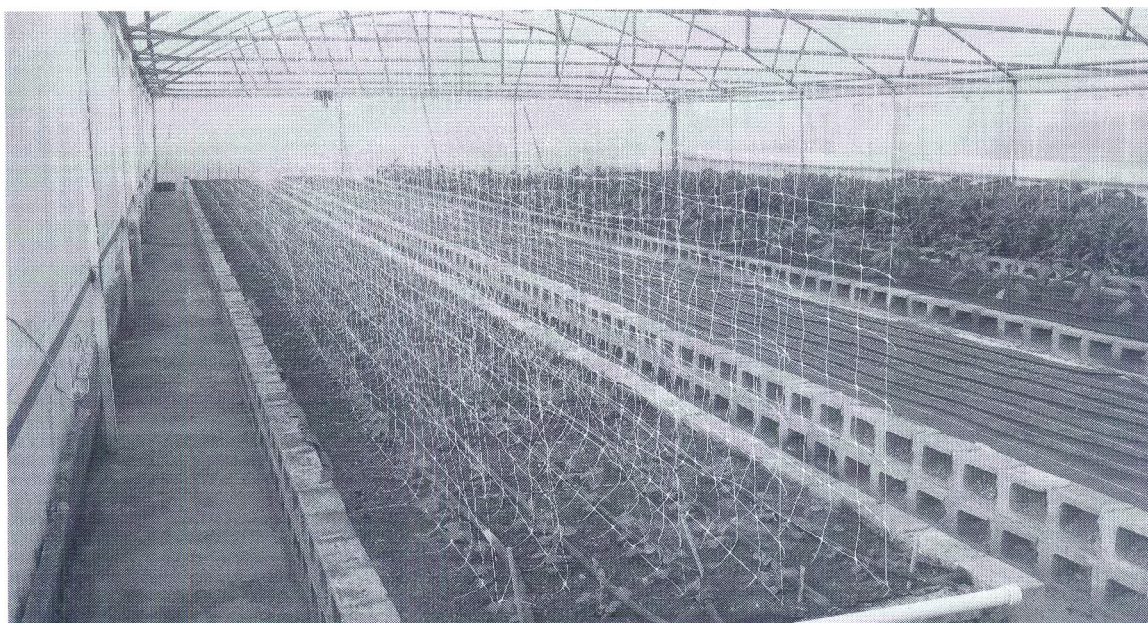


Figura 8A. Tutorio de plantas de chícharo.

El tezontle es un material inerte que recién colocado no presenta mayor problema por crecimiento de malezas; sin embargo, con el paso del tiempo se pueden presentar por lo que de ser necesario una vez por semana puede realizarse de forma manual el retiro de las mismas.

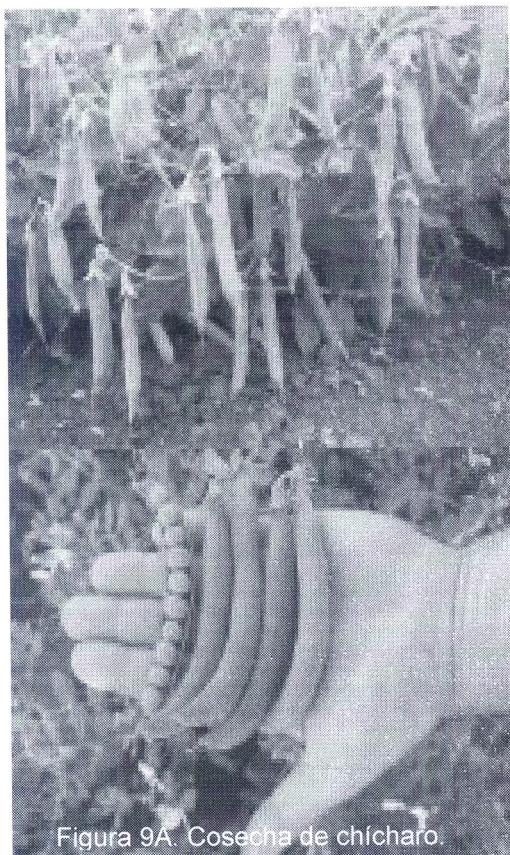


Figura 9A. Cosecha de chícharo.

COSECHA

El surgimiento de las vainas de chícharo comienza a partir de los 55 días después de siembra y su maduración se alcanza aproximadamente treinta días después, por lo que el tiempo de inicio de cosecha es alrededor de los 85 días después de siembra. Las vainas que se observan turgentes, firmes al tacto y que al ser jaladas se desprender con facilidad de la mata, son las que se cortan (Figura 9A).

El cultivo tiene un periodo de producción de aproximadamente 30 días y se realizan cortes de forma semanal. Ha de observarse cuidadosamente pues el follaje puede impedir la visibilidad en las líneas centrales del cultivo.

Las vainas recolectadas se colocarán en cajas de madera o cartón y serán colocadas a la sombra para luego ser trasladadas al área de empaque o venta.

El rendimiento potencial que se obtiene con esta densidad es de hasta 5 kg/m²/ciclo y 3 ciclos por año.

CULTIVO DE COL

La col es una planta bienal, en el primer año se forma solo el follaje y la “cabeza”, en el segundo año se produce el tallo floral y la semilla. Pertenece a la familia Brassicaceae y el nombre de la especie es *Brassica oleracea* var *capitata*. Presenta un tallo corto no ramificado con hojas que se



Figura 10A. Plantas de col en desarrollo.

despliegan en ángulo recto y después de un tiempo, las hojas producidas se cubren parcialmente abrazándose unas a otras formando una “cabeza” compacta que constituye la parte comestible, la superficie puede ser lisa o rugosa y de color variable desde verde claro hasta violáceo dependiendo de la variedad (Anónimo, 1978) (Figura 10A).

Las semillas germinan en un lapso de 3 a 4 días con temperaturas de 18 a 20 °C y su crecimiento y desarrollo más propicio es entre 15 y 20 °C; es exigente en

iluminación en la primera etapa de su desarrollo. Requiere de humedad del suelo y del aire en todo su ciclo, pero especialmente en la fase de recuperación del transplante, en la formación de los repollos y la falta de agua durante el crecimiento de los mismos puede propiciar el rajado de la cabeza.

VARIEDADES

Existe una amplia variedad en coles, distinguiéndose los tipos de primavera, verano e invierno (por su época de recolección), siendo coles de repollo blanco y morado (con hojas de color verde claro, verde grisáceo, verde oscuro y tonos violáceos hasta morados) y con hojas lisas u onduladas. La col blanca es la que representa mayor importancia por su uso en la cocina principalmente como ensaladas (Mateo, 1968). En la Figura 11A se muestran algunas de ellas.

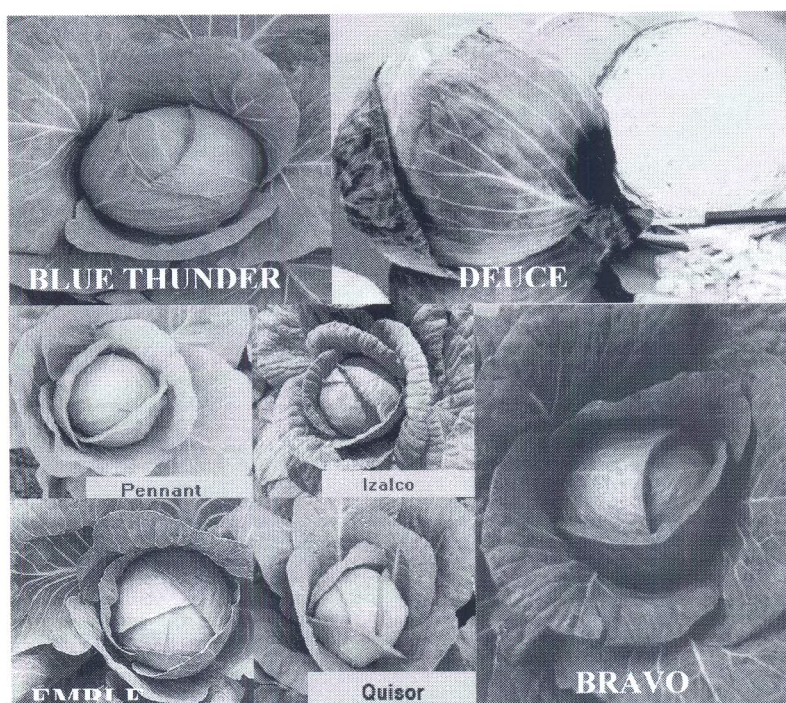


Figura 11A. Variedades de col

TRANSPLANTE

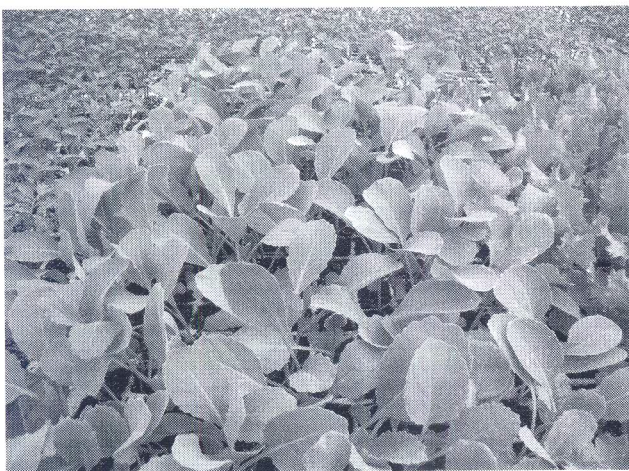


Figura 12A. Plántulas de col en semillero.

Una vez que las plantas del semillero han desarrollado por 30 días, las charolas son llevadas al área de siembra en el invernadero (Figura 12A). Un día anterior al transplante puede suspenderse el riego de las

mismas para que las plantas se adapten mejor. Se recomienda sembrar a una distancia de 30 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, para obtener un rendimiento potencial de 12 kilogramos/m²/año o 51 piezas/m²/año.

Se procederá a hacer un orificio en el tezontle de aproximadamente 3 cm de diámetro y 10 cm de profundidad con el mango de una pequeña pala o algún fragmento de madera; se sacarán las plantas de la charola de siembra con un ligero jalón por el tallo lo más cercano posible al cepellón o insertando un palo delgado por la base de la charola para empujar la planta hacia fuera de la cavidad de la charola. Teniendo la planta libre se coloca dentro del orificio hecho en el sustrato a la profundidad del cepellón y se presionará ligeramente el sustrato alrededor (Figura 13A). Finalmente se realiza un riego con agua corriente de aspersion ligera para no dañar las plantas. A lo largo del día puede iniciarse el riego con solución nutritiva.



Figura 13A. Transplante de col a las camas de siembra.

COSECHA



Figura 14A. Planta de col lista para cosecha.

Las coles están listas para ser recolectados cuando las hojas exteriores están estiradas y las coles bien compactas (Figura 14A); esto se sabe cuando al apretar la parte superior de ellas se siente solidez lo que ocurre de los 70 a 90 días después del transplante y la col se debe

cortar con 2 ó 3 hojas que la cubran para que no se maltrate durante el transporte. La primera recolección se efectúa alrededor de 85 días después del transplante y las siguientes conforme las plantas maduren, lo que ocurre en un lapso de una semana aproximadamente.

Puede retirarse un poco de las hojas exteriores antes de realizar el corte de la col y con una navaja suficientemente bien afilada, se coloca en la parte inferior de la formación de la cabeza y se realiza el corte procurando tener cuidado de no cortar las cintillas de goteo (Figura 15A).

Las coles pueden colocarse en cajas de madera o cartón para transportarlas a la sombra para luego ser llevadas a la zona de empaquetado o venta.



Figura 15A. Coles cosechadas.

CULTIVO DE ESPINACA

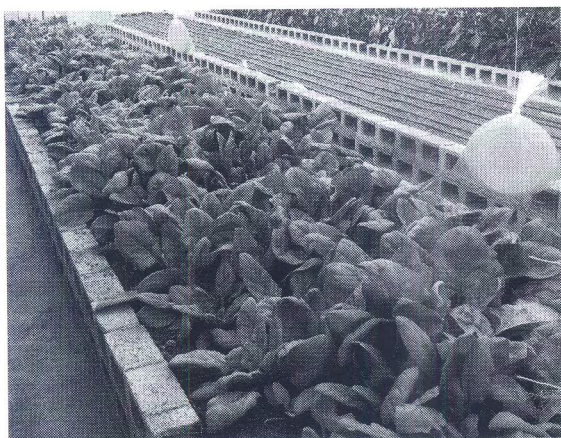


Figura 16A. Espinacas en crecimiento.

La espinaca se caracteriza por desarrollar una especie de roseta de hojas de forma y consistencia muy variables en función de las características de la variedad cultivada y de la posición que adoptan las plantas (Figura 16A). La fase de roseta persiste durante un tiempo variable y su duración se ve influenciada por numerosos factores, destacando los climáticos (Gorini, 1970). Pertenece a la familia *Chenopodiaceae* y la especie *Spinacea oleracea*.

Soporta temperaturas por debajo de 0 °C, pero no por tiempo prolongado; la temperatura óptima de crecimiento es entre 15 y 18 °C y temperaturas altas persistentes producen hojas pequeñas y escasas en sustancias nutritivas.

No es muy exigente con respecto a la intensidad de luz y es considerada una planta de día largo. A temperaturas muy bajas las plantas permanecen largo tiempo en fase de roseta y forma gran follaje. El porcentaje de humedad requerido es arriba del 70 % de la capacidad de campo.

A causa de sus cualidades nutritivas actualmente la espinaca está difundida por todo el mundo, se utiliza en forma de ensaladas, en platillos o puré; es rica en proteínas y hierro, vitaminas A₁, B₁, B₂ y C entre otras (Guencov, 1974).

VARIEDADES

Las espinacas se clasifican siguiendo distintos criterios: época de siembra (primaverales, estivales y de cualquier mes), forma de las hojas (lisas, semiglobosas, globosas o rizadas, también hojas pequeñas y grandes), aspecto del cogollo y del tallo (erectas, semipostradas, postradas o abiertas), la resistencia a las temperaturas altas y a la disposición de las plantas para la formación anticipada de tallos florales.

SIEMBRA



Figura 17A. Colchón de arena de tezontle.

Este cultivo requiere de siembra directa en el sustrato y debido a que la semilla presenta una testa muy resistente, necesita mucha humedad en el sustrato para su adecuada germinación

y para favorecerla se coloca un colchón de aproximadamente 2 cm de grosor de arena fina de tezontle sobre la cama de siembra, que puede cernirse de la misma grava de tezontle sobrante de las camas de siembra (Figura 17A).

Se recomienda sembrar en hileras a 20 centímetros de separación y 5 centímetros entre plantas, en una cavidad de aproximadamente 1.5 centímetros de diámetro a una profundidad no mayor al triple del diámetro de la semilla; se colocan de 3 a 4 semillas por cavidad para asegurar al menos una planta germinada por cavidad, se

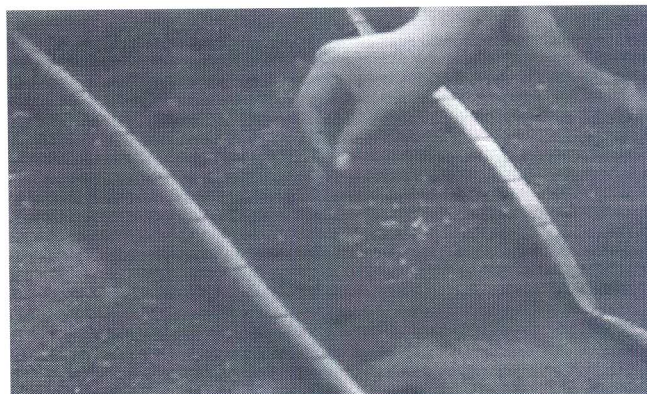


Figura 18A. Siembra de espinaca en la cama de tezontle.

cubre con el mismo tezontle y se riega con agua corriente (Figura 18A). La germinación se observa de cinco a seis días después y vuelve a sembrarse en las cavidades donde no se observa brote de planta (Figura 19A). Después de 10

días se realiza un raleo dejando una sola planta por sitio y resembrando las sobrantes en el lugar donde no hubo germinación.

El rendimiento potencial que se obtiene con esta densidad es de 8 kg/m²/año o 266 manojos/m²/año.

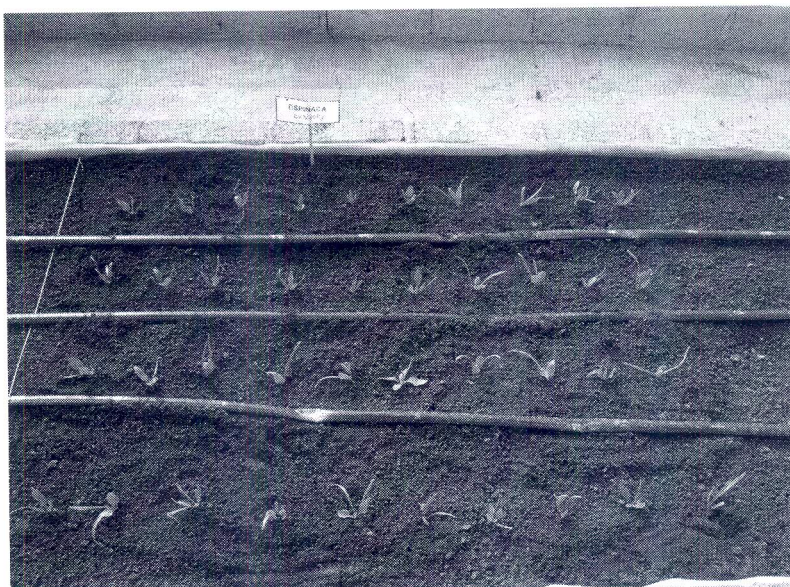


Figura 19A. Plántulas de espinaca creciendo en la cama de tezontle.

COSECHA

La cosecha de la espinaca se basa en aclaramientos o sacas sucesivas pues no todas las plantas están listas para el corte en la misma fecha. Aproximadamente 60 días después de la siembra se observan plantas listas para su venta en el mercado, que son plantas más gruesas y desarrolladas (Figura 20A).

Las plantas son tomadas por la base de la planta y sacadas de raíz, puede ayudarse de una pequeña pala para liberar la raíz del tezontle o simplemente

tirar de la base hacia arriba. La raíz queda con un poco de tezontle adherido y puede retirarse con un ligero baño de agua. De acuerdo al tipo de comercialización se formarán manojos grandes o pequeños que pueden transportarse en cajas hacia las zonas de venta o empaque.



Figura 20A. Planta de espinaca lista para su cosecha.

CULTIVO DE LECHUGA

Las variedades de bola o cabeza, se distinguen por su hábito postrado de crecimiento y porque las hojas exteriores cubren completamente a las hojas internas, formando una cabeza compacta. Las variedades de hoja compacta o de “oreja” son de hábito erecto y las hojas internas más o menos se aprietan y cubren a lo largo (Álvarez y Richardson, 1956). Pertenece a la familia Asteraceae y a la especie *Lactuca sativa* L. var. romana para la lechuga tipo orejona y *Lactuca sativa* L. var. capitata para las lechugas de cabeza (Figura

21A). Las lechugas están formadas por hojas lisas o notablemente rizadas, de tonalidad verde-amarilla hasta morado-clara, de limbo entero o dentadas en distinto grado.

La temperatura óptima para el crecimiento de las hojas y la formación del repollo es 16-21 °C; más de 25 °C son perjudiciales para la lechuga, porque favorecen el rápido crecimiento del tallo floral.

Se trata de una hortaliza típica en ensaladas y considerada como una planta de propiedades tranquilizantes.



Figura 21A. Lechuga de cabeza (izquierda) y lechuga orejona (derecha) en cama de siembra.

VARIEDADES

De acuerdo con las características morfológicas de las plantas, las variedades cultivadas de la lechuga se dividen de la manera siguiente:

- 1) Lechuga de repollo (*Lactuca sativa* L. var *capitata*). Las plantas de este grupo son de las que forman repollos que pueden ser más o menos compactos y son las de mayor valor e importancia económica.

2) Lechuga romana (*Lactuca sativa* L. var romana Lam.) estas plantas forman repollos sueltos y notablemente alargados.

Los nombre comunes con los que se distinguen son el tipo Romana, las variedades de hoja crujiente tipo Iceberg, las variedades de hoja mantecosa o Trocadero, las minilechugas o Cogollos, las lechugas de corte con un intenso color rojo y rizado de las hojas como son la Hoja de Roble o Lollo Rosso, etc. Hay variedades de hojas púrpuras o amarronadas, con fines decorativos y hay también lechugas miniatura. En la Figura 22A se ilustran algunas variedades.



Figura 22A. Variedades de lechuga.



TRANSPLANTE

Una vez que las plantas del semillero han desarrollado por 30 días, las charolas son llevadas al área de siembra en el invernadero (Figura 23A). Un día anterior



Figura 23A. Plántulas de lechuga en semillero.

al transplante puede suspenderse el riego de las mismas para que las plantas se adapten mejor. Se recomienda sembrar a una distancia de 30 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, para obtener un rendimiento potencial de 115

Se procederá a hacer un orificio en el tezontle de aproximadamente 3 cm de diámetro y 10 cm de profundidad con el mango de una pequeña pala o algún fragmento de madera (Figura 24A); se sacarán



las plantas de la charola de siembra con un ligero jalón por el tallo lo más cercano posible al cepellón o insertando un palo delgado por la base de la charola para empujar la planta hacia fuera de la cavidad de la charola. Teniendo la planta libre se coloca dentro del orificio hecho en el sustrato a la profundidad



Figura 25A. Lechugas transplantadas.

del cepellón y presionar ligeramente el sustrato alrededor (Figura 25A). Finalmente se realiza un riego con agua corriente de aspersion ligera para

no dañar las plantas. A lo largo del día puede iniciarse el riego con solución nutritiva.

LABORES CULTURALES



Figura 26A. Amarre de lechuga orejona.

Aproximadamente a los 45 días después de transplante, la

lechuga orejona presenta ligeros dobleces en las hojas hacia la zona central de crecimiento, este es un indicador del momento de realizar el amarre de la planta para favorecer una mejor formación del manojo y evitar que sus hojas se mantengan extendidas. Se coloca un hilo de rafia u otro material alrededor del ultimo tercio de la planta de abajo hacia arriba, de tal modo que la mayor cantidad de hojas sean incluidas, pero sin hacer demasiada presión para permitir que la planta siga desarrollándose sin deformaciones (Figura 26A).

COSECHA



Figura 27A. Lechuga de cabeza lista para cosecha.

El tiempo de desarrollo de los cultivos de lechuga en sus variedades es distinto; sin embargo, un tiempo promedio para la lechuga orejona es de 50 días después de

transplante en tanto que para la lechuga de cabeza es de 65 días después de transplante (Figuras 27A y 28A).

Estos dos tipos de lechuga tienen raíces no muy profundas pero se arraigan fuertemente al sustrato, por lo que es recomendable utilizar una navaja bien



Figura 28A. Lechuga orejona lista para cosecha.

afilada, inclinar la planta un poco para ver la zona inferior y cortar justo debajo del crecimiento de las hojas. Las hojas externas que están maltratadas pueden dejarse para que protejan el producto durante el traslado hacia el área de venta o empaquetado y ser retiradas posteriormente.

CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

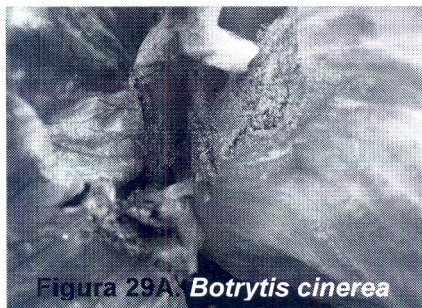


Figura 29A. *Botrytis cinerea*

En la lechuga de cabeza cuando las plantas tienen alrededor de 60 días después del transplante comienzan a extender su follaje provocando ambientes propicios para la presencia de hongos como *Botrytis* (*Botrytis*

cinerea) y *Bremia* (*Bremia lactucae*) (Figuras 29A y 30A). La primera infesta el envés de las hojas y produce clorosis en las hojas, detectada a tiempo puede ser detenida y el daño sólo se manifiesta en las hojas más externas. La botrytis en cambio ataca la parte inferior de la cabeza cerca del tallo por lo que es más difícil aun de detectar, el micelio tiene apariencia grisácea y pudre poco a poco el repollo hasta dejarlo inservible.

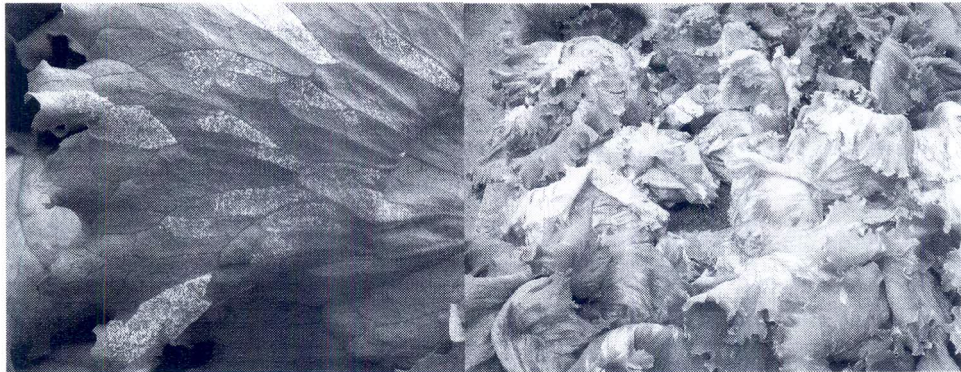


Figura 30A. Hongo *Bremia lactucae* infestando lechugas de cabeza.

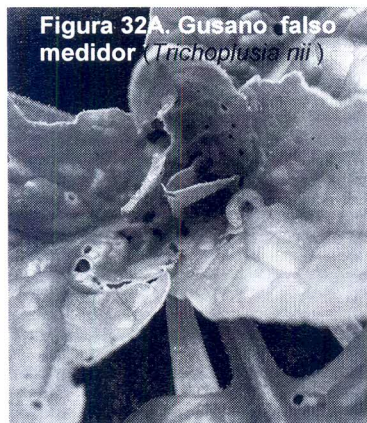
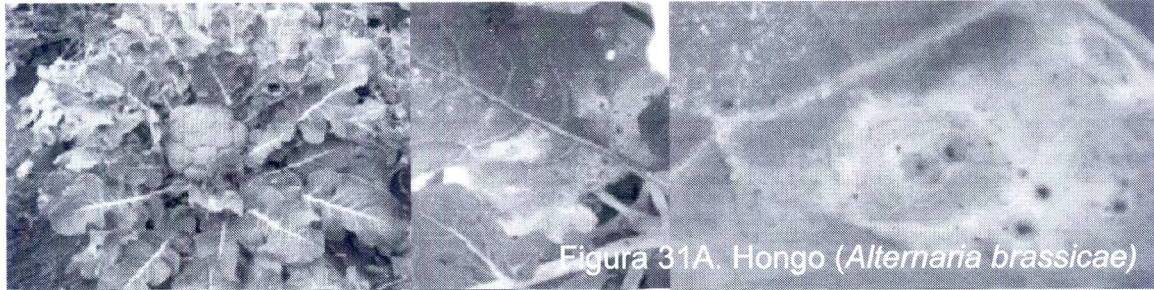
El chícharo presenta incidencia de hongos: cenicilla (*Erysiphe polygonis*) y (*Perenospora pisi*) o mildew, a partir del mes y medio de desarrollo, pues el follaje comienza a ser denso y el microclima generado puede favorecer la presencia de hongos, mayormente si la humedad ambiental es alta y persistente.



Hongo "cenicilla" infectando plantas de chícharo

La col también tiene incidencia de hongos del género *Alternaria* que se puede presentar cuando el ambiente es húmedo y el follaje de las plantas ha aumentado

(Figura 31A), a partir de la mitad del desarrollo del cultivo y puede persistir a menos que se realicen aplicaciones de agroquímicos; funguicidas como Curzate o Cobrezate en dosis de 1g/L de agua, ayudan a disminuir la presencia de estos hongos.



Para todas las hortalizas aquí mencionadas, una plaga común es el gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*) que se observa en general a lo largo del desarrollo de los cultivos, aunque en etapas tempranas de desarrollo el gusano prefiere comer las hojas de la zona apical por lo que el punto de crecimiento puede ser dañado de forma irreparable (Figura 32A). Es una palomilla que ovoposita en el envés de las hojas y la larva generada consume las hojas de las plantas en tanto alcanza su fase de ninfa en la que forma su capullo para convertirse en palomilla, por lo que no hay etapas definidas del cultivo para su presencia.

El gusano de la col (*Leptophobia aripa*) ataca a las plantas de la familia Brassicae, son de hábitos gregarios por lo que altas densidades de población pueden general pérdida importante de área foliar de una planta.

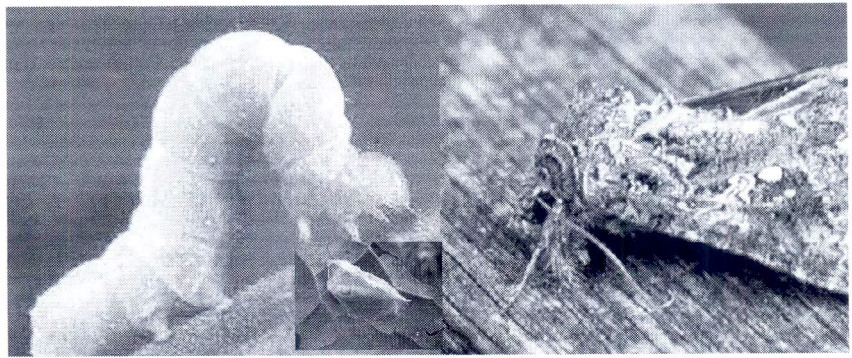


Figura 33A. Gusano falso medidor en fase larvaria y adulta.



Figura 34A. Gusano de la col (*Leptophobia aripa*).

Insecticidas como Hortene o Decis en dosis de 1g/L de agua aplicado en la primera fase larvaria ayudan a detener la infestación.

Los pulgones (que se alimentan de la savia de las hojas) pueden presentarse en el cultivo de espinaca desde etapas tempranas de desarrollo hasta las etapas adultas del cultivo; los insecticidas que pueden aplicarse para su control son malation y cipermetrinas.

En general la incidencia de plagas en un invernadero es baja si se lleva a cabo el adecuado cierre de accesos y ventilación; sin embargo, el monitoreo constante de las áreas es de gran ayuda para la detección temprana de estos organismos.