



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**Centro Interdisciplinario de Investigación para
el Desarrollo Integral Regional
CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES**

(PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL)

**EFFECTO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS Y SOMBREO EN LA
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br.)
HIDROPÓNICO EN LA SIERRA NORTE DE OAXACA**

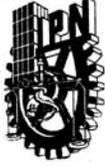
TESIS

Que para obtener el grado de Maestra en Ciencias

PRESENTA

LOURDES VÁSQUEZ VÁSQUEZ

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Enero del 2008.



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 14 del mes de Diciembre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: **"Efecto de soluciones nutritivas y sombreado en la producción y calidad del berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) hidropónico en la Sierra Norte de Oaxaca"**

Presentada por la alumna:

Vásquez
Apellido paterno

Vásquez
materno

Lourdes
nombre(s)

Con registro:

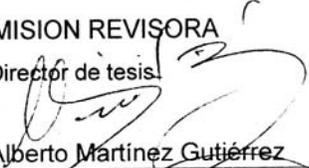
B	0	5	1	3	2	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

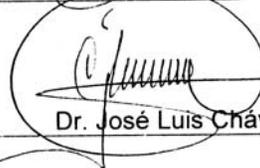
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

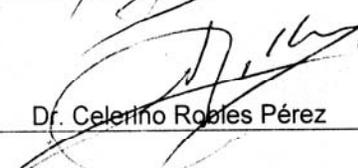
LA COMISION REVISORA

Director de tesis:


Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez


Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández


Dr. José Luis Chávez Servia


Dr. Celerino Robles Pérez


Dr. José Antonio Sánchez García

LA PRESIDENTA DEL COLEGIO


Dra. María del Rosario Arnaud Viñas



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Oaxaca de Juárez del día 14 del mes diciembre del año 2007, el (la) que suscribe **VÁSQUEZ VÁSQUEZ LOURDES** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **B051328**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez y cede los derechos del trabajo titulado: **“Efecto de soluciones nutritivas y sombreado en la producción y calidad del berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) hidropónico en la Sierra Norte de Oaxaca”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó luliv_1@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

VÁSQUEZ VÁSQUEZ LOURDES



INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
CIDIR-UNIDAD OAXACA

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la agencia municipal de La Nevería, Santa Catarina Lachatao, Sierra Norte de Oaxaca con el objetivo de evaluar diferentes soluciones nutritivas y porcentajes de sombreo en el cultivo de berro en hidroponía, utilizando la técnica de cultivo de flujo laminar de nutrientes (NFT). La distribución de los tratamientos en el ensayo se realizó mediante un arreglo bifactorial, los factores fueron; solución nutritiva con cuatro niveles de concentración (A, B, C y D) y cuatro porcentajes de sombreo (0, 10, 50 y 70% de sombreo). Las diferencias entre los niveles de cada factor en el ensayo se probaron bajo un modelo lineal aditivo y para la comparación de medias se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$). El análisis estadístico de las variables evaluadas se realizó por separado, para cada temporada de cosecha (abril, junio, septiembre y noviembre). Los coeficientes de determinación del modelo lineal aditivo, utilizado para evaluar la respuesta de cada variable del efecto de los factores, fueron, en promedio, valores mayores de 0.8. El análisis de varianza realizado para el factor soluciones nutritivas mostró diferencias significativas para las variables evaluadas (altura, peso fresco y seco, materia seca y diámetro de tallo) en las cuatro épocas de cosecha. Las soluciones de mayor contenido de nutrientes (A y B) favorecieron la mayor expresión de la altura (25 cm en promedio) y diámetro (2.9 mm en promedio) del tallo de las plantas de berro. En el factor sombra, para las cosechas efectuadas en abril y noviembre, los valores de F para todas las variables fueron significativas ($P \geq 0.05$); excepto en las cosechas de junio (materia seca) y septiembre (materia seca y peso fresco). Fue notorio, el efecto de la sombra en la primera cosecha (crecimiento de febrero a abril) y específicamente un porcentaje de 10% indujo respuestas más favorables.

Palabras clave: Berro (*Nasturtium officinale* R. Br), flujo laminar de nutrientes (NFT), modelo lineal aditivo.

ABSTRACT

In the municipal agency of La Nevería, Santa Catarina Lachatao, Sierra Norte de Oaxaca was carried out a research with the objective of evaluate different nutritious solutions and shadow percentages in culture hydroponic using the technique of nutrient film technique (NFT). The distribution of the treatments in the trial was made using a bifactorial design; nutritious solution with four levels of concentration (A, B, C and D) and four percentage of shade (0, 10, 50 and 70%) were the treatments. The differences among the levels of each factor were evaluate using an additive linear model and for the averages comparisons the Tukey test ($\alpha = 0.05$) was used. Each variable was analyzed independently along harvested seasons (April, June, September, and November). The determination coefficients from linear model additive for all variables showed, in general, a highest value of 0.8. In the analysis of variance, the factor nutritious solutions showed significant differences for all evaluated variables (height, fresh and dry weight, dry matter and diameter of stem) at four harvest times. The solutions of highest content of nutrients (A and B) yielded the major expression for the plant height (25 cm in average) and diameter (2,9 mm in average) of the stem. In the factor shades, in the harvests maiden in April and November, all F's values were significant ($P \geq 0.05$), except in the June harvest (dry matter) and September (dry matter and fresh weight). In the first harvest (growing from February to April), the shade influenced favorably the plant growing and specifically a percentage of 10%.

Key words: Watercress (Nasturtium officinale R. Br), nutrient film technique (NFT), additive linear model.

DEDICATORIA

*Dedicado a mí.
No olvidar nunca cuál es el
objetivo de estudiar y la meta a
conseguir.*

AGRADECIMIENTOS

Para que se llevara acabo la presente tesis de maestría, agradezco a todas las personas e instituciones que participaron en la culminación de la misma, entre ellos tenemos:

A mi madre y hermanas. Por su apoyo, esfuerzo, cariño y comprensión que siempre me han demostrado en todos los aspectos de mi vida; y por la confianza que depositaron en mí.

A los productores de la comunidad de La Nevería que me permitieron trabajar con el cultivo del berro, importante fuente de ingresos para ellos.

Al Dr. Gabino A. Martínez Gutiérrez, que me acerco a trabajar con los productores de berro y facilitó la realización del trabajo.

Al Dr. José Luís Chávez Servia por el tiempo dedicado a la revisión, sus sugerencias y atención prestada para la elaboración del documento final.

A la Dra. Yolanda D. Ortiz Hernández y a los doctores Celerino Robles Pérez y José Antonio Sánchez García; por sus sugerencias brindadas y apoyo en la revisión del documento.

A la M. en C. Angélica Bautista Cruz por su apoyo y motivación en clase; y para participar como ponente en el XXXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo; Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Agradezco al CONACYT por el apoyo económico prestado para mi formación académica como Maestra en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Naturales en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR-IPN, Unidad Oaxaca.

Al Dr. José Raymundo Enríquez del Valle por la ayuda incondicional en la revisión de mi trabajo.

A mis amigos y compañeros de la maestría: Alejandro, Irene, Janet, Sandra y Uriel; por su apoyo, consejos y motivación en cualquier momento.

A los nuevos amigos que hice a lo largo del tiempo que estuve en el Instituto; que no se mencionan aquí, pero que comparten buenos momentos a mi lado, gracias por su amistad a todos.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
2.3 Hipótesis	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 El berro	4
3.1.1 Características generales.....	4
3.1.2 Importancia de su cultivo.....	5
3.1.3 Manejo del cultivo.....	6
3.2 Conceptos básicos del cultivo sin suelo	7
3.2.1 Cultivos sin suelo	7
3.2.2 Cultivos hidropónicos	7
- Técnica de cultivo con flujo laminar de agua y nutrientes (NFT, Nutrient Film Technique).....	8
3.2.3 Diferencia entre cultivos hidropónicos y los cultivos en suelo ...	8
3.2.4 Soluciones nutritivas de los cultivos hidropónicos	9
3.3 Nitratos y fosfatos	11
3.3.1 Contaminación en el suelo	11
3.3.2 Salud humana	12
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1 Localización del ensayo.....	14
4.2 Características del ensayo	15
4.3 Establecimiento del ensayo en campo	16
4.4 Material vegetativo, siembra y cosecha.....	18
4.5 Análisis de los datos	20
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1 Prueba de F para las variables evaluadas en las diferentes cosechas	22
5.2 Evaluación del efecto de soluciones nutritivas y sombreo en el crecimiento de plantas de berro hidropónico	24
5.2.1 Efecto de las soluciones nutritivas	24
5.2.2 Efecto de porcentaje de sombreo.....	28
5.3 Acumulación de nitratos en el tejido de las plantas de berro hidropónico	31

5.4 Acumulación de fosfatos en el tejido de las plantas de berro hidropónico	32
5.5 Contenido general de nutrientes en las plantas de berro	33
VI. CONCLUSIONES.....	35
VII. RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS	41

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
1	Temperatura y precipitación promedio en la estación de crecimiento del berro evaluado, en Ixtlán, Oax. 2006	15
2	Tratamientos a evaluar en el ensayo de berro hidropónico.....	15
3	Soluciones nutritivas empleadas y fuentes utilizadas para integrarlas	17
4	Promedio de los parámetros medidos en el agua	18
5	F calculada del análisis de varianza y su significancia estadística del factor solución nutritiva en relación a las variables evaluadas por mes de cosecha	22
6	F calculada del análisis de varianza y su significancia estadística del factor sombra en relación a las variables evaluadas por mes de cosecha.....	23
7	Promedio de la altura (cm) de la planta por el efecto de las soluciones nutritivas a diferente fechas de cosecha	24
8	Promedio del diámetro (cm) de las plantas en respuesta a las soluciones nutritivas a diferente épocas de cosecha	25
9	Promedios de peso fresco (g) en plantas de berro hidropónico con diferentes soluciones nutritivas a diferentes épocas de corte	26
10	Promedios del peso seco (g) en las plantas de berro producido por el efecto de las soluciones nutritivas a diferentes épocas de cosecha.....	27
11	Porcentaje de materia seca acumulada en berro por el efecto de las soluciones nutritivas a diferentes épocas de corte	27
12	Promedio de altura de planta (cm) de berro bajo diferentes porcentajes de sombreado en diferente épocas cosecha	28
13	Promedio del diámetro (mm) del tallo de las plantas de berro bajo diferentes porcentajes de sombra en diferente épocas de corte.....	29
14	Promedios del peso fresco (g) y seco (g) de las plantas de berro bajo diferentes porcentajes de sombra y diferentes épocas de cosecha.....	30
15	Promedio del porcentaje de materia seca producida a cuatro porcentajes de sombra medida en diferentes épocas de corte	30
16	Promedios del contenido de nitratos (NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹) por el efecto de diferentes soluciones nutritivas	31
17	Efecto de las soluciones nutritivas en el contenido de fosfato acumulado en plantas de berro.....	32
18	Comparación del contenido de nutrientes entre las plantas de berro de La Nevería y lo reportado en la bibliografía	34

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	El berro.....	4
2	Localización de La Nevería, Sierra Norte de Oaxaca.....	14
3	Contenedores experimentales para el cultivo de berro hidropónico	16
4	Establecimiento de la malla sombra.....	18
5	Contenido de nitratos en las plantas de berro cosechadas a diferentes épocas (Barra con la misma letra no son significativamente diferentes; Tukey, $\alpha=0.05$).....	32
6	Contenido de fosfatos en las diferentes épocas de cosecha de las plantas de berro (Barra con la misma letra no son significativamente diferentes; Tukey, $\alpha=0.05$).....	33

I. INTRODUCCIÓN

El berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) es una planta aromática comestible con una relativa cantidad de proteínas e importante fuente de vitaminas A, C y K, una amplia gama de minerales como hierro, calcio, zinc y yodo; por lo que potencialmente constituye un alimento de gran valor nutricional (De Chavéz *et al.*, 1992; Hedges y Lister, 2005; Palaniswamy *et al.*, 2003).

En la Sierra Norte de Oaxaca esta planta se ha recolectado desde hace generaciones y actualmente la comunidad de La Nevería (municipio de Santa Catarina Lachatao, distrito de Ixtlán), el berro se empieza a cultivar de manera intensiva debido a que representa una fuente importante de ingresos económicos para más de 50 familias (Yescas, 2005).

Esta hortaliza crece en hábitats acuáticos prefiriendo aguas claras y frías de corriente lenta (Warwick y Malcom, 1980; Cruz *et al.*, 2006). Su cultivo se realiza de forma manual; se recolecta y transplanta en el cauce de los arroyos en donde previamente se instalan mallas de sombreo para disminuir la radiación solar. Sin embargo, este procedimiento presenta algunas dificultades, pues en los meses de mayor radiación solar (abril-mayo) el caudal de los arroyos disminuye; por lo que la producción se ve afectada considerablemente llegando, en algunas ocasiones a no crecer, lo que afecta los ingresos económicos de las familias de los productores.

A pesar de que el berro es una hortaliza de gran importancia económica, en Europa y en Oaxaca es de recolección, poco se sabe sobre sus necesidades nutrimentales y ambientales. Sólo se conoce que es un cultivo con altos requerimientos de agua y/o humedad, además de que durante su ciclo de vida requiere poca radiación solar y se adapta a climas templados y fríos (Moroto, 1992; Cabanillas, 1990). Por lo tanto, uno de los factores que pueden contribuir a incrementar su producción es la mejora de su nutrición para incrementar la

tasa de crecimiento vegetativo (Resh, 2001) y conocer algunos aspectos de requerimientos ambientales del cultivo.

El incremento de la tasa de crecimiento y regeneración se puede lograr mediante hidroponía a través de la recirculación de la solución nutritiva para optimizar el uso del agua y fertilizantes, y del uso de modificadores de la radicación solar, como las mallas sombra (Urrestarazu, 2000). Algunos estudios reportan que utilizando la recirculación de nutrientes se evita el lixiviado de los mismos y hacer uso eficiente del agua, ahorrando un 40% de fertilizantes y 30% del agua en comparación con los cultivos tradicionales en suelo (Van Os, 1999).

Con este enfoque de manejo agronómico del berro se estaría en la posibilidad de producir durante todo el año; sin dañar los ecosistemas y favorecer la salud humana. Esta última se ve afectada por la presencia de coliformes fecales en aguas residuales utilizadas para el riego de verduras de consumo directo, y en otros casos por la presencia de niveles altos de nitratos y/o fosfatos por consumo frecuente de verduras de hoja.

El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes soluciones nutritivas y porcentajes de sombreo en el cultivo hidropónico de berro que permitan mejorar su eficiencia productiva, como una alternativa que acceda a la disminución de fertilizantes en corrientes de agua (arroyos), evitando la contaminación, además la utilización de una técnica de cultivo que permita obtener mejores beneficios directos, como fuente de ingresos al grupo de productores para la disminución de la dependencia total hacia el bosque y cultivos básicos como única fuente de recursos económicos en las comunidades indígenas de la Sierra de Oaxaca, México.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

- Evaluar diferentes soluciones nutritivas y porcentajes de sombreo en el cultivo hidropónico de berro (*Nasturtium officinale* R. Br.), utilizando una modificación de la técnica hidropónica técnica de cultivo con flujo laminar de agua y nutrientes (NFT, del inglés nutrient film technique) para la optimización del agua, fertilizantes y manejo en la comunidad de La Nevería, Sierra Norte, Oaxaca.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de cuatro soluciones nutritivas y cuatro porcentajes de sombreo en el crecimiento y producción de berro en cuatro temporadas de cosecha.
- Cuantificar el contenido de nitratos y fosfatos en plantas de berro cultivadas bajo un sistema hidropónico NFT.

2.3 Hipótesis

Hipótesis nula: Utilizar diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva y diferentes porcentajes de sombreo no tiene efecto sobre el crecimiento, producción y contenido de nitratos y fosfatos en el cultivo hidropónico de berro en las diferentes temporadas de cosecha.

Hipótesis alternativa: Al menos una solución nutritiva y un porcentaje de sombreo promueven el crecimiento, producción y disminuyen el contenido de nitratos y fosfatos en el cultivo de berro en las diferentes temporadas de cosecha.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El berro

3.1.1 Características generales

El berro (*Nasturtium officinale* R. Br.) es una planta originaria de Europa, y recientemente cultivada en casi todo el mundo (Palaniswamy y McAvoy, 2001). Es una de las pocas hortalizas que se desarrollan en hábitat acuático, creciendo en forma silvestre en aguas claras y frías de corriente lenta, en manantiales, arroyos y terrenos anegados (Warwick y Malcom, 1980; Cruz *et al.*, 2006).

Taxonomía del berro (Lot y Chiang, 1986):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Capparidales

Familia: Brassicaceae

Género: *Nasturtium*

Especie: *Nasturtium officinale* R. Br.

Sinonimia: *Rorippa nasturtium – aquaticum* (L)

Hayeck

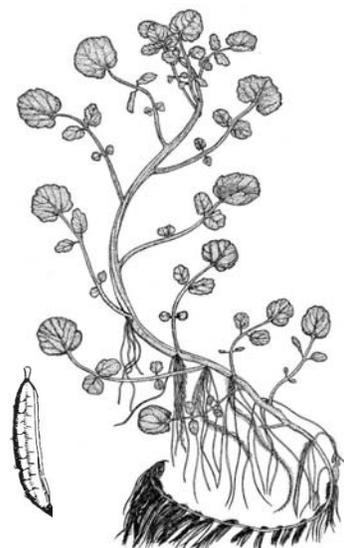


Figura 1. El berro

Mide aproximadamente 10 a 50 cm de altura con tallos angulosos, huecos, débil consistencia y ramificados. Sus hojas son pinatífidas alargadas de forma oval y con nervaduras muy marcadas de color verde oscuro o verdinegro; con disposición alterna y con bordes enteros o dentados. El tallo es rastrero con rizomas, las raíces son blancas y fibrosas que emergen de los nudos de los tallos. Sus flores son blancas pequeñas con cuatro pétalos agrupadas en racimos o en corimbos. Los frutos son vainas entre rollizas y angulosas con abolladuras arqueadas y separadas del eje del ramillete por pedúnculos de

longitud más cortos que la vaina. La semilla se ordenan en dos líneas dentro de la vaina son de color rojizo y de tamaño pequeño (un gramo contiene aproximadamente 4,000 semillas) con una duración germinativa de cinco años. El berro habita en climas semicálido, semiseco, seco y templado donde crece de forma silvestre a orillas de ríos y arroyos (Moroto, 1992; Walwick y Malcolm, 1980; Cabanillas, 1990; Kaskey y Tindall, 1979).

3.1.2 Importancia de su cultivo

Existieron algunos cultivos de berros en determinados centros religiosos durante la Edad Media. En Francia, durante el siglo XIX, se cultivó el berro de manera significativa dejándose de cultivar y posteriormente volviéndose a cultivar en los años setenta se retomó, donde la producción anual osciló entre 12,000 y 13,000 toneladas. En Estados Unidos el cultivo se desarrolla en Virginia, Maryland, Pennsylvania y Florida. En el Reino Unido el cultivo del berro se extendía a 50 Ha a mediados de los años 70. A nivel mundial, desde comienzo de los años 50 hasta mediados de los 70, la superficie de berros disminuyó progresivamente, las razones para esta reducción podrían ser la emigración de la mano de obra hacia las ocupaciones urbanas, el estancamiento de la demanda y el encarecimiento del cultivo (Cabanillas, 1990).

En años reciente, en California (EE. UU.) se cultiva el berro bajo la técnica de flujo laminar de agua y nutrientes (NFT) al aire libre y no recirculante, EN una extensión en promedio de 1.2 a 2 ha. En Venezuela, se cultiva el berro bajo el sistema hidropónico que cumple con las exigencias de calidad del mercado, con una producción de 6000 a 8000 kg procedentes de una superficie aproximada de 0.5 hectáreas, producto que se vende a los restaurantes (Resh, 2001).

Es poco conocida esta hortaliza, sin embargo, su importancia potencial radica en la cantidad de nutrientes esenciales importantes para la dieta humana.. Esta

planta contiene sales minerales como sodio, iodo, hierro, fósforo, manganeso, vitaminas A, C, B₂ y E; y glucosinolatos (Palaniswamy *et al.*, 2003). Estudios recientes muestran los beneficios que su consumo trae a la salud, disminuyendo problemas de artritis reumatoides, esclerosis múltiple y cáncer (De Chavéz *et al.*, 1992; Hedges y Lister, 2005; Cruz *et al.*, 2006; Pal – Hohan *et al.*, 1997).

3.1.3 Manejo del cultivo

Cabanillas (1990) y Moroto (1992) mencionan una forma de cultivo del berro en España, que a continuación se resumen.

- a) El cultivo se desarrolla en fosas de 2 – 3 m de longitud, 0.5 – 0.6 m de ancho y 0.40 – 0.70 m de profundidad, separadas entre si por pasillos de un metro. La fosa debe tener una pendiente del 2%. Antes de la siembra se incorpora al suelo 200 kg de estiércol de bovino, 6 kg de superfosfato de cal al 18 % y 3 kg de sulfato de potasio por área.
- b) La siembra se realiza entre marzo y julio en el fondo de la fosa, en líneas separadas entre si 10 – 15 cm a través de semillas, transplante de plántula, o esquejes. Aproximadamente de siete a diez días tras la siembra cuando las plantas han alcanzado una altura de 2 cm se deja pasar una tenue lámina de agua corriente que progresivamente se va elevando con el desarrollo de la planta hasta alcanzar un nivel de 10 – 12 cm, la que se mantiene a lo largo del ciclo.
- c) La recolección se hace manualmente, iniciándose a las cinco o seis semanas después de la siembra ó transplante. Las labores del cultivo más importantes son el manejo del agua, el mantenimiento de los bordes o terrazas, las escardas y la eliminación de algas.

3.2 Conceptos básicos del cultivo sin suelo

3.2.1 Cultivos sin suelo

Los cultivos sin suelo incluye a todos aquellos métodos y sistemas que hacen crecer a las plantas fuera de su ambiente natural; el suelo. Dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos; cultivos en sustrato, cultivos en agua (hidropónicos) y cultivos en aire (aeropónicos). Urrestarazu (2000), menciona, que existen clasificaciones que toman en cuenta la forma de suministro de la disolución nutritiva; cuando se hace aireación de la solución nutritiva y la existencia o no de reciclado o recuperación de la solución.

3.2.2 Cultivos hidropónicos

La palabra hidroponía derivada del griego *hydro* (agua) y *ponos* (labor, trabajo), es decir, literalmente “*trabajo en agua*”. Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la técnica del cultivo de las plantas sin utilizar el suelo, usualmente sólo un medio inerte al cual se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales para el desarrollo y crecimiento normal de la planta (Haward, 2001). Así entonces, la hidroponía es una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (agua y fertilizantes) con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta.

Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abiertos y cerrados. Los abiertos son aquellos donde la solución aplicada a las raíces de las plantas, no es rehusada y cerrados cuando la solución excedente es recuperada, regenerada o recirculada (Jensen y Collins, 1985).

La mayoría de los sistemas hidropónicos se realizan en invernadero con el fin de controlar la temperatura, reducir la pérdida de agua por evaporación, controlar las infestaciones de plagas y enfermedades y proteger a los cultivos del viento y la lluvia. La hidroponía forma parte de la agricultura bajo ambientes controlados, y el aspecto más importante es el manejo de soluciones nutritivas, para la nutrición de las plantas y, en los cultivos, la cantidad y calidad de la producción. Los aspectos de la solución nutritiva que en mayor medida influyen en la producción son la relación mutua entre los cationes, entre aniones, la concentración de los nutrimentos (debido a que éstos se encuentran en forma iónica, la concentración se expresa mediante la conductividad eléctrica), el pH y la temperatura (Lara, 1999).

- *Técnica de cultivo con flujo laminar de agua y nutrientes (NFT, Nutrient Film Technique)*

La técnica de NFT se encuentra clasificada dentro de las técnicas en medio líquido cerrado. Esta técnica es relativamente reciente y consiste en mantener en recirculación una capa fina de la solución nutritiva en las raíces de las plantas utilizando como medio el agua. Las plantas crecen en canales formados por una película de polietileno, sumergidas las raíces, modifica la incidencia de luz y se hace fluir la solución (Lara, 1999). La longitud del canal es de aproximadamente 20 m, con una pendiente entre 1.5 y 2%. El flujo de la solución debe ser entre 60 y 120 litros por hora (Jenner, 1980).

3.2.3 Diferencia entre cultivos hidropónicos y los cultivos en suelo

El cultivo de plantas de cualquier especie, requiere basar su operación en la sanidad y en el aseguramiento de la calidad de todos los materiales que allí producen. Esta premisa se puede lograr con el empleo de los cultivos hidropónicos, debido a que se facilita el control de todas las condiciones bióticas y abióticas requeridas durante todo el ciclo productivo. Desde el punto de vista nutricional, los sustratos proporcionan resultados superiores a los

basados en tierra, siempre que se conozcan y comprendan sus características y necesidades del cultivo.

No existe una diferencia fisiológica entre las plantas que crecen en un cultivo hidropónico y aquellas que lo hacen en el suelo. En el suelo, tanto los componentes orgánicos como inorgánicos, deberán ser descompuestos en elementos inorgánicos antes que ellos estén a disposición de las plantas. Estos elementos están en la solución del suelo y son absorbidos por las plantas. En los cultivos hidropónicos las raíces de las plantas son humedecidas con soluciones de nutrientes y el proceso de utilización es el mismo que en el cultivo en suelo (Haward, 2001).

Aunque tiene algunas ventajas los cultivos hidropónicos, también presenta algunas desventajas. La inversión inicial es alta, aunque a mediano y largo plazo se ven los beneficios y su rentabilidad. En un sustrato estéril o libre de plagas y microorganismos causales de enfermedades en las plantas, la probabilidad es alta de que alguno de éstos colonice el sustrato y las plantas, debido a que sus controladores biológicos no estarían presentes. Dependiendo del sustrato empleado, al finalizar el ciclo productivo de las plantas y cuando ya no se reutiliza la solución o material, se genera un residuo de difícil aprovechamiento, provocando impactos ambientales (Resh, 2001).

3.2.4 Soluciones nutritivas de los cultivos hidropónicos

En un cultivo hidropónico los nutrimentos son suministrados mediante una solución nutritiva y asimilable por las raíces de la planta. La forma más simple se logra disolviendo fertilizantes en agua, los cuales se disocian quedando los elementos en forma iónica. La composición de la solución es muy importante para lograr el éxito del cultivo ya que no existe una formulación única para la solución nutritiva. Las concentraciones adecuadas de los elementos nutricionales dependen de varios factores como la especie y variedad cultivada,

estado de desarrollo, época del año, clima, calidad del agua y temperaturas entre otras (Urrestarazu, 2000).

Steiner (1968) señala que la solución nutritiva debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Una relación mutua de aniones y cationes
- b) Una concentración iónica total
- c) Un pH con tolerancia \pm

Es costoso llevar a cabo un monitoreo de los elementos en la solución nutritiva, por lo que, el método más práctico, para ajustar el suministro de nutrientes en relación a la demanda en sistemas hidropónicos es la medida de la concentración total de iones de la solución expresada como la conductividad eléctrica en la zona de la raíz (Urrestarazu, 2000).

De los factores del medio, la temperatura es uno de los más importantes. Que influyen tanto en la absorción de la planta tanto de nutrientes como de agua (Gordon y Brolen, 1994).

Adams (1994) reportó que la temperatura de la solución nutritiva mayor efecto en la absorción de fósforo que de nitrógeno y el agua. A bajas temperaturas la suberización de la endodermis se extiende al ápice de la raíz e influye en la absorción de los nutrimentos.

En el agua, además de disolver las sales de los nutrimentos, en forma natural, disuelve el oxígeno que requieren las raíces de las plantas. La temperatura de la solución tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta en inversa con el oxígeno disuelto en la solución nutritiva (Lara, 1999).

temperaturas menores a 22°C el oxígeno disuelto en la solución nutritiva es suficiente para abastecer la demanda de este nutrimento, sin embargo, el

requerimiento es pequeño debido a que se reduce la velocidad de un buen número de procesos fisiológicos, entre ellos la respiración y, por lo tanto, también se reduce el crecimiento de la planta. Contrariamente a temperaturas menores a 22°C, la gran demanda de oxígeno no es satisfecha por la solución nutritiva debido a que la temperatura aumenta la difusión de este gas (Graves, 1983). Con carencia de oxígeno prosperarán todo tipo de enfermedades y gérmenes patógenos; por lo general, se recomienda mantener el agua a temperatura ambiente, lo más próximo a los 18 a 22°C (Noucetta, 2005).

3.3 Nitratos y fosfatos

3.3.1 Contaminación en el suelo

Los residuos de la fertilización, principalmente de fosfatos y nitratos, causan la eutrofización de lagos y aguas costeras que disminuyen la cantidad de oxígeno y cierto tipo de algas con generación de metano, también originan salinidad o alcalinidad del suelo para hacerlos improductivos. En los cultivos hortícolas se ocasionan importantes pérdidas de nitratos y fosfatos, no sólo por las altas dosis de fertilizantes utilizados, sino también por la baja eficiencia en los sistemas de riego (Cárdenas – Navarro *et al.*, 1999; Steffen *et al.*, 2002).

El nitrógeno es un elemento imprescindible para todos los seres vivos y las plantas, lo absorben fundamentalmente en forma nítrica disuelta en la solución del suelo. Los campos de cultivo son fertilizados con fuentes nitrogenadas se realiza directamente con nitratos y en exceso. Las sales nítricas por ser las más solubles pasan al agua en su infiltración hacia las capas freáticas (provocando su contaminación) o en la escorrentía hacia las aguas superficiales; una fracción se absorbe y acumula en las plantas, originándose la sobre acumulación de nitratos en los productos agrícolas; y otra porción, a veces, es transformada por los microorganismos desnitrificadores del suelo en nitrógeno molecular escapando a la atmósfera (Hanafy *et al.*, 2000; Anjana *et al.*, 2007).

El ión nitrato es la forma en que las plantas absorben la mayor parte del nitrógeno. En el interior de la planta el nitrato se transforma en amonio y posteriormente en aminoácidos y proteínas mediante los procesos asociados a la fotosíntesis. Si la velocidad de absorción es superior a la de transformación se aculará nitrato en los tejidos vegetales (Azcón – Bieto y Talón, 2000).

Después del nitrógeno, el fósforo es el segundo macroelemento limitado en los ecosistemas acuáticos y terrestres; por lo que, en los sistemas agrícolas la baja disponibilidad de este elemento ha propiciado buscar fuentes alternas como los fertilizantes. Sin embargo el uso intensivo ha provocado contaminación en el suelo y en fuentes de agua (Bates y Lynch, 2000).

El fósforo esta disponible para la planta en forma ión fosfato y se absorbe preferentemente como H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} . En contraste con el nitrógeno, el fósforo no se encuentra en forma reducida en las plantas sino que permanece como fosfato, ya sea en forma libre o como un compuesto orgánico, principalmente como éster fosfórico con grupos hidroxilos o formando enlaces anhídridos (energía) como el ATP o ADP. Desempeña, por tanto, un papel clave en la fotosíntesis, la respiración y en todo el metabolismo energético (Azcón – Bieto y Talón, 2000)

3.3.2 Salud humana

El consumo de vegetales con alto contenido de nitratos es potencialmente peligroso para la salud humana. El problema radica en que tras su ingesta pueden ser reducidos a nitritos en el interior del organismo, especialmente en los niños y en adultos con ciertos problemas, aunque no es restrictivo para adultos. La toxicidad del nitrato se debe a su reducción a nitritos que, al combinarse con las aminas y amidas forman compuestos de nitrosaminas o nitrosamidas respectivamente, las cuales son agentes cancerígenos (Walke,

1990). Otro de los principales mecanismos de toxicidad es la oxidación del hierro ferroso (Fe^{+2}) en la hemoglobina a ferrico (Fe^{+3}), produciendo metahemoglobina. Una consecuencia de la formación de metahemoglobina radica en el impedimento de la liberación del oxígeno en los tejidos humanos (Knobeloch *et al.*, 2000; Hanafy *et al.*, 2000; Anjana *et al.*, 2007).

La Comisión Europea, a través de la Comunidad Científica en Alimentos (1995) determinó una ingesta diaria admisible, sin riesgo aparente para la salud, de 3.65 mg kg^{-1} del cuerpo por día (219 mg día^{-1} para una persona de 60 kg), además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) fijó una ingesta diaria admisible para el ión nitrito, de 0.133 mg por kilogramo de peso corporal y reduciendo a cero los nitritos en el caso de lactantes (Ministry of Agricultura, Food and Fisheries, 1999). Ysart *et al.*, (1999) estimó la absorción de 93 mg día^{-1} de nitratos en el consumo de una persona adulta.

Anjana *et al.* (2007) mencionan que aproximadamente el 70% de la absorción de nitratos, en la dieta humana provienen de los vegetales. Ysart *et al.* (1999) muestran una proporción de la absorción de éste ión para papas (33%), vegetales de hoja (21%), y otros vegetales (15%), bebidas (8.5%), carnes (4.2%), fruta fresca (3.5%), leche (2.9%), cereales (2.1%) y pan (1.6%).

En general, los vegetales que son consumidos con su raíz, tallo y hojas tienen una alta acumulación de nitratos a diferencia de los frutos. El contenido de nitrato varía dependiendo de la parte de la planta (Santamaría *et al.*, 1999; Zhou *et al.*, 2000).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del ensayo

La localidad de La Nevería donde se realizó el experimento, se localiza entre $17^{\circ}07'38''$ N y $96^{\circ}14'03''$ O, en el municipio de Santa Catarina Lachatao, distrito de Ixtlán, Sierra Norte de Oaxaca. La altitud promedio es de 2700 m (INEGI, 2000, Figura 2).

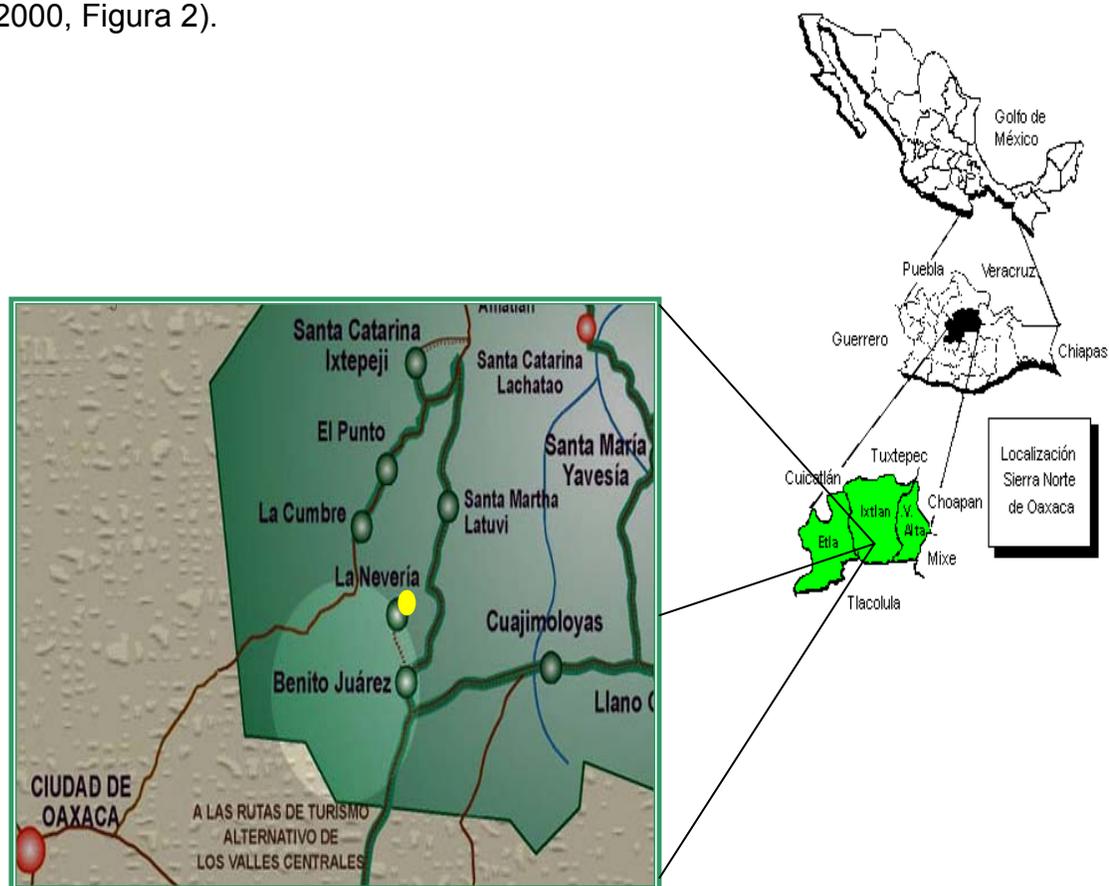


Figura 2. Localización de La Nevería, Sierra Norte de Oaxaca.

La vegetación predominante es de bosque de pino-encino. El clima es templado – subhúmedo, la temperatura media anual varía entre 16° y 1° C. La precipitación media anual es de 1036.7 mm (INEGI, 2002).

Las temperaturas promedio mínimas, medias y máximas y la precipitación promedio mensual durante la estación de crecimiento del cultivo evaluado se presenta en el Cuadro 1; es notoria la diferencia en precipitaciones entre los meses de febrero, marzo y abril comparados con junio, julio, agosto y septiembre.

Cuadro 1. Temperatura y precipitación promedio en la estación de crecimiento del berro evaluado, en Ixtlán, Oax. 2006.

Elementos	Meses del año									
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Temperatura máxima promedio (°C)	24.4	27.7	28.1	26.6	23.2	22.7	24.1	24.3	24.3	22.2
Temperatura mínima promedio (°C)	7.6	9.1	10.3	12.0	12.2	12.6	12.9	12.8	12.1	8.7
Temperatura media mensual (°C)	16.0	18.4	19.2	19.3	17.7	17.6	18.5	18.5	18.2	15.4
Precipitación total mensual (mm)	8.0	11.9	0.0	92.0	152.1	152.1	105.3	106.5	80.6	78.2

Fuente: CNA, Organismo de Cuenca Golfo Centro, estación: Ixtlán, Oax.

4.2 Características del ensayo

El diseño de los tratamientos para el ensayo se realizó bajo un esquema bifactorial. El factor solución nutritiva constó de cuatro niveles de concentración etiquetados como A, B, C y D, descritos posteriormente. El factor porcentaje de sombreo tuvo también cuatro niveles: 0, 10, 50 y 70% de sombreo. Al combinar los dos factores, solución nutritiva y porcentaje de sombreo, se generaron 16 tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos a evaluar en el ensayo de berro hidropónico.

Solución nutritiva	Porcentaje de sombreo (%)			
	0	10	50	70
A	A0	A10	A50	A70
B	B0	B10	B50	B70
C	C0	C10	C50	C70
D	D0	D10	D50	D70

Los tratamientos se distribuyeron en campo de la siguiente manera; cada canaleta de cultivo tuvo una solución nutritiva específica y en cada canaleta fueron aleatorizados los cuatro niveles o porcentajes de sombreo mediante el uso de malla de sombra. Debido a limitaciones económicas para repetir en espacio o tiempo se optó por solo incrementar el número de muestreos o evaluaciones dentro de cada parcela experimental (véase Anexo 1).

4.3 Establecimiento del ensayo en campo

Se construyeron cuatro contenedores o canaletas de madera de 7.5 m de largo por 0.30 m de ancho y 0.15 m de profundidad (Figura 3). Se colocaron a 1 m de altura sobre el nivel del suelo con una pendiente del 2%, con la finalidad tener las mejores condiciones de manejo del cultivo y recuperación de la solución nutritiva de acuerdo con las recomendaciones de Carrasco (2004).



Figura 3. Contenedores experimentales para el cultivo de berro hidropónico.

Los contenedores se impermeabilizaron en su interior con una película de polietileno negro calibre 700, sobre la cual se depositó grava fina de 0.5 cm de diámetro como medio de soporte para el crecimiento de las plantas. Para el tratamiento de cero soluciones nutritivas (D) o testigo solo se colocó el suelo que normalmente utilizan en el cultivo del berro los agricultores de La Nevería.

Manejo de la soluciones nutritivas. La preparación de las soluciones nutritivas utilizadas se basó en un equilibrio iónico entre los nutrientes procedentes del agua de riego y los valores óptimos para el cultivo y se expresó en g L^{-1} ; se utilizó una modificación de la solución nutritiva elaborada por Martínez *et al.*, (2004) para el cultivo de lechugas (Cuadro 3). Para su preparación se utilizaron fertilizantes comerciales; nitrato de amonio (NH_4NO_3), nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), nitrato de potasio (KNO_3), fosfato monopotásico (KH_2PO_4), sulfato de magnesio (MgSO_4) y microelementos (ultra micro), Urrestarazu (2000).

Cuadro 3. Soluciones nutritivas empleadas y fuentes utilizadas para integrarlas.

Solución	Sustancia					
	NH_4NO_3	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	KNO_3	KH_2PO_4	MgSO_4	Microelementos
A	27	244.35	204.3	80.33	103.73	40
B	18	162.9	136.35	53.55	69.17	40
C	9	81.45	68.175	26.93	34.59	40
D	0	0	0	0	0	0

El sistema de recirculación de la solución nutritiva se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Salas y Urrestarazu (2004). Consistió en utilizar cuatro micro bombas, una por canaleta; cada vez que se preparó la solución nutritiva se midió la conductividad eléctrica (CE), el pH (con un potenciómetro Hanna modelo H199 1300) y la temperatura. El comportamiento promedio de las soluciones respecto a esos parámetros se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Promedio de los parámetros medidos en el agua.

Parámetro	Solución			
	A	B	C	D
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	1.525	1.314	0.689.	0.349
pH	6.36	6.23	6.74	6.71
Temperatura	14.97	15.13	14.77	13.77

Manejo de los porcentajes de sombreo. Se aplicaron cuatro porcentajes a través mallas sombras comerciales que permite diferentes pares de sombras: 0, 10, 50, y 75%. En cada parcela experimental, según la aleatorización dentro de la canaleta, fue colocada la respectiva malla sujeta a la estructura de madera. La parcela experimental que cubrió cada malla fue de 1.8 m (Figura 4).



Figura 4. Establecimiento de la malla sombra.

4.4 Material vegetativo, siembra y cosecha

El material vegetativo para el ensayo fueron esquejes colectados de plantas de berro que se encontraban de forma silvestre en los arroyos de la comunidad de La Nevería, con un tamaño entre los 2-3 cm. Las esquejes fueron sembradas en el mes de enero del 2006 y un mes después se les realizó un corte de

uniformidad a 2.5 cm de altura para proceder a evaluar las respuestas del sombreado y la solución nutritiva

La cosecha del berro se realizó en cuatro épocas, al presentar el tamaño y vigor comercial (antes de tenderse la planta, aproximadamente de 15 – 20 cm de longitud, adquiriéndolo a los 2 meses aproximadamente), basados en la experiencia de los productores de la comunidad de La Nevería. En el ensayo se evaluaron cuatro temporadas de cosecha que fueron en los meses de abril, junio, septiembre y noviembre de 2006 (Cuadro 1).

Al finalizar el corte de junio se presentó la colonización de algas en las canaletas, encontrando una mayor presencia en los sitios donde no se colocó malla sombra, disminuyendo el crecimiento de las plantas de berro, por lo que se realizó un lavado del material vegetal y sustrato con el objetivo de eliminar a las algas, después se realizó una resiembra del material vegetal. Al finalizar cada cosecha, se repoblaron las zonas donde estuvieran abiertas, con el mismo material de la canaleta a través de esquejes.

Variables evaluadas. El efecto de las soluciones nutritivas y el porcentaje de sombreado se evaluó a través de las plantas provenientes de una muestra, dentro de la parcela experimental, constituida por un cuadrante de 27.5 x 21.5 cm que en promedio contenían 124 plantas de berro. Dentro del cuadrante se seleccionaron al azar seis plantas, a las que se les midió la longitud del tallo (cm), el peso fresco (g), peso seco (g) materia seca (%) y diámetro (mm). La longitud del tallo se midió de la parte basal al foliolo más alto; el diámetro se midió en la parte basal del tallo. El peso seco se determinó gravimétricamente, las plantas fueron pesadas y colocadas en una estufa a una temperatura de 70°C por 72 horas. A partir de la relación de pesos frescos y secos se calculó el porcentaje de materia seca.

Para la determinación de nitratos se utilizó el método de Cataldo. El contenido de fosfatos en la planta se obtuvo mediante la técnica del fósforo en material vegetal por el método del vanadato molibdato amarillo (Alcántar y Sandoval, 1999). Así también, se realizó un análisis en laboratorio para conocer el contenido de macronutrientes (Na, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) presentes en la parte aérea de cuatro muestras de la planta.

4.5 Análisis de los datos

Para proceder al análisis estadístico los datos se re-escalaron a través de la adición de la unidad a cada valor real para la eliminación de ceros y hacer estimables las ecuaciones normales en los análisis realizados (Steel y Torrie, 1985).

Es importante mencionar, que el efecto del factor sombreo se encuentra anidado en el factor solución nutritiva y la interacción de los factores no existe. Entonces para probar las diferencias entre los niveles de cada factor en el ensayo, se recurrió, bajo la teoría del modelo lineal general (Steel y Torrie, 1985; Martínez, 1996), a un modelo lineal aditivo. Así, el modelo lineal utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + Som_{i(j)} + Sol_{(j)} + \varepsilon_{ijk}, \text{ asumiendo que } Y_{ijk} \text{ y } \varepsilon_{ijk} \sim \text{NI}(0, \sigma^2) \text{ y}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta (altura, peso seco, peso fresco, etc.)

μ = media general de todos los tratamientos

$Som_{i(j)}$ = efecto del factor sombra

$Sol_{(j)}$ = efecto del factor solución nutritiva

ε_{ijk} = error de muestreo en cada unidad experimental

Cuando se obtuvieron diferencias significativas entre los niveles de cada factor, evaluados por la significancia del valor de F calculada en el análisis de

varianza, se procedió a realizar una comparación múltiple de medias mediante la prueba de rango múltiple de Tukey con un nivel de confianza de 95%. Los procedimientos de los análisis se realizaron a través del programa estadístico SAS (1999). El análisis estadístico de los parámetros de crecimiento se realizó por separado para cada temporada de cosecha (abril, junio, septiembre y noviembre).

Para el caso de nitratos y fosfatos se hizo comparando la acumulación de los iones en general por factor solución y sombra, y por mes de cosecha. Sin embargo, los análisis solo fueron de tipo descriptivo y específicamente para el contenido de nutrientes en la parte aérea del berro, únicamente se comparó con los datos reportados por otros autores.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Prueba de F para las variables evaluadas en las diferentes cosechas

En el Cuadro 5 se presentan los coeficientes de determinación (r^2) del modelo lineal aditivo utilizado para la respuesta de cada variable; en promedio fueron valores de r^2 mayores al 0.8. Por lo tanto, el modelo aditivo propuesto es robusto para el desglose de los efectos de los factores solución nutritiva y porcentaje de sombreado. En el análisis de varianza realizado para el factor soluciones estimó diferencias significativas para todas las variables evaluadas (altura, peso fresco y seco, materia seca y diámetro de tallo) y para las cuatro épocas de cosecha, Cuadro 5. Así, los resultados indica que si hay un efecto de las soluciones nutritivas en el crecimiento y desarrollo del berro.

Cuadro 5. F calculada del análisis de varianza y su significancia estadística del factor solución nutritiva en relación a las variables evaluadas por mes de cosecha.

Cosecha	Altura (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Materia seca (%)	Diámetro (mm)
Abril	262.09**	16.48**	9.30**	25.05**	33.72**
r^2	0.92	0.52	0.48	0.82	0.63
CV	14.34	33.45	4.55	20.46	17.30
Junio	990.51**	52.31**	42.35**	61.28**	236.94**
r^2	0.97	0.76	0.73	0.79	0.91
CV	10.59	39.65	9.31	31.70	15.89
Septiembre	306.90**	111.50**	96.95**	6.03**	52.59**
r^2	0.93	0.83	0.80	0.41	0.72
CV	12.13	17.66	3.29	14.07	13.92
Noviembre	714.88**	58.41**	89.49**	217.07**	18.14**
r^2	0.72	0.79	0.87	0.93	0.90
CV	13.92	32.48	2.87	17.83	16.19

** = efecto altamente significativo ($P \geq 0.01$); r^2 = Coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación (%).

En el Cuadro 6, se presenta un resumen del análisis de varianza para el factor sombra de las diferentes variables evaluadas en el ensayo de berro. La tendencia del r^2 fue muy similar que en el factor soluciones nutritivas; es decir,

el modelo fue confiable para evaluar las diferencia entre los niveles de sombra. Para las cosechas de abril y noviembre los valores de F para todas las variables fueron significativos al 0.05 de probabilidad. Sin embargo, en relación a la materia seca producida en las cosechas de junio y septiembre las diferencias no fueron significativas. Además, en septiembre no hubo efectos significativos para el peso fresco. Todo esto indica que existen efectos significativos entre los porcentajes de sombra, a través de las épocas de cosecha, para la altura de la planta, peso seco, materia seca y diámetro del tallo. También se estimó que la materia seca producida en junio y septiembre es invariable al efecto de la sombra, posiblemente, porque esos meses son de mayor cantidad de lluvias (el ensayo no estuvo cubierto con plástico) y se presentaron mayor número de días nublados.

Cuadro 6. F calculada del análisis de varianza y su significancia estadística del factor sombra en relación a las variables evaluadas por mes de cosecha.

Cosecha		Altura (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Materia seca (%)	Diámetro (mm)
Abril		39.09**	5.29**	6.07**	19.95**	2.86*
	r ²	0.92	0.52	0.48	0.82	0.63
	CV	14.34	33.45	4.55	20.46	17.30
Junio		48.71**	9.11**	6.25**	1.62 ^{ns}	6.19**
	r ²	0.97	0.76	0.73	0.79	0.91
	CV	10.59	39.65	9.31	31.70	15.89
Septiembre		4.62**	2.66 ^{ns}	3.50*	1.41 ^{ns}	5.45**
	r ²	0.93	0.83	0.80	0.41	0.72
	CV	12.13	17.66	3.29	14.07	13.92
Noviembre		130.40**	19.03**	31.75**	30.07**	14.42**
	r ²	0.72	0.79	0.87	0.93	0.90
	CV	13.92	32.48	2.87	17.83	16.19

**; efecto altamente significativo ($P \geq 0.01$), * efecto significativo ($P \geq 0.05$), ns = efecto no significativo ($P \leq 0.05$), r² = Coeficiente de determinación y CV = coeficiente de variación (%).

5.2 Evaluación del efecto de soluciones nutritivas y sombreo en el crecimiento de plantas de berro hidropónico

5.2.1 Efecto de las soluciones nutritivas

Altura de planta. Fueron evaluadas las alturas a diferentes fechas de cosecha; en promedio las soluciones A y B (mayores concentraciones de nitrógeno), fueron significativamente las que presentaron mayor crecimiento o recuperación al corte a lo largo del cultivo. El testigo (solución D) significativamente fue inferior en todas las cosechas e incluso en junio y noviembre, el crecimiento fue de cero, porque no alcanzo su altura comercial (Cuadro 7). Es decir, que las soluciones probadas promovieron el mayor crecimiento del tallo de las plantas.

Cuadro 7. Promedio de la altura (cm) de la planta por el efecto de las soluciones nutritivas a diferente fechas de cosecha.

Solución	Cosecha*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
A	14.8 b	42.1 a	25.0 b	21.6 a
B	25.9 a	28.6 b	27.5 a	14.4 b
C	14.3 b	30.7 b	26.4 ab	7.4 c
D	3.8 c	0 c	6.9 c	0 d

* Promedios con la misma letra no difieren significativamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Específicamente para el corte de junio, las plantas fueron cosechadas una semana después del corte tradicional por los productores, por lo que se obtuvo en promedio una altura de planta de 25.3 cm, presentando el mayor crecimiento las plantas sometidas a los tratamientos con mayor concentración de elementos esenciales (solución A). De manera similar se comportó el corte de noviembre pero con menor altura de planta (21.6 cm). En el corte de septiembre, las plantas de berro mostraron, en la comparación de medias, un efecto significativo en el aporte de nutrientes y en la solución B fue en la que se alcanzaron los mejores resultados (27.5 cm), Cuadro 7. Todo esto nos indica

que el efecto de las soluciones se ve afectado por las lluvias debido a que el ensayo no está debajo de una cubierta plástica.

En época de lluvias, las plantas que recibieron la más alta concentración de nutrientes (solución A) presentaron un mayor crecimiento, pero este efecto no está relacionado directamente con un elevado consumo de nutrientes; más bien, se debe a la pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de estos, debido al efecto del agua de lluvia, lo que además puede en ciertos casos, ocasionar una deficiencia en la planta. También, ello ocasiona un desbalance en la relación mutua entre los iones de las diferentes soluciones empleadas (Lara, 1999). Por otro lado, el fotoperiodo, la humedad relativa y probablemente la temperatura también influyen en el crecimiento o recuperación de las plantas porque en abril y noviembre se presentaron las menores alturas. Al respecto, Adams (2004) señala que las plantas en un ambiente frío “consumen” más elementos que en un ambiente cálido.

Diámetro del tallo. Los resultados obtenidos en relación al diámetro del tallo muestran que para las diferentes épocas de corte, las soluciones incrementaron el diámetro ya que el testigo (D) siempre mostró, significativamente, menor respuesta. De forma similar a la altura de la planta, en abril y noviembre se presentó el menor diámetro de tallo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Promedio del diámetro (cm) de las plantas en respuesta a las soluciones nutritivas a diferentes épocas de cosecha.

Solución	Época de cosecha*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
A	1.9 a	3.8 a	3.3 a	2.6 a
B	1.9 a	3.9 a	3.7 a	2.4 a
C	1.7 a	3.0 b	3.3 a	1.6 b
D	0.8 b	0 c	1.8 b	0 c

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

En los mercados locales de Oaxaca, la presentación del berro es de gran importancia el grosor o diámetro, tamaño de los tallos y hojas para adquirir mayor precio. Urrestarazu y Salas (2005) indican que una concentración alta de elementos en la solución nutritiva puede afectar seriamente algunos órganos de la planta, casi siempre aumentando el grosor y disminuyendo la altura, lo cual representa la disminución de la producción, pero se aumenta la calidad, esto es muy común en tomate hidropónico.

Peso fresco y seco. El peso fresco (PF) y peso seco (PS) son variables que nos ayudan a estimar la acumulación del materia seca. Nuevamente como fue en las variables previas, las soluciones ayudaron a incrementar el peso fresco de las plantas, a lo largo del ciclo de crecimiento evaluado, como se demuestra en los valores medios presentados en el Cuadro 9. En las cosechas de abril y junio, las plantas que recibieron concentraciones mediante las soluciones nutritivas (A y B) tuvieron significativamente los mayores pesos frescos (de 1.2 a 1.4 g). En septiembre la solución B presentó los mayores valores de peso fresco y podría sugerirse que de abril a septiembre esta sea la solución que se utilice por su menor costo para la preparación y mayor efecto en el peso fresco y después utilizar la solución A en noviembre.

Cuadro 9. Promedios de peso fresco (g) en plantas de berro hidropónico con diferentes soluciones nutritivas a diferentes épocas de corte.

Solución	Época de cosecha*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
A	1.136 a	6.299 a	2.897 c	2.627 a
B	1.434 a	6.138 a	4.375 a	1.640 b
C	1.233 a	3.664 b	3.541 b	0.721 c
D	0.188 b	0 c	0.873 d	0 d

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

En relación al peso seco, no hubo diferencias significativas en respuesta a las soluciones para la cosecha de abril. Sin embargo, para junio y septiembre la solución B, presentó el mayor peso seco pero en noviembre la solución A supero a todas las demás (Cuadro 10). Entonces, los resultados indican que las

soluciones afectan el peso seco de las plantas encontrándose variación de acuerdo a la época de cosecha y que las soluciones que mejor respuesta producen son Ay B.

Cuadro 10. Promedios del peso seco (g) en las plantas de berro producido por el efecto de las soluciones nutritivas a diferentes épocas de cosecha.

Solución	Época de cosecha*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
A	0.08 a	0.22 b	0.13 c	0.14 a
B	0.09 a	0.32 a	0.22 a	0.10 b
C	0.10 a	0.08 c	0.16 b	0.05 c
D	0.03 b	0 c	0.04 d	0 d

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

Materia seca. En la Cuadro 11 se presentan los porcentajes de materia seca de berro; en los cortes de junio y noviembre, las plantas acumularon, significativamente, mayor materia seca en sus tejidos cuando se agregaron soluciones nutritivas (A, B y C) que sin ellas (testigo, D). Sin embargo, en abril y septiembre la situación fue inversa. Todo esto sugiere que, no necesariamente las soluciones influyen directamente en la mayor producción de materia seca y que además depende de la estación de crecimiento.

Cuadro 11. Porcentaje de materia seca acumulada en berro por el efecto de las soluciones nutritivas a diferentes épocas de corte

Solución	Época de cosecha*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
A	6.97 bc	3.33 b	4.59 b	5.24 a
B	6.36 c	5.41 a	5.21 ab	5.53 a
C	8.13 b	1.99 c	4.63 b	5.54 a
D	10.63 a	0 d	5.43 a	0 b

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

Para el corte de junio, las plantas que recibieron solución nutritiva con concentración intermedia de nutrientes (B), acumularon 5.41% de materia seca, una cantidad significativamente mayor a la respuesta de las otras dos

soluciones evaluadas. Para el corte de noviembre, no hubo diferencia significativa en la materia seca producida por las plantas sometidas a las tres diferentes soluciones nutritivas (A, B y C), Cuadro 11.

5.2.2 Efecto de porcentaje de sombreo

Altura de la planta. Respecto al efecto del sombreo en la altura de la planta (Cuadro 12), se estimó que en las cosechas de abril y septiembre las sombra incremento significativamente la altura. Sin embargo, en junio y noviembre la reacción fue inversa, el testigo (0% de sombra) presentó mayor altura que los tratamientos de sombra. Además, en un porcentaje de sombra del 70% la respuesta en altura fue significativamente menor desde abril a noviembre.

Cuadro 12. Promedio de altura de planta (cm) de berro bajo diferentes porcentajes de sombreo en diferente épocas cosecha.

% de sombra	Época de cosecha*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
0	9.51 c	29.86 a	20.35 b	15.21 a
10	15.09 a	26.27 b	23.12 a	13.01 b
50	14.99 a	24.27 c	21.37 ab	8.55 c
70	13.31 b	20.47 d	20.92 b	6.61 d

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

Para el corte de septiembre, las plantas con mayor crecimiento fueron aquellas que tuvieron cubierta de sombra al 10% (23.1 cm), pero este no es significativamente diferente a las que estuvieron sometidas al 50% de sombreo (21.37 cm).

Los resultados señalan que, el factor porcentaje de sombreo en época seca (febrero - abril) favorece el crecimiento de las plantas, debido a la generación de un microclima, probablemente idóneo para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, en la época de lluvias (mayo - septiembre) existe una abundante

presencia de nubes, por lo que los materiales de sombreo tienen poca incidencia en el cultivo.

Diámetro del tallo. En general, los diferentes niveles de sombra no afectaron significativamente el engrosamiento del tallo de plantas de berro a diferentes épocas de cosecha con la excepción de abril en donde una sombra del 50% influyo significativamente en mayor diámetro de tallo (Cuadro 13). En el peor de los casos (noviembre), la sombra afecto negativamente el grosor de tallo.

Cuadro 13. Promedio del diámetro (mm) del tallo de las plantas de berro bajo diferentes porcentajes de sombra en diferente épocas de corte.

% de sombra	Época de cosecha*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
0	1.37 b	3.10 a	3.23 a	2.13 a
10	1.58 ab	2.60 a	3.23 a	1.60 b
50	1.75 a	2.58 ab	2.98 ab	1.33 b
70	1.56 ab	2.42 b	2.67 b	1.60 b

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$)

Peso fresco y seco. Las plantas que se sometieron a un 10% de sombreo, presentaron una mayor acumulación del peso fresco y seco de abril a septiembre (Cuadro 14). En junio y noviembre el testigo (0% de sombra) genero el mayor peso fresco y seco. Esto último sugiere, que no se recomienda utilizar la malla sombra en la época lluviosa (mayo - agosto) y tampoco en la más fría del año en la comunidad de La Nevería o bien si se utiliza que el porcentaje de sombra sea cercano 10 y solo alrededor de septiembre.

Cuadro 14. Promedios del peso fresco (g) y seco (g) de las plantas de berro bajo diferentes porcentajes de sombra y diferentes épocas de cosecha.

% de sombra	Época de corte			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
<i>Peso fresco (g)</i>				
0	0.605 b	5.603 a	2.957 ab	2.091 a
10	1.395 a	4.389 ab	3.231 a	1.327 b
50	1.076 ab	2.958 b	2.794 ab	1.029 bc
70	0.855 b	3.154 b	2.705 ab	0.539 c
<i>Peso seco (g)</i>				
0	0.047 b	0.224 a	0.128 b	0.122 a
10	0.112 a	0.178 ab	0.161 a	0.073 b
50	0.075 ab	0.125 b	0.135 ab	0.054 bc
70	0.068 b	0.101 b	0.143 ab	0.041 c

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

Materia seca. En junio y septiembre no hubo efecto significativo del sombreado en la cantidad de materia seca acumulada. Sin embargo, en abril a noviembre puede utilizarse un sombreado del 10% debido a que no difiere significativamente del tratamiento con 70%, otro que presentó los mayores valores en materia seca (Cuadro 15).

Cuadro 15. Promedio del porcentaje de materia seca producida a cuatro porcentajes de sombra medida en diferentes épocas de corte.

% de sombra	Época de corte*			
	Abril	Junio	Septiembre	Noviembre
0	5.565 b	2.574 a	4.917 a	4.249 b
10	8.309 a	2.921 a	4.822 a	4.453 ab
50	9.112 a	2.934 a	4.822 a	2.632 c
70	9.118 a	2.303 a	5.265 a	4.985 a

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

5.3 Acumulación de nitratos en el tejido de las plantas de berro hidropónico

En general, las soluciones nutritivas influyeron en que se incrementará el mayor contenido de nitratos acumulados en las plantas de berro. Específicamente, las soluciones A y B presentaron, significativamente, los mayores valores del contenido de nitratos acumulados (Cuadro 16).

Cuadro 16. Promedios del contenido de nitratos (NO_3^- , mg kg^{-1}) por el efecto de diferentes soluciones nutritivas.

Solución	NO_3^- (mg kg^{-1})
A	9.22 a
B	7.59 a
C	5.25 b
D	2.61 c

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

De manera directa se observa que existe una correlación positiva entre la cantidad de nitratos adicionados a la solución nutritiva (Cuadro 2) y el contenido de nitratos en el tejido de la parte aérea del berro (Cuadro 16). Una mayor concentración de elementos en la solución nutritiva repercute en mayor concentración del elemento mayoritario; en este caso, nitrógeno en los tejidos de la planta, pues se esta adicionando una mayor concentración del ión NO_3^- .

Los nitratos acumulados en los tejidos de la parte aérea de las plantas cosechadas en diferentes épocas de corte mostraron que, en septiembre se estimó, significativamente, una mayor concentración de nitratos (9.07 mg kg^{-1}), Figura 5. El contenido de nitrato es asociado con un pobre crecimiento bajo condiciones de poca luz según Reinink (1992). Sin embargo, Anjana (2007) menciona que la acumulación de nitratos en los órganos de las plantas se ve afectados por todos los elementos ambientales.

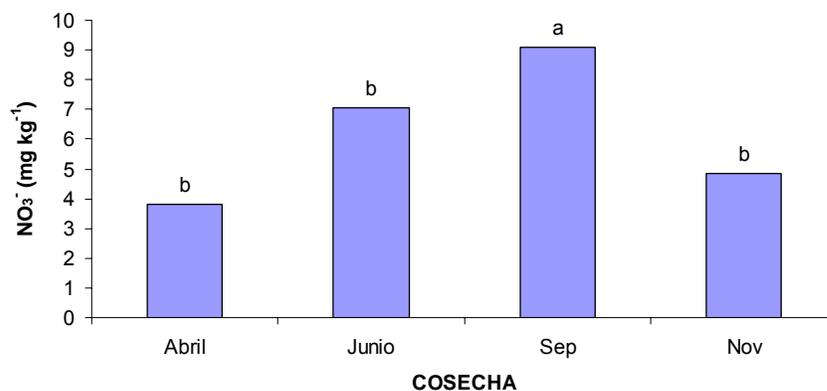


Figura 5. Contenido de nitratos en las plantas de berro cosechadas a diferentes épocas (Barra con la misma letra no son significativamente diferentes; Tukey, $\alpha=0.05$).

5.4 Acumulación de fosfatos en el tejido de las plantas de berro hidropónico

La concentración del ión fosfato en las plantas de berro mostró diferencias significativas debido a la concentración de nutrientes en las soluciones que se les agregó. No obstante, que entre las soluciones no se cuantificaron diferencias significativas (Cuadro 17).

Cuadro 17. Efecto de las soluciones nutritivas en el contenido de fosfato acumulado en plantas de berro.

SOLUCIÓN	PO ₄ ⁻ (mg kg ⁻¹)
A	4.08 a
B	3.68 a
C	3.23 a
D	1.94 b

*Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

En relación a las épocas de cosecha y la concentración de fósforo podemos decir que, las plantas de berro que se cosecharon en de abril a septiembre tenían acumulado, significativamente, mayor cantidad de fosfato (3.7%) que en noviembre (2.7%), Figura 6.

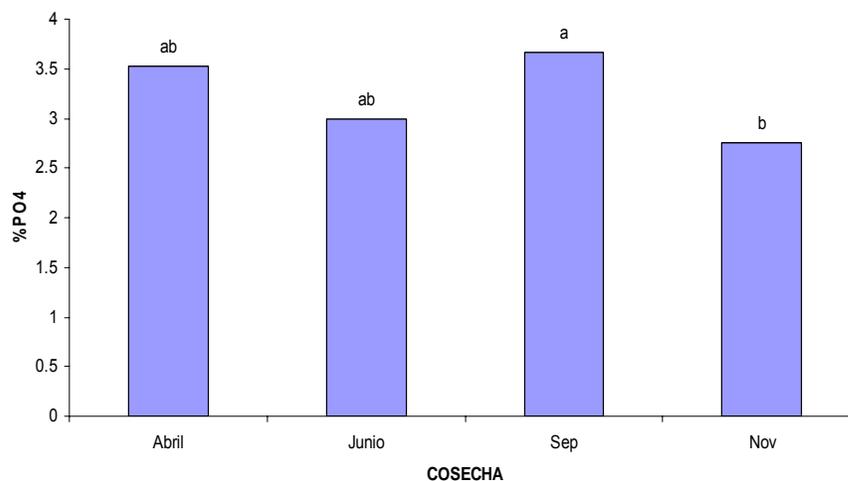


Figura 6. Contenido de fosfatos en las diferentes épocas de cosecha de las plantas de berro (Barra con la misma letra no son significativamente diferentes; Tukey, $\alpha=0.05$).

5.5 Contenido general de nutrientes en las plantas de berro

Para efectos comparativos con otros trabajos, se estimó en laboratorio el contenido de nutrimentos en las plantas de berro y fue comparado con los valores reportados de Hedges y Lister (2005) y Kawashima y Valente (2003), Cuadro 18. Los resultados mostraron que cantidad de macronutrientes (Na, K, Ca y Mg) en las plantas de berro hidropónico evaluadas en la comunidad de La Nevería fueron ligeramente superiores a los reportados por otros autores, incluso mayor que para las estimaciones realizadas en lechuga. Aunque, es pertinente señalar lo limitado de esto resultados y debido a que no fue un objetivo específico en este trabajo y porque también debió influir el agua utilizada.

Cuadro 18. Comparación del contenido de nutrientes entre las plantas de berro de La Nevería y lo reportado en la bibliografía.

Muestra	Nutriente (mg 100g ⁻¹)							
	Na	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
BERRO1*	180,3	542,6	78,3	28,6	0,16	1,82	0,53	0,76
BERRO2	17,0	180,0	53,0	-	-	2,20	-	0,30
BERRO	14,4	271,0	127,0	30,0	0,20	0,90	0,20	0,80
LECHUGA	5,0	318,0	47,0	18,0	0,40	0,50	0,40	0,33

*BERRO1, Berro hidropónico cultivado en La Nevería; BERRO2, Hedges y Lister (2005); y BERRO Y LECHUGAS, Kawashima y Valente (2003).

Las plantas de berro que crecieron bajo un sistema adición de nutriente por una corriente de agua (NFT), mostraron una alta concentración de manganeso y zinc; una concentración intermedia de hierro y un contenido bajo de cobre, en comparación a otros estudios.

Kawashima y Valente (2003), encontraron en su estudio, valores bajos tanto de la absorción de macronutrientes como de micronutrientes. Argumentan que los valores reportados en el estudio pueden estar influenciados por las condiciones del clima, suelo, prácticas agrícolas y el cultivar, que probablemente es la causa de la diferencia de los niveles de nutrientes; e indican la necesidad de hacer tablas de la composición mineral de los vegetales.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos plateados y resultados generados en el presente trabajo, las conclusiones son las siguientes:

Respecto a la evaluación de cuatro soluciones nutritivas, se concluye que:

- Las soluciones nutritivas influyeron significativamente en la mayor expresión de altura, diámetro de tallo, peso fresco y seco de las plantas de berro a través de las diferentes estaciones (cuatro cosechas de enero a noviembre). Sin embargo, la respuesta favorable fue inconsistente en el porcentaje de materia seca.
- Las soluciones de mayor contenido de elementos nutricionales (A y B) favorecieron la mayor expresión de la altura (25 cm en promedio) y diámetro (2.9 mm en promedio) del tallo de las plantas de berro. Especialmente en las cosechas de junio y septiembre se presentaron las mayores expresiones.
- En relación al peso fresco y peso seco de la planta la solución B favoreció la mayor expresión en las tres primeras cosechas (abril, junio y septiembre), en promedio 3.4 g de peso fresco y 0.18 g de peso seco, pero para noviembre la solución A incidió más.
- La concentración de nutrientes en las soluciones presentaron una relación directa con los nitratos y fosfatos acumulados en las plantas de berro crecidas bajo el sistema de flujo laminar de agua y nutrientes (NFT, del inglés nutrient film technique).

En relación al efecto de tres diferentes porcentajes de sombreo, se concluye que:

- En la primera cosecha, cuyo crecimiento fue de febrero a abril, el sombreo produjo un incremento en la altura de planta, diámetro del tallo, peso seco y fresco y el porcentaje de materia seca. De todos los porcentajes de sombra, el de 10% indujo respuesta más favorable.

- En las cosechas de junio, septiembre y noviembre, el berro mostró respuestas inconsistentes, en todas las variables, al efecto de sombra e incluso en noviembre la mejor respuesta se presentó en el testigo (0% de sombra).

La mayor concentración de nitratos y fosfatos acumulados en los tejidos de las plantas, se presentó cuando el contenido de nutrientes, en las soluciones nutritivas fue también mayor.

VII. RECOMENDACIONES

En los análisis de laboratorio del contenido de nutrientes de las plantas de berro cosechadas en la comunidad de La Nevería y su comparación con la estimación de otros estudios, se observó un mayor contenido de sodio y potasio. No obstante, los resultados son limitados y se recomienda un análisis de laboratorio más preciso.

Con los datos obtenidos, la solución intermedia de nutrientes (B) promueve el mayor crecimiento en berro y puede resultar económicamente más deseable, pero se recomienda un estudio más preciso y con mayor número de ensayos a través del tiempo para llegar a una formulación ampliamente recomendable; ya que, los resultados aquí presentados son de un ensayo en un solo año y los ambientes afectan la solución de nutrientes en las plantas.

Con el ensayo no se logró estimar con alta precisión el efecto directo de la sombra sobre el crecimiento del berro; por lo que, se recomienda un estudio más amplio en mayores número de sitios. Es importante mencionar que cuando las plantas sean trasplantadas a la canaleta de cultivo o cortadas, no se coloque malla sombra durante una semana para la adaptación de las plantas al sistema de cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, P. 2004. Aspectos de nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. *In*: Urrestarazu, G. M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi – Prensa. España. Pp: 81–11.
- Adams, P. 1994. Some effects of the environmental on the nutrition of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 366: 405–416.
- Alcántar G., G. y Sandoval V., M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial Núm. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 156 p.
- Anjana, S. U.; Muhammand, I. and Abrol, P. 2007. Are nitrate concentrations in leafy vegetables within safe limits. *Current Science.* 92 (3): 355-360.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Edicions Universitat de Barcelona, McGraw – Hill. España. 520 p.
- Bates, T. R and Lynch, J. P. 2000. Plant growth and phosphorus accumulation of wild type and two root hair mutants of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae). *American Journal of Botany.* 87(7): 958–963.
- Cabanillas, A. G. 1990. El berro, características y cultivo. Editora Junta de Extremadura, Conserjería de Agricultura, Industria y Comercio. 72 p.
- Cárdenas – Navarro, R.; Adamowicz, S. and Robin, P. 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *Journal of Experimental Botany* 50 (334): 613–624.
- Carrasco, G. 2004. El NFT. *In*: Urrestarazu, M. Manual de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi – prensa. Madrid, España. Pp: 541-554.
- Cruz, M. S. R.; Vicira, C. M and Silva, L. M. C. 2006. Effect of heat and thermosanication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). *Journal of Food Engineering,* 72: 8–15.
- De Chávez, M. M.; Hernández, M. y Roldan, J. A. 1992. Tablas de uso práctico del valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Comisión Nacional de Alimentación. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Subirán. México. 30 p.
- Domínguez, P. 1994. Contenido de nitratos en vegetales cultivados de la provincia de valencia. *Alimentaria.* 249: 49–51.
- Gordon H., R. y Brolen A., J. 1994. Horticultura. AGT Editor, S. A. México. Pp 147 – 216.
- Graves, C. I. 1983. The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5: 1–4.
- Hanafi, A.; Mishriky, J. F and Fand Khalil, M. K. 2000. Reducing Nitrate accumulation in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants by using different biofertilizer. Cairo University, Egypt. Pp: 509-517.
- Haward M., R. 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. 5ª edición. Ediciones mundi-prensa. España. 509 p.
- Heaney, R. P.; Weave, C. M.; Hinders, S. M.; Martin, B., and Packard, P. T. 1993. Absorbability. *World Review of Nutrition and Dietetics.* 46: 120-123.
- Hedges, L. J. and Lister, C. E. 2005. Nutritional attributes of salad vegetables. Crop and Food Research Confidential Report No. 1473. New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. XII Censo General de Población y Vivienda. INEGI, México, D.F.
- Jenner, G. 1980. Hydroponics reality or fantasy?. *Scientia Hort.* 31: 19–26.
- Jensen, M and Collins, W. L. 1985. Hydroponic vegetable production. *Hort Rev.* 485–559.
- Kaskey, J. B. and Tindall, D. R. 1979. Physiological aspects of growth and heteroblastic development of *nasturtium officinale* under natural condition. *Aquatic botany*, 7: 209–229.
- Kawashima, L. M. and Valente, S. L. 2003. Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis.* 16: 605–611.
- Knobeloch, L.; Salna, B; Hogan, A.; Postle, J. and Anderson, H. 2000. Blue babies and nitrate contaminated well water. *Environ. Health Persp.* 108: 675–678.
- Lara, H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *TERRA Latinoamericana* 17(3): 221–229.
- Lot, E. y Chiang, F. (comps.). 1986. Manual de Herbario. Consejo Nacional de la Flora de México. México. 42 pp.
- Martínez G., A. 1996. Diseños Experimentales: Métodos y Elementos de Teoría. Edit. Trillas, México D.F. 756 p.
- Martínez G., G.; Urrestarazu M., Salas S., J. 2004. Disolución nutritiva y recirculación en diferentes cultivos hortícola. Publicaciones de la Universidad de Almería. España.
- Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, Maff. 1999. Nitrate in vegetables. Food Surveillance Information Sheet 177, 11.
- Moroto J., V. 2000. Elementos de horticultura genera. 2ª edición. Ediciones Mundi – Prensa. España. Pp: 57–59.
- Moroto, B. J. V. 1992. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi – prensa. España. Pp: 257–258.
- Noucetta, K. 2005. ¿Qué hay en nuestra agua? <http://www.eurohydro.com/espagnol/castellano.pdf>
- Pal – Johan, S.; Atle, M. Bones and Rossiter, J. T. 1997. Metabolism of (α - 14 C)-Desulphophenethylglucosinolate in *Nasturtium officinale*. *Phytochemistry*, 44(7): 1251–1255.
- Palaniswamy, U. R.; McAvoy, R. J. 2001. Watercress: A salad crop with chemopreventive potential. *Horttechnology*, 11: 622–626.
- Palaniswamy, U. R.; McAvoy, R. J.; Bible, B. B and Stuart, J. D. 2003. Ontogenic variations of ascorbic acid and phenethyl isothiocyanate concentration in watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) leaves. *J. Agric. Food Chem.* 51: 5504–5509.
- Reinink, K. 1993. Relationship between effects of seasonal change on nitrate and dry matter content in lettuce. *Scientia Hort.* 53: 33–44.
- Resh, H. M. 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi – prensa. Madrid, España. 558 p.
- Salas M. del C. y Urrestarazu, M. 2004. Método de riego y fertirrigación en cultivo sin suelo. *In: tratado de cultivo sin suelo.* Ed. Mundi-prensa. Pp. 161–237.

- Santamaria, P.; Elia A., Serio, F.; Todaro, E. 1999. A survey of nitrate and oxalate content in reail fresh vegetables. *JSci. Food Agr.* 79: 1882 -1888.
- Scientific Committee on Food. 1995. Opinion on nitrate and nitrite, annex 4. Document III(5): 611-695.
- Steel, G. R. y Torrie, H. J. 1985. *Bioestadística: principios y procedimientos*. Segunda edición. Ed. McGraw – Hill. Colombia. 622 p.
- Steffen, A.; Ticconi, C. A and Delatorre, A. 2002. Phosphate sensing in higher plants. *Physiologica Plantarum* 115: 1–8.
- Steiner, A. A. 1968. Soilles culture. Proceeding of the colloquium of the Internacional Patash Institute. Pp: 324-341.
- Urrestarazu G., M. 2000. *Manual de cultivos sin suelo*. Ed. Mundi- prensa. España. 250 p.
- Van Os E. A. 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for dutch greenhouse. *Water Science and Technology* 39(5): 105-112.
- Walker, R. 1990. Nitrates and N nitroso compounds. A review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. *Food Addif. Contarn.* 7: 717–768.
- Warwick, F. V. and Malcom, T. D. 1980. Variation in nutrient removal from a stream by watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *Acuatic Botany* 9: 221–235.
- Weaver, C. M. and Plawecki, K. L. 1994. dietary calcium: adequacy of vegetarian diet. *American Journal of Clinical Nutrition* 59: 1238-1241
- Yescas, C. G. 2005. Tesis, informe analítico. UACH. Fitotecnia. 60 p.
- Ysart, G.; Miller, P; Barrelet, G.; Farrington, B.; Lawrance, P. and Harrison, N. 1999. Dietary exposures to nitrate in the UK. *Food Addit Contain.* 16: 521–532.
- Zhou, Z. Y.; Wang, M. J. and Wang, J. S. 2000. Nitrate and nitrite contamination in vegetables in China. *Food Rev. Int.* 16: 61 -76.

ANEXOS

Anexo 1. Establecimiento del ensayo del cultivo de berro hidropónico en la comunidad de La Nevería



1. Construcción de las canaletas para el ensayo



2. Adecuación de las bombas, manguera y bomba para la recirculación de la solución nutritiva



3. Sustrato arena

4. Sustrato suelo

5. Siembra de las plantas de berro

Anexo 2. Análisis de la varianza para los diferentes variables evaluadas en las plantas de berro para el corte de abril

ALTURA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	4056.086	270.406	64.87	<0.0001
Solución	3	3277.242	1092.41	262.09	<0.0001
Sombra	3	488.758	162.919	39.09	<0.0001
Error	80	333.448	4.168		
Total	95	4389.534			

$$r^2 = 0.92 \quad CV = 14.34 \quad \bar{X} = 13.23$$

PESO FRESCO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	38.206	2.547	5.698	0.0269
Solución	3	22.076	7.359	16.48	<0.0001
Sombra	3	7.092	2.364	5.29	0.0022
Error	80	35.729	0.447		
Total	95	73.935			

$$r^2 = 0.52 \quad CV = 33.45 \quad \bar{X} = 0.997$$

PESO SECO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	0.207	0.014	4.6	0.0040
Solución	3	0.079	0.026	9.30	<0.0001
Sombra	3	0.052	0.017	6.07	0.0001
Error	80	0.227	0.003		0.0040
Total	95	0.4345			

$$r^2 = 0.48 \quad CV = 4.55 \quad \bar{X} = 0.075$$

MATERIA SECA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	1210.636	80.709	69.43	<0.0001
Solución	3	256.391	85.464	25.05	<0.0001
Sombra	3	204.222	68.074	19.95	<0.0001
Error	80	272.942	3.41		
Total	95	1483.578			

$$r^2 = 0.82 \quad CV = 20.46 \quad \bar{X} = 8.026$$

DIÁMETRO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	5.357	0.595	3.02	0.0038
Solución	3	19.966	6.655	33.72	<0.0001
Sombra	3	1.695	0.565	2.86	0.0419
Error	80	15.792	0.197		
Total	95	42.810			

$$r^2 = 0.63 \quad CV = 17.30 \quad \bar{X} = 2.57$$

Anexo 3. Análisis de la varianza para los diferentes variables evaluadas en las plantas de berro para el corte de junio

ALTURA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	26159.984	17.43999	2.24	<0.0001
Solución	3	23095.919	7698.639	990.51	<0.0001
Sombra	3	1135.724	378.574	48.71	<0.0001
Error	80	621.795	7.772		
Total	95	26781.784			

$$r^2 = 0.97 \quad CV = 10.59 \quad \bar{X} = 25.33$$

PESO FRESCO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	1029.734	68.649	17.29	<0.0001
Solución	3	623.147	207.716	52.31	<0.0001
Sombra	3	108.571	36.190	9.11	<0.0001
Error	80	317.695	3.971		
Total	95	1347.431			

$$r^2 = 0.76 \quad CV = 39.65 \quad \bar{X} = 4.025$$

PESO SECO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	2.478	0.165	14.23	<0.0001
Solución	3	1.474	0.941	42.35	<0.0001
Sombra	3	0.218	0.073	6.25	0.0007
Error	80	0.929	0.012		
Total	95	3.406			

$$r^2 = 0.73 \quad CV = 9.31 \quad \bar{X} = 0.158$$

MATERIA SECA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	413.867	27.59	20.23	<0.0001
Solución	3	373.424	124.475	61.28	<0.0001
Sombra	3	6.624	2.208	1.62	0.1915
Error	80	109.097	1.364		
Total	95	522.964			

$$r^2 = 0.79 \quad CV = 31.70 \quad \bar{X} = 4.68$$

DIÁMETRO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	265.656	17.710	51.84	<0.0001
Solución	3	242.865	80.954	236.94	<0.0001
Sombra	3	6.344	2.115	6.19	0.0008
Error	80	27.33	0.342		
Total	95	292.990			

$$r^2 = 0.91 \quad CV = 15.89 \quad \bar{X} = 2.68$$

Anexo 4. Análisis de la varianza para los diferentes variables evaluadas en las plantas de berro para el corte de septiembre

ALTURA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	7499.767	499.984	67.37	<0.0001
Solución	3	6826.496	2275.499	306.60	<0.0001
Sombra	3	102.776	34.259	4.62	0.005
Error	80	593.747	7.422		
Total	95	8093.513			

$$r^2 = 0.93 \quad CV = 12.13 \quad \bar{X} = 21.44$$

PESO FRESCO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	185.225	12.348	25.72	<0.0001
Solución	3	160.616	53.539	111.50	<0.0001
Sombra	3	3.838	1.279	2.66	0.0534
Error	80	38.415	0.480		
Total	95	223.640			

$$r^2 = 0.83 \quad CV = 17.66 \quad \bar{X} = 2.92$$

PESO SECO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	0.461	0.031	21.77	<0.0001
Solución	3	0.411	0.137	96.95	<0.0001
Sombra	3	0.015	0.005	3.50	0.0191
Error	80	0.113	0.0014		
Total	95	0.574			

$$r^2 = 0.80 \quad CV = 3.29 \quad \bar{X} = 0.141$$

MATERIA SECA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	39.580	2.639	3.74	<0.0001
Solución	3	12.751	4.25	6.03	0.0009
Sombra	3	2.988	.996	1.41	0.245
Error	80	56.386	0.705		
Total	95	95.965			

$$r^2 = 0.41 \quad CV = 14.07 \quad \bar{X} = 4.96$$

DIÁMETRO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	66.060	4.404	14.02	<0.0001
Solución	3	49.549	16.516	52.59	<0.0001
Sombra	3	5.133	1.711	5.45	0.0018
Error	80	25.125	0.314		
Total	95	91.184			

$$r^2 = 0.72 \quad CV = 13.92 \quad \bar{X} = 3.026$$

Anexo 5. Análisis de la varianza para los diferentes variables evaluadas en las plantas de berro para el corte de noviembre

ALTURA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	8498.633	566.576	196.76	<0.0001
Solución	3	6175.592	2058.531	714.88	<0.0001
Sombra	3	1126.441	375.480	130.40	<0.0001
Error	80	230.363	2.880		
Total	95	8728.363			

$$r^2 = 0.93 \quad CV = 14.32 \quad \bar{X} = 10.84$$

PESO FRESCO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	164.740	10.983	20.62	<0.0001
Solución	3	93.341	31.114	58.41	<0.0001
Sombra	3	30.411	10.137	19.03	<0.0001
Error	80	42.617	0.533		
Total	95	207.357			

$$r^2 = 0.79 \quad CV = 32.48 \quad \bar{X} = 1.24$$

PESO SECO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	0.509	0.034	35.74	<0.0001
Solución	3	0.255	0.085	89.49	<0.0001
Sombra	3	0.091	0.030	31.75	<0.0001
Error	80	0.076	0.001		
Total	95	0.585			

$$r^2 = 0.87 \quad CV = 2.87 \quad \bar{X} = 0.072$$

MATERIA SECA

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	821.491	54.766	66.79	<0.0001
Solución	3	533.946	177.982	217.07	<0.0001
Sombra	3	73.967	24.356	30.07	<0.0001
Error	80	65.593	0.820		
Total	95	887.084			

$$r^2 = 0.93 \quad CV = 17.83 \quad \bar{X} = 4.079$$

DIÁMETRO

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Calculada	Pr >F
Tratamiento	15	139.917	9.328	50.03	<0.0001
Solución	3	101.479	33.826	181.42	<0.0001
Sombra	3	7.896	2.632	14.42	<0.0001
Error	80	14.917	0.186		
Total	95	154.833			

$$r^2 = 0.90 \quad CV = 16.19 \quad \bar{X} = 1.67$$

Anexo 6. Comparación de medias para el factor solución en los diferentes variables evaluadas en el corte de abril

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	20.8958	B
Error Mean Square	4.168	B	15.8292	A
Critical Value of Studentized Range	3.710	B	15.3542	C
Minimum Significant Difference	1.546	C	4.8333	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	2.4338	B
Error Mean Square	0.446	A	2.2333	C
Critical Value of Studentized Range	3.710	A	2.1358	A
Minimum Significant Difference	0.506	B	1.1883	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	1.10125	C
Error Mean Square	0.0028	A	1.09333	B
Critical Value of Studentized Range	3.7107	A	1.07958	A
Minimum Significant Difference	0.0404	B	1.02750	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for MATERIA SECA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	11.6350	D
Error Mean Square	3.412	B	9.1300	C
Critical Value of Studentized Range	3.711	CB	7.9742	A
Minimum Significant Difference	1.399	C	7.3650	B

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DÍAMETRO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	2.8958	B
Error Mean Square	0.197	A	2.8958	A
Critical Value of Studentized Range	3.711	A	2.6875	C
Minimum Significant Difference	0.336	B	1.7917	D

Means with the same letter are not significantly different.

Anexo 7. Comparación de medias para el factor solución en los diferentes parámetros evaluados en el corte de junio

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	43.1167	A
Error Mean Square	7.772	B	31.6667	C
Critical Value of Studentized Range	3.710	B	29.5625	B
Minimum Significant Difference	2.112	C	11.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	7.2988	A
Error Mean Square	3.971	A	7.1378	B
Critical Value of Studentized Range	3.711	B	4.6647	C
Minimum Significant Difference	1.509	C	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	1.3229	B
Error Mean Square	0.0116	B	1.2202	A
Critical Value of Studentized Range	3.7107	C	1.0845	C
Minimum Significant Difference	0.0816	D	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for MATERIA SECA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	6.4159	B
Error Mean Square	1.364	B	4.3260	A
Critical Value of Studentized Range	3.711	C	2.9910	C
Minimum Significant Difference	0.884	D	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIÁMETRO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	4.9167	B
Error Mean Square	0.342	A	4.8333	A
Critical Value of Studentized Range	3.711	B	3.9583	C
Minimum Significant Difference	0.442	C	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Anexo 8. Comparación de medias para el factor solución en los diferentes variables evaluadas en el corte de septiembre

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	28.4708	B
Error Mean Square	7.422	BA	27.4042	C
Critical Value of Studentized Range	3.711	B	25.9750	A
Minimum Significant Difference	2.064	C	7.9167	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	5.3750	B
Error Mean Square	0.480	B	4.5413	C
Critical Value of Studentized Range	3.711	C	3.8971	A
Minimum Significant Difference	0.524	D	1.8733	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	1.22458	B
Error Mean Square	0.0014	B	1.16458	C
Critical Value of Studentized Range	3.711	C	1.13458	A
Minimum Significant Difference	0.028	D	1.04333	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for MATERIA SECA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	6.4338	D
Error Mean Square	0.705	BA	6.2058	B
Critical Value of Studentized Range	3.711	B	5.6313	C
Minimum Significant Difference	0.635	B	5.5879	A

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIÁMETRO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	4.6875	B
Error Mean Square	0.314063	A	4.3333	C
Critical Value of Studentized Range	3.71071	A	4.2708	A
Minimum Significant Difference	0.4245	B	2.8125	D

Means with the same letter are not significantly different.

Anexo 9. Comparación de medias para el factor solución en los diferentes variables evaluadas en el corte de noviembre

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	22.5875	A
Error Mean Square	2.879542	B	15.3792	B
Critical Value of Studentized Range	3.71071	C	8.4083	C
Minimum Significant Difference	1.2853	D	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	3.6267	A
Error Mean Square	0.532716	B	2.6400	B
Critical Value of Studentized Range	3.71071	C	1.7214	C
Minimum Significant Difference	0.5528	D	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	1.137500	A
Error Mean Square	0.00095	B	1.099583	B
Critical Value of Studentized Range	3.71071	C	1.052083	C
Minimum Significant Difference	0.0234	D	1.000000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for MATERIA SECA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	6.5450	C
Error Mean Square	0.81991	A	6.5304	B
Critical Value of Studentized Range	3.71071	A	6.2425	A
Minimum Significant Difference	0.6859	B	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIÁMETRO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	Solución nutritiva
Error Degrees of Freedom	80	A	3.6250	A
Error Mean Square	0.1864	A	3.3958	B
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	2.6458	D
Minimum Significant Difference	0.3271	C	1.0000	D

Means with the same letter are not significantly different.

Anexo 10. Comparación de medias para el factor sombra en los diferentes variables evaluadas en el corte de abril

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	% de sombra
Error Degrees of Freedom	80	A	16.0917	10
Error Mean Square	4.1681	A	15.9917	50
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	14.3125	70
Minimum Significant Difference	1.5464	C	10.5167	0

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.44661	A	2.3954	10
Critical Value of Studentized Range	3.71071	BA	2.0763	50
Minimum Significant Difference	0.5062	B	1.8546	70
		B	1.6650	0

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.00284	A	1.11167	10
Critical Value of Studentized Range	3.71071	BA	1.07500	50
Minimum Significant Difference	0.0404	B	1.06750	70
		B	1.04750	0

Means with the same letter are not significantly different

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for MATERIA SECA

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	3.41178	A	10.1183	70
Critical Value of Studentized Range	3.71071	A	10.1121	10
Minimum Significant Difference	1.3991	A	9.3088	50
		B	6.5650	0

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DÍAMETRO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.19739	A	2.7500	50
Critical Value of Studentized Range	3.71071	BA	2.5833	10
Minimum Significant Difference	0.3365	BA	2.5625	70
		B	2.3750	0

Means with the same letter are not significantly different.

Anexo 11. Comparación de medias para el factor sombra en los diferentes variables evaluadas en el corte de junio

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	7.7724	A	30.8625	0
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	27.7458	10
Minimum Significant Difference	2.1117	C	25.2708	50
		D	21.4667	70

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	3.971198	A	6.6029	0
Critical Value of Studentized Range	3.71071	BA	5.3890	10
Minimum Significant Difference	1.5094	B	4.1514	70
		B	3.9580	50

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.0116	A	1.22408	0
Critical Value of Studentized Range	3.7107	BA	1.17754	10
Minimum Significant Difference	0.0816	B	1.12483	50
		B	1.10125	70

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIAMETRO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.3416	A	4.1042	0
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	3.6042	10
Minimum Significant Difference	0.4427	B	3.5833	50
		B	3.4167	70

Means with the same letter are not significantly different.

Anexo 12. Comparación de medias para el factor sombra en los diferentes variables evaluadas en el corte de septiembre

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	7.4218	A	24.1208	10
Critical Value of Studentized Range	3.7107	BA	22.3750	50
Minimum Significant Difference	2.0635	B	21.9167	70
		B	21.3542	0

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.4801	A	4.2308	10
Critical Value of Studentized Range	3.7107	BA	3.9567	0
Minimum Significant Difference	0.5249	BA	3.7938	50
		B	3.7054	70

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.0014	A	1.16125	10
Critical Value of Studentized Range	3.7107	BA	1.14292	70
Minimum Significant Difference	0.0285	BA	1.13500	50
		B	1.12792	0

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DÍAMETRO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.314063	A	4.2292	0
Critical Value of Studentized Range	3.71071	A	4.2292	10
Minimum Significant Difference	0.4245	BA	3.9792	50
		B	3.6667	70

Means with the same letter are not significantly different.

Anexo 13. Comparación de medias para el factor sombra en los diferentes variables evaluadas en el corte de noviembre

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURA

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	2.8795	A	16.2083	0
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	14.0083	10
Minimum Significant Difference	1.2853	C	9.5500	50
		D	7.6083	70

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO FRESCO

Alpha	0.05	Tukey	Mean	% de
Error Degrees of Freedom	80	Grouping		sombra
Error Mean Square	0.5327	A	3.0916	0
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	2.3270	10
Minimum Significant Difference	0.5528	C	2.0295	50
		C	1.5399	70

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESO SECO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	% de sombra
Error Degrees of Freedom	80	A	1.121667	0
Error Mean Square	0.00095	B	1.072917	10
Critical Value of Studentized Range	3.71071	CB	1.053750	50
Minimum Significant Difference	0.0234	C	1.040833	70

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for MATERIA SECA

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	% de sombra
Error Degrees of Freedom	80	A	5.9846	70
Error Mean Square	0.8199	BA	5.4525	10
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	5.2488	0
Minimum Significant Difference	0.6859	C	3.6321	50

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIÁMETRO

Alpha	0.05	Tukey Grouping	Mean	% de sombra
Error Degrees of Freedom	80	A	3.1250	0
Error Mean Square	0.1864	B	2.6042	10
Critical Value of Studentized Range	3.7107	B	2.6042	70
Minimum Significant Difference	0.3271	B	2.3333	50

Means with the same letter are not significantly different.