

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Vicerrectoría de Investigación y Extensión
Escuela de Agronegocios
Documento 1 (Informe Técnico)



Modelo de manejo de un sistema de producción de hortalizas de hoja bajo la modalidad de hidroponía NFT, tipo comercial

Actividad de Fortalecimiento, 2013
(presentación Junio 2014)
(5402-1801-0478)

Investigadoras:
Laura Brenes Peralta MGGA
Ing. María Fernanda Jiménez Morales, MEng
Estudiantes asistentes:
Federico Gómez Coto
Álvaro Sáenz Guevara

Contenido

Índice de Figuras	2
Índice de Tablas.....	2
Título	3
Autores y direcciones	3
Resumen	3
Palabras clave.....	3
Introducción:.....	4
Materiales y Metodología:	5
Resultados.....	7
Propuesta de creación de documento técnico, tipo manual	10
Discusión:	16
Conclusiones:	19
Recomendaciones:	19
Agradecimiento:.....	19
Bibliografía	20
Anexos.....	21
Anexo 1. Identificación de patógenos, análisis INTA	21
Anexo 2. ejemplo de portada de Manual sugerido	22
Apéndices.....	23
Apéndice 1	23
Datos de condiciones ambientales en cada siembra.....	23
Apéndice 2	32

Índice de Figuras

figura 1. Diagrama de sistema NFT (no a escala).....	5
figura 2. Canastillas para NFT adquiridas de proveedor local.	6
figura 3. Canastillas para NFT hechas de vasos desechables con ranuras.....	6
Figura 4. Informe resumen Minitab sobre resultados ANOVA de comparación entre los tratamientos y el masa de las lechugas cosechadas.....	36
Figura 5. Informe resumen Minitab sobre resultados ANOVA de comparación entre los tratamientos y el diámetro de las lechugas cosechadas.....	36
figura 6. Retiro de Canastilla.....	15
figura 7. Corte de la raíz.....	15
figura 8. Pesado de la lechuga.....	16
figura 9. Medición del diámetro.....	16
figura 10. Desarrollo de raíces en vasos ranurados (a) y en canastillas para NFT (b).....	17

Índice de Tablas

Tabla 1. Soluciones nutritivas empleadas en los ensayos.....	6
--	---

Título

Modelo de manejo de un sistema de producción de hortalizas de hoja bajo la modalidad de hidroponía NFT, tipo comercial

Autores y direcciones

Nombre del investigador/a	Grado académico	Cédula	Escuela	Correo electrónico
Ing. Laura Brenes Peralta, MGGA (coordinadora)	Bachillerato en Ingeniería Agropecuaria Administrativa con énfasis en Empresas Agropecuarias, Maestría en Gerencia y Gestión Ambiental	1-1102-0364	Agronegocios	labrenes@itcr.ac.cr
Ing. María Fernanda Jiménez Morales, M.Eng	Bachillerato en Ingeniería Agropecuaria Administrativa con énfasis en Empresas Agropecuarias, Maestría en Ingeniería	3-0391-0663	Agronegocios	maria.jimenez@itcr.ac.cr

Resumen

El término hidroponía se concibe como el estudio de los cultivos sin tierra. En la actualidad es explotada comercialmente, y consiste en agregar al medio de cultivo (agua o sustrato sólido) una solución nutriente que contiene los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento. Se conocen distintas técnicas, como la de Cultivo con Flujo Laminar de Nutrientes o NFT por sus siglas en inglés. En el Centro de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios del TEC se cuenta actualmente con un sistema de tipo NFT donde se estableció la Actividad de Fortalecimiento que ha resultado en la observación de ciertas características a partir de la experiencia generada y de la cual se espera fomentar el uso de la hidroponía; así como divulgar información técnica y de Buenas Prácticas en este tipo de cultivo entre usuarios interesados.

Palabras clave: HIDROPONÍA, NFT, LECHUGA, PROTOCOLO DE MANEJO DE CULTIVO

Introducción:

El término hidroponía se genera de dos palabras griegas, *hydro* (agua) y *ponos* (labor o trabajo), la unión de estas palabras significa trabajar en el agua. La hidroponía puede definirse entonces como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte, al cual se le agrega una solución nutriente que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal (Barbado, 2005). Actualmente se tienen modelos de producción hidropónica (sin tierra) tanto en agua estrictamente, como en otros sustratos inertes como grava, granza de arroz, carbón, piedrilla, entre otros. La técnica hidropónica de Cultivo con Flujo Laminar de Nutrientes, conocida como NFT (*Nutrient Film Technique*), tiene sus orígenes en Inglaterra. Durante la década de los años 60 se desarrolló este sistema para aumentar la productividad del sector de producción hidropónica. El método sufrió modificaciones en la Universidad de la Molina en Perú, donde se propuso utilizar tubos de PVC con perforaciones donde se colocan las plantas de lechuga, en unidades de producción de 10 tubos, separados de 20 a 25 cm. Adicionalmente se utiliza una bomba de acero inoxidable para succión de la solución nutritiva contenida en un tanque de almacenamiento. Esta es inyectada a presión para que entre por un extremo de los tubos y se recolecte al final de estos, para retornar al tanque de almacenamiento. Dicho ciclo permite la reutilización de los nutrientes, para un mayor aprovechamiento del recurso favoreciendo la absorción en los sistemas radiculares (González, 2008).

La Escuela de Agronegocios del TEC, valorando tendencias productivas actuales y de mercado, consideró insertar en sus actividades de fortalecimiento la propuesta llamada *Modelo de manejo de un sistema de producción de hortalizas de hoja bajo la modalidad de hidroponía NFT*. Como objetivo general se planteó el “Definir un modelo de manejo de un sistema de producción de hortalizas de hoja bajo la modalidad de hidroponía NFT, en el Centro de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria, con miras a generar experiencias e información técnica en este Centro”. La experiencia generada ha podido ser observada por estudiantes, funcionarios, investigadores, comunidad en general, quienes podrían eventualmente estar interesados en incursionar en actividades productivas que generen un producto libre de algunas plagas y enfermedades, y con un eficiente uso del espacio, los fertilizantes, y el tiempo. Adicionalmente, se ha percibido que en el mercado costarricense, existen consumidores que están dispuestos a pagar un precio más alto por productos de origen hidropónico, según fue posible corroborar en la oferta de ciertas cadenas de supermercados (Brenes, 2010). La Actividad propuesta inició labores formalmente en febrero 2013 en el invernadero del Centro de Prácticas Docentes e Investigación Agropecuaria de la Escuela de Agronegocios, tras varios ensayos previos a la actividad en 2012.

Materiales y Metodología:

La Actividad se desarrolló en el sistema de hidroponía NFT ubicado en el invernadero del Campo de Prácticas de la Escuela de Agronegocios del TEC. El mismo se localiza a 1360 m.s.n.m., latitud 09°51'08"N y Longitud 83°54'31"O en la Provincia de Cartago. Tiene cubierta de plástico y paredes antiáfidos, con una cámara de ingreso donde se ubica un pediluvio y un aspersor con desinfectante, ambos con una solución de Vanodine® FAM. Además tiene implementada una cobertura interna de sarán para manejo de la temperatura interna del invernadero, y un medidor de CO₂, temperatura y humedad relativa.

Del sistema instalado en el invernadero, se utilizaron dos camas de cinco tubos cada una. Los tubos son de PVC blanco, de 4" de diámetro y 6m largo, con 113 aperturas por cama, para la inserción de las canastillas en las que se colocan las plantas. Además el sistema cuenta con un reservorio plástico con aislante térmico de 1000 l, mecanismo de recirculación y un sistema de bombeo automatizado que consiste de una bomba de 3hp y un "timer" o temporizador que se programa para el arranque y apagado de la misma. La integración del sistema se puede observar en la figura 1.

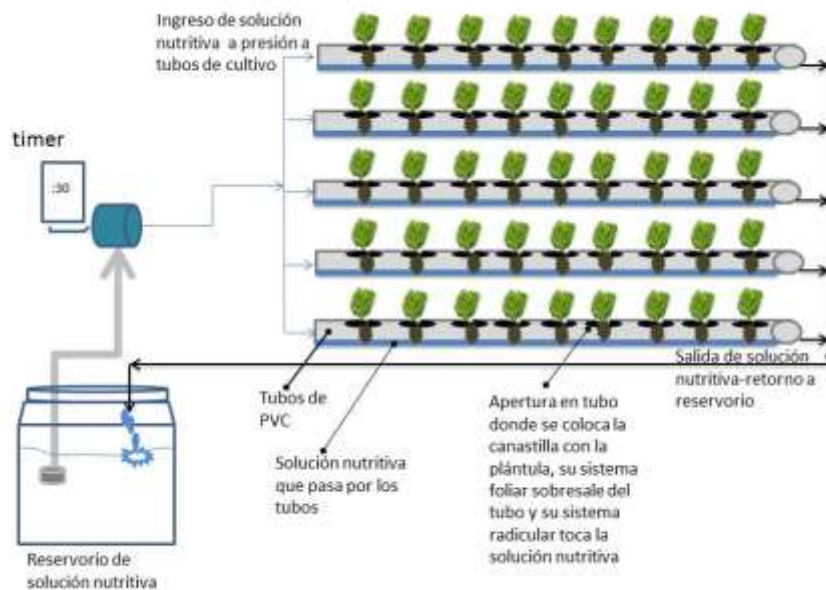


figura 1. Diagrama de sistema NFT (no a escala).

Las canastillas usadas en este tipo de sistema hidropónico usualmente son adquiridas de proveedores locales, como las que se observan en la figura 2; sin embargo, también se valoró la reutilización de otros materiales como son los vasos plásticos desechables, a los que se les realizaron ranuras, como se puede ver en la figura 3.



figura 2. Canastillas para NFT adquiridas de proveedor local.
 Fuente: (Gómez Coto & Sáenz Guevara, 2013)



figura 3. Canastillas para NFT hechas de vasos desechables con ranuras.

Una vez activado el sistema, se utilizaron soluciones nutritivas tipo A y B, descritas brevemente en la siguiente tabla para un total de 10 l de agua de solución A y 2 l de agua de solución B:

Tabla 1. Soluciones nutritivas empleadas en los ensayos

Solución madre A	Solución Madre B
Fosfato Monoamónico (12-60-0) 340 g / 10 l de agua	Sulfato de Magnesio 220 g /2 l de agua
Nitrato de Calcio 2080 g / 10 l de agua	Metalosato de Hierro 12 ml /2 l de agua
Nitrato de Potasio 1100 g / 10 l de agua	Nutrientes menores (Fetrilon Combi 1®) 12 g/2 l de agua
	Ácido Bórico 1.2 g/2 l de agua

Fuente: (Gómez Coto & Sáenz Guevara, 2013) citando a Ing. Luis Fernando Campos Meléndez con datos del INA y la Molina (2011)

Durante el 2012 se realizaron algunas pruebas piloto para familiarizarse con el funcionamiento del sistema, así como algunos ajustes básicos sobre tiempos de circulación, nivelación de camas, y concentración de soluciones. Durante el 2013 se realizaron 5 ensayos con lechuga americana variedad “Sargasso” (*Lactuca sativa var. capitata*), donde se valoró el uso de distintos tipos de almácigo, tipos de canastillas, tiempos de recirculación, formulaciones de soluciones nutritivas y tratamientos de control de enfermedades.

Se definió cosechar a las 7 semanas después del trasplante.

El estudio estadístico planteado en la metodología de la propuesta tuvo muchas limitaciones propias del diseño del invernadero y el sistema instalado en 2009, por lo que no se pudo desarrollar a cabalidad como planteado. Esto dado que las cosechas se vieron afectadas por una serie de factores difíciles de controlar que no se contemplaron en un inicio de proyecto (problemas de temperatura, patógenos, fuga de sistemas, requiriendo así que se realizara una serie de ajustes con el fin de poder cumplir con el objetivo general del proyecto.

El estudio estadístico que se utiliza para respaldar este proyecto, se realiza con los datos que se exponen en el apéndice 2 y responden a los obtenidos de las cosechas de las siembras 1 y 4), con el fin de poder respaldar alguna significancia en los distintos tratamientos de los que se obtuvo cosecha.

Resultados

El proceso productivo

Inicialmente se determinó establecer varios ensayos de producción hortalizas de hoja, particularmente lechuga (*Lactuca sativa var capitata*), en un sistema NFT evaluando distintas soluciones nutritivas, tipos de almácigo y diferentes tiempo de circulación, para compararlos entre ellos de acuerdo a ciertas características como tamaño y masa de las plantas, tiempo a cosecha, apariencia general de las plantas y costos de operación. Debido a dificultades técnicas propias del sistema, como la aparición de un hongo que afectó raíces, fue necesario desechar en varias oportunidades las lechugas, debiendo establecer cinco siembras en esta Actividad de Fortalecimiento pero logrando obtener cosecha en solo dos de ellas. Por aspectos como los anteriores, en definitiva no se evaluaron ni el aspecto de costos, ni distintos tipos de soluciones nutritivas, sino que se partió de la observación del manejo del cultivo según la aplicación de Buenas Prácticas, el uso de almácigo con dos tipos de sustrato (convencional y Peat Moss ®) y se aplicaron tiempos de circulación distintos cuando se trató de trasplante (45 minutos encendido y 15 apagado), homogenización de solución (45 minutos encendido y 15 apagado) y desarrollo de plantas (30 minutos encendido y 30 minutos apagado), siempre con la misma proporción y fórmula

nutritiva, según los parámetros técnicos recomendados por la literatura de una concentración que oscilara entre los 0,8 y 1,8 mS/cm³ a lo largo del cultivo.

Según la observación del proceso de cada una de las siembras fue posible determinar la incorporación de protocolos de siembra, control y cosecha, que aseguraran la obtención de cosecha. Estos se proponen para que constituyan el documento tipo técnico que pueda compartir la experiencia con docentes, estudiantes y otros usuarios de la información y del CPDIA. La aplicación o no de elementos de cada protocolo resultó en diferencias en los ensayos documentados a la fecha, que mostraron estos comportamientos:

Tabla 2. Descripción de las observaciones en cada ensayo ejecutado en 2013

Ensayo	Observaciones
1	<p>Se lavó con agua y jabón el reservorio y los tubos. Se adquirió el almácigo en edad para trasplante. El mismo se desinfectó sumergiendo las raíces en una solución de peróxido de hidrógeno al 1% por 2 segundos y se trasplantaron a las canastillas con piedra volcánica desinfectada con peróxido de hidrógeno al 1% por 5 minutos. Se usaron canastillas tradicionales para NFT (ver figura 2) en la cama 1 para sostener las lechugas en las aperturas de los tubos, y vasos plásticos (tipo vajilla desechable-ver figura 3) con ranuras en la cama 2, en ambos casos dichos recipientes fueron desinfectados con peróxido de hidrógeno al 1% por 5 minutos. Se activó el protocolo de Buenas Prácticas para el ingreso y salida del invernadero. Se dejaron las plantas con el sistema de recirculación activado, con agua únicamente, por 24 horas, con un tiempo de circulación de 45 minutos y 15 minutos en reposo. Igualmente se colocó la cobertura de sarán. Luego se adicionaron las soluciones madre: por cada litro de agua total en el sistema se adicionó 2,5 ml de solución nutritiva “A” y 1 ml de solución nutritiva “B”. Se reguló el tiempo de encendido y apagado de la bomba a 30 minutos en circulación y 30 minutos en reposo. Las plantas presentaron decaimiento general y raíces oscurecidas a los 15 días después de trasplante por lo que se aplicó <i>Trichoderma sp</i> + <i>Streptomyces sp</i> a la solución nutritiva y se empezaron a eliminar plantas enfermas. A los 35 días se retiró la cobertura del sarán. Se obtuvo un rendimiento en cosecha del 36% en la cama 1 y del 0,75% en la cama 2.</p>
2	<p>Se lavó con agua y jabón el reservorio y los tubos. Se adquirió el almácigo en edad para trasplante. El mismo se desinfectó sumergiendo las raíces en una solución de peróxido de hidrógeno al 1% por 2 segundos y se trasplantaron a las canastillas con piedra volcánica desinfectada*, sin seguir estrictamente el protocolo planteado inicialmente. Se usaron canastillas tradicionales y desinfectadas* para NFT para ambas camas. También se colocó la cobertura de sarán. Se activó el protocolo de Buenas Prácticas para el ingreso y salida del invernadero. Se dejaron las plantas con el sistema de recirculación activado, con agua únicamente, por 24 horas, con un tiempo de circulación de 45 minutos y 15 minutos en reposo. Luego se adicionaron las soluciones madre: por cada litro de agua total en el sistema se adicionó 2,5 ml de solución nutritiva “A” y 1 ml de solución nutritiva “B”. Se reguló el tiempo de encendido y apagado de la bomba a 30 minutos en circulación y 30 minutos en reposo. A los 13 días se observan algunas raíces oscurecidas por lo que se aplicó <i>Trichoderma sp</i> + <i>Streptomyces sp</i> a la solución nutritiva y se empezaron a eliminar plantas enfermas. A los 23 días se retiró la cubierta del sarán y el problema radicular empeoró, además las hojas mostraron marchitez y clorosis generalizada. A los 30 días se determinó que el estado de las plantas era irreversible y se eliminaron, dando un rendimiento de 0% de cosecha.</p>

...continuación Tabla 2.

3 Se lavó con agua y jabón el reservorio y los tubos. Se desinfectaron con cloro y peróxido el reservorio y los tubos. Se adquirió el almácigo en edad para trasplante. Se desinfectó sumergiendo las raíces en una solución de peróxido de hidrógeno al 1% por 2 segundos y se trasplantaron a las canastillas tradicionales y desinfectadas* para NFT con piedra volcánica desinfectada*, sin seguir estrictamente el protocolo planteado inicialmente. Se activó el protocolo de Buenas Prácticas para el ingreso y salida del invernadero sin verificar que este se cumpliera el 100% del tiempo. También se colocó la cobertura de sarán. Se dejaron las plantas con el sistema de recirculación activado, con agua únicamente, por 24 horas, con un tiempo de circulación de 45 minutos y 15 minutos en reposo. Se adicionaron las soluciones madre: por cada litro de agua total en el sistema se adicionó 2,5 ml de solución nutritiva “A” y 1 ml de solución nutritiva “B”. Se reguló el tiempo de encendido y apagado de la bomba a 30 minutos en circulación y 30 minutos en reposo. Al día 8 se observó daño foliar por hongo y por cortador, por lo que se aplicó *Trichoderma* sp foliar a las plantas, y cuatro días después *Chilagro* y *Beauveria* sp y *Metarhizium* sp. A los 15 días después de trasplante se adicionó *Trichoderma* sp, *Streptomyces* sp y *Pseudonoma fluorescens* a la solución nutritiva. Se registró un aumento en la escala de pH de la solución y se intentó regularlo con una fuente natural: jugo de limón, sin embargo la dosis aplicada generó un cambio de pH drástico, reportado en 3 y con efecto negativo sobre las plantas. Las raíces siguieron un proceso de necrosis y las plantas mostraron marchitez permanente, por lo que se eliminaron al día 28. Se obtuvo un 0% de rendimiento a la cosecha.

4 Se lavó con agua y jabón el reservorio y los tubos. Se desinfectaron con cloro al 5% y peróxido de hidrógeno al 3%, el reservorio y los tubos. Se adquirió el almácigo en edad para trasplante. El mismo se desinfectó sumergiendo las raíces en una solución de peróxido de hidrógeno al 0,5% por 1 minuto y se trasplantaron a las canastillas tradicionales y desinfectadas* para NFT con piedra volcánica desinfectada*, modificando así el protocolo de trasplante anterior y monitoreándolo estrictamente. Se activó el protocolo de Buenas Prácticas para el ingreso y salida del invernadero verificando su cumplimiento el 100% del tiempo. También se colocó la cobertura de sarán. Se dejaron las plantas con el sistema de recirculación activado, con agua únicamente, por 24 horas, con un tiempo de circulación de 45 minutos y 15 minutos en reposo. Luego se adicionaron las soluciones madre: por cada litro de agua total en el sistema se adicionó 2,5 ml de solución nutritiva “A” y 1 ml de solución nutritiva “B”. Se reguló el tiempo de encendido y apagado de la bomba a 30 minutos en circulación y 30 minutos en reposo. Se detectó al día 8 oscurecimiento de raíces por lo que se extrajo una muestra de una plántula y se llevó a analizar al laboratorio de fitopatología del INTA, lo que resultó en la indicación del hongo *Fusarium* sp. Se inició la adición semanal de cloro al 0,5% a la solución nutritiva, y la eliminación de plantas enfermas. El hongo pareció disminuir la severidad de su ataque aunque siempre se observaron raíces oscurecidas a lo largo del ciclo productivo. Se retiró la cobertura de sarán a partir de la quinta semana, entre las 3pm y las 11 am. Se colocaba de nuevo de 11am a 3pm. Se cosechó la lechuga a la séptima semana después de trasplante, con un 58,41% de rendimiento.

5 Se lavó con agua y jabón el reservorio y los tubos. Se desinfectó con peróxido al 3% y cloro al 5% el reservorio y los tubos. Se adquirió el almácigo en edad para trasplante, esta vez con un sustrato tipo “peat moss”. El mismo se desinfectó sumergiendo las raíces en una solución de peróxido de hidrógeno al 0,5% por 1 minuto y se trasplantaron a las canastillas tradicionales y desinfectadas*. Se activó el protocolo de Buenas Prácticas para el ingreso y salida del invernadero. También se colocó la cobertura de sarán. Se dejaron las plantas con el sistema de recirculación activado, con agua únicamente, por 24 horas, con un tiempo de circulación de 45 minutos y 15 minutos en reposo. Luego se adicionaron las soluciones madre: por cada litro de agua total en el sistema se adicionó 2,5 ml de solución nutritiva “A” y 1 ml de solución nutritiva “B”. Se reguló el tiempo de encendido y apagado de la bomba a 30 minutos en circulación y 30 minutos en reposo. Se detectó al día 8 oscurecimiento de raíces, considerado nuevamente un síntoma de *Fusarium* sp por lo que se inició la adición semanal de cloro al 0,5% a la solución nutritiva, y la aplicación de un fungicida tiabendazol según recomendación de laboratorio de fitoprotección del INTA. El mismo es sistémico de amplio espectro, en dosis recomendadas para drench en suelo (no hay registro de uso en hidroponía NFT por parte del proveedor). Se observó poco o nulo desarrollo radicular en las plantas, y un decaimiento y deshidratación general de las hojas. Se aplicó una solución de fósforo para estimular crecimiento de raíz. No se observa mejoría ni crecimiento foliar o radicular. Se elimina la plantación a la quinta semana.

*Nota * las canastillas y piedrilla volcánica se consideran desinfectadas pues en todos los casos fueron sumergidas en peróxido de hidrógeno al 1% por 5 minutos.*

Respecto a las condiciones ambientales, se puede observar el detalle de variables como temperatura ambiental, humedad relativa y CO₂ en los casos en que fue posible recolectar esa información.

En general, la temperatura del invernadero a lo largo del año, según la época de la que se tratara y la hora del día, osciló entre 14°C y 33°C. La humedad relativa fue variable, entre 47,8% a 95%. Finalmente, las mediciones de CO₂ oscilaron entre 400ppm y 480ppm.

Propuesta de creación de documento técnico, tipo manual

El protocolo de manejo de cultivo hidropónico tipo NFT, para hortalizas de hoja como la lechuga, se propone sea usado como base de un documento técnico tipo manual, que pueda ser consultado por docentes, investigadores, estudiantes, emprendedores y usuarios en general del CPDIA.

Inicialmente el texto está siendo distribuido entre algunos usuarios para probarlo. Una vez incorporadas las realimentaciones recibidas se confeccionará el manual con un diseño y vocabulario simple y se remitirá al proyecto de “*Publicaciones Técnicas Agropecuarias*” de FITTACORI para someterlo a aprobación. Si la propuesta es avalada, este proyecto correría con los gastos de diseño e impresión.

El texto propuesto incorporaría elementos como los siguientes, y se conformaría en un documento como el que se observa el anexo 3, y se adjunta a este informe.

1. Confección del sistema.

Un sistema hidropónico NFT consta de varios componentes como los que se observan en la figura 1. Las dimensiones deberán estar dadas de acuerdo a parámetros que sean manejables por la unidad operativa, como son

- Costo
- Ubicación
- Posibilidades de venta del producto obtenido
- Materiales disponibles en la zona.

Es vital de controlar las fugas, de manera que se evite la pérdida de solución recirculante, a excepción de la que se disminuiría por absorción y evapotranspiración de las plantas y

evaporación del sistema. Para esto, los tubos de circulación deberán ser de materiales impermeables y además inertes que no interactúen con las sales de la solución nutritiva. Por ejemplo pueden usarse tubos de PVC de distinto calibre o canoas plásticas. Deben tener una apertura al final que permita el retorno de la solución al tanque de almacenamiento, pero que facilite establecer un nivel de agua apropiado para que las raíces estén en contacto constante con la solución. A los tubos se les debe hacer huecos de 4cm de diámetro aproximadamente, o según el tamaño de las canastillas que se obtengan. Estas pueden ser adquiridas con algunos proveedores en el país que las importan o confeccionan específicamente para hidroponía. Las boquillas de inyección de la solución se pueden adquirir con proveedores de sistemas de riego convencionales y deberán estar bien fijadas al tubo para evitar que la presión de inyección de la solución las zafe y genere pérdidas de la misma. La colocación de un “*timer*” o programador es ideal para poder automatizar el sistema y no tener que encender la bomba para la recirculación de manera manual todo el tiempo. Estos se adquieren en distintas ferreterías o ventas de productos electrónicos.

La bomba debe escogerse de acuerdo al caudal que se necesita bombear lo cual estará incidido por el diámetro y largo de los tubos, así como la cantidad de estos. Finalmente, es ideal confeccionar un armazón en un material duradero, que se pueda nivelar de manera que la solución pueda retornar al reservorio y donde los tubos puedan descansar. El tanque de reserva debe estar idealmente en un lugar más fresco que el resto del sistema, resguardado del sol y con suficiente capacidad para soportar una pérdida de solución nutritiva inesperada, entre un monitoreo y otro por parte del productor. Este debe ser también impermeable, de un material inerte y debe tener tapa. Debe estar instalado de manera tal que sea fácil removerlo, limpiarlo y desinfectarlo entre una siembra y otra. Finalmente, un sistema NFT es preferible que se encuentre en un ambiente protegido, o al menos con una cobertura plástica que evite que en caso de lluvias ingrese agua del medio al sistema de recirculación, pues variará las concentraciones de los nutrientes en solución.

2. Siembra

2.1 Limpieza del sistema de hidroponía

Este proceso inicia 5-7 días antes de la siembra del producto dependiendo de la disponibilidad de mano de obra, e incluye:

- Lavado exhaustivo con jabón y cepillo o esponja que atraviesan de un extremo a otro cada uno de los tubos. Esta acción se repite dos veces, con el fin de eliminar cualquier tipo de contaminación del sistema. Posteriormente se debe lavar el interior de los tubos, y del tanque a presión, con una hidrolavadora
- Llenado del tanque con agua limpia a un 25% o 50% de capacidad, y circulación de la misma en el sistema durante dos días con peróxido de hidrógeno al 3% (partiendo del volumen de agua empleado). Se incluye el ajuste del “*timer*” con el fin de

hacerlo circular 30 minutos y reposar 30 minutos. Esta parte concluye con la eliminación de esta solución de tubos y tanque.

- Llenado del tanque con agua limpia a un 25% o 50% de capacidad, y circulación de la misma en el sistema durante dos días con cloro al 5%, ajuste del “timer” con el fin de hacerlo circular 30 minutos y reposar 30 minutos durante 3 días para desinfectar internamente las tuberías.
- Liberación de los fluidos de desinfección del sistema y nuevo lavado con agua. Llenado de tanque a capacidad de siembra para permanecer listo para el trasplante.

2.2 Preparación de sales nutritivas con las siguientes formulaciones

Mientras se está en el proceso de desinfección de tubos se procede a la preparación de soluciones madre según la proporción de agua del sistema en el que se vaya a aplicar. En dos recipientes limpios, oscuros preferiblemente, y debidamente desinfectados se vierten las soluciones madres A y B (cada una en uno de los recipientes), en orden respectivo según se citan los ingredientes posteriormente hasta que estén totalmente disueltas en la proporción de agua indicada.

En este caso por el sistema con el que se trabajó en estos ensayos, la composición de las soluciones fue la siguiente:

2.2.1 Solución A

- Fosfato Monoamónico (12-60-0): 170 gramos
- Nitrato de Calcio: 1040 gramos
- Nitrato de Potasio: 550 gramos

Los pasos incluyeron:

- Medición de 3 litros de agua y vertido en un recipiente plástico que luego se pueda tapar, preferiblemente opaco u oscuro.
- Adición, una por una, en el orden escrito anteriormente de cada una de las sales nutricionales antes mencionadas.
- Adición de agua hasta completar un volumen de 6 litros y agitación durante 10 minutos hasta disolver por completo las sales.

2.2.2 Solución B

- Sulfato de Magnesio: 110 gramos
- Metalosato de Hierro: 6 cc (equivalente a 4 gr de Quelato de Hierro)
- Fetrilon Combi 1: 6 gramos
- Ácido Bórico (Borosil): 0,6 gramos

Los pasos incluyeron:

- Medición de 0,5 litros de agua y vertido en un recipiente plástico que luego se pueda tapar, preferiblemente opaco.
- Adición, una por una, en el orden escrito anteriormente de cada una de las sales nutricionales antes mencionadas
- Adición de agua hasta completar un volumen de 1 litro y agitación durante 10 minutos hasta disolver por completo las sales

Las soluciones preparadas se envasan y guardan en un lugar fresco y seguro donde no tenga contacto directo con la luz del Sol.

2.3 Compra de almácigo

El almácigo se compra en un establecimiento que cumpla las normas básicas de producción para evitar problemas en el sistema, lo que ha resultado a la fecha en la adquisición de almácigos de las variedades:

- Lechugas Americana variedad Sargasso, con sustrato compuesto por *Peat moss* ® .
- Lechugas Americana variedad Sargasso, con sustrato compuesto de carbón de granza de arroz, granza de arroz.

Los almácigos se transportan cuidadosamente para evitar daños en las plántulas y en horas frescas para evitar deshidratación y estrés por calor en las mismas.

2.4 Trasplante

Respecto a las operaciones del trasplante se siguieron las siguientes,

- Inmersión de raíces de las plantas en una solución de peróxido de hidrógeno al 0,5% por 1 minuto.
- Inmersión de la piedra volcánica que servirá como sustrato para la planta, y de las canastillas por 5 minutos para su desinfección en una solución de peróxido de hidrógeno al 1%
- Desinfección de las canastillas de siembra con cloro o peróxido al 1% por 5 minutos.
- Colocación de cada planta junto con unidades de piedra volcánica en las canastas destinadas para la siembra. Tal y como se muestra en la figura 2.
- Activación del sistema NFT con un tiempo de circulación de agua de 15 min encendido y 45 min apagado por 24 horas.
- Al cumplir las 24 horas de circulación con agua se da la incorporación de las soluciones nutritivas en la proporción correspondiente al volumen total del agua

circulante en el sistema: 2.5 cc de la solución A/ litro agua y 1 cc de la solución B/ litro agua.

- Ajuste de tiempos de recirculación de 30 minutos encendido contra 30 minutos apagado.

3. Seguimiento y control del cultivo

3.1 Entrada al invernadero

Según las Buenas Prácticas Agrícolas, para el ingreso al invernadero de las personas autorizadas se procede a abrir la puerta 1, entrar y cerrar la puerta 1, se desinfectan las manos y los zapatos con la solución descrita anteriormente. Luego se procede a abrir la puerta 2, entrar y cerrar la puerta 2 del invernadero.

3.2 Labores de control y monitoreo

Los primeros días de cada semana (lunes por ejemplo) se da la adición de cloro al 0,05% al sistema de circulación para tener limpieza preventiva durante todo el proceso de productivo.

Diariamente (de lunes a viernes en estos ensayos) se procede a un monitoreo del sistema en el que se revisa la estabilidad del ambiente interno del invernadero midiendo: humedad relativa (%), temperatura (°C), y concentración CO₂ (ppm).

Igualmente se procede a la medición de temperatura (°C), conductividad (mS/cm³) y acidez (pH) de la solución nutritiva recirculante en el sistema, y se procede a la corrección de estos factores en caso de ser necesario. Algunos ejemplos de corrección pueden ser:

- temperatura: esta no debe sobrepasar preferiblemente los 20°C en el sistema recirculante ni los 30°C en el ambiente protegido. Agregar coberturas de sarán, colocar aislantes térmicos al reservorio de agua, mejorar la aireación de la infraestructura con ventilas o monitores
- conductividad: idealmente debe oscilar entre los 0,8 mS/cm³ y 1,5 mS/cm³ en las primeras dos semanas de vida de las plantas, y no sobrepasar los 1,8 mS/cm³ al final del ciclo según la experiencia en el CPDIA. Si esta es menor de lo recomendado se sugiere agregar más solución nutritiva de manera gradual y permitir homogenización de la solución para volver a monitorear. Si la conductividad está por encima del rango recomendado, se deberá agregar agua para disolver.
- Acidez: este deberá tender a la neutralidad (pH de 7). En caso de ser menor se recomienda la revisión de la solución nutritiva y valorar la adición de un regulador de pH o buffer, básico en este caso. Si es mayor de 7 se recomienda acidificar, un ejemplo simple puede ser mediante la adición de unas pocas gotas de jugo de limón. Luego se debe esperar a que recircule la solución y se homogenice para realizar otro monitoreo

La observación del sistema en general y del estado físico de las plantas se realiza a diario también, y en el caso que se encuentre alguna lesión aparente, se procede a retirar la planta del sistema preferiblemente para prevenir contaminación de todo el sistema.

Estas labores se realizan durante todo el proceso productivo, hasta el día de la cosecha.

4. Cosecha

La cosecha de la lechuga se realiza a los 49 días o siete semanas después de que esta fue trasplantada. Las actividades incluyen:

- Retiro de plantas del sistema y colocación en cajones plásticos limpios. Evitar tener más de dos capas de lechugas para evitar daños en las hojas
- Traslado a un espacio cómodo, resguardado del sol y limpio para realizar las siguientes labores: retiro de la canastilla y piedra volcánica donde se encuentra sostenida la lechuga. Las canastillas y la piedra se pueden limpiar y reutilizar en otra siembra



figura 4. Retiro de Canastilla.

- Continuar con el corte de la raíz, pesado de la lechuga, medición del diámetro de la planta (esto último si se quiere tener un control específico o si el cliente pide alguna de esas características puntuales). La raíz puede cortarse o no según lo solicite el cliente al que esta va destinada.



figura 5. Corte de la raíz.



figura 6. Pesado de la lechuga



figura 7. Medición del diámetro.

La importancia de estas labores radica, en que todos los datos arrojados, son los que indican el rendimiento de producción del sistema y permite conocer la eficiencia del mismo, además de saber que se están cumpliendo las características que el mercado pide.

Discusión:

Respecto a los resultados de producción, se observó un bajo rendimiento productivo, incidido mayormente por la necesidad de eliminar plantas infectadas con patógenos, e incluso en algunos casos la muerte o eliminación de la totalidad de las plantas, como fue el caso de las siembras 2, 3 y 5. Ahora bien, de las cosechas obtenidas, los datos de masa y diámetro indican que no hay diferencias significativas entre los ensayos, por lo que no se puede concluir que el almácigo, la variedad, la sombra, o los tiempos de circulación incidieran, sino que principalmente se podrían atribuir algunas variaciones de rendimiento al control de las condiciones sanitarias pre-trasplante y el manejo de plagas y enfermedades que fueron la causa de mayor efecto sobre las pérdidas de producto de las cosechas.

Es evidente que el uso de vasos plásticos ranurados (práctica que se hizo a mano) no resultó positivo en los ensayos de este sistema NFT, pues solo se reportó un 0,75% de rendimiento de todas las lechugas plantadas en la cama 2 de la siembra 1 con este tipo de recipiente, a

pesar que fueron desinfectados de la misma manera que las canastillas. Lo anterior posiblemente, según se observó, se pudo deber a que las raíces no podían salir por las pocas ranuras del vaso, afectando su desarrollo y capacidad de absorción. Esto se puede observar en la siguiente figura.



figura 8. Desarrollo de raíces en vasos ranurados (a) y en canastillas para NFT (b)

Fuente: (Gómez Coto & Sáenz Guevara, 2013)

Paralelamente, es necesario y recomendado seguir un cercano monitoreo de las condiciones de la solución nutritiva, en lo que respecta a concentración y pH, pues estas pueden variar según el desarrollo de la planta, la tasa de evapotranspiración y la adición de otros productos al sistema recirculante. Lo anterior hace necesario tener que ajustar mediante la adición de más solución madre A o B, o caso contrario, mediante la adición de más agua al sistema para diluir, pues la existencia de concentraciones distintas a las recomendadas podrá generar desbalances, toxicidades o deficiencias en las plantas y su duración a cosecha.

El mayor problema de patógenos fue el hongo *Fusarium* sp, lo cual se observó en los síntomas de la raíz y las plantas. Esto se confirmó además con la solicitud de un análisis microbiológico (anexo 1) el cual indicó la presencia de este hongo en la raíz de una de las muestras sometidas a análisis. Se valora también el hecho de que una vez infectado el sistema, los controladores biológicos no necesariamente respondieron bien en la dosificación puesta, ya que el análisis de laboratorio mostró presencia del patógeno y del controlador (hongo *Trichoderma* sp), aunque los síntomas fueron preponderantes. La adición de cloro fue uno de los métodos de control que mejores resultados tuvo, como en la siembra 4. La aplicación de un fungicida a la solución no tuvo resultados positivos pues no se desarrolló la raíz, lo cual sucedió en la siembra 5. No fue posible confirmar si esto se debió al patógeno o a la dosificación del fungicida, pero en todo caso lo cierto es que la dosis fue experimental pues no se encontraron productos en expendios de insumos agrícolas

de la provincia de Cartago que tuvieran una recomendación técnica comprobada de dosificaciones para uso en NFT.

En el caso del problema patológico, se infiere que este pudo haber sido insertado mediante el almácigo (se comprobó con el proveedor que existió evidencia de afectación por el mismo patógeno), además de haber visto su crecimiento favorecido por ciertas condiciones ambientales, como la temperatura ambiental y del agua del sistema de circulación, así como posiblemente la oxigenación del medio recirculante.

Igualmente, las altas temperaturas ambientales combinadas con baja humedad relativa, pudo generar deshidratación y desórdenes fisiológicos en las plantas que resultó en la pérdida de las mismas.

En los casos de los protocolos de seguimiento y control, particularmente el tema de ingreso a invernadero es clave en la incidencia de enfermedades y sobretodo plagas que logran ingresar al invernadero y causar daños en las plantas. De haber fallos en este aspecto y resultar en el ingreso de una plaga al medio, debe recurrirse al tratamiento de dicha plaga, generando posiblemente mayores costos de producción y atenciones adicionales al tema de retiro de productos antes de la cosecha de las hortalizas en caso que se trate de agroquímicos.

Conclusiones:

Los protocolos de desinfección, de seguimiento y control, y cosecha son críticos y determinantes en el rendimiento de producción, pues podrán relacionarse a la inserción de patógenos o cambios en condiciones fisicoquímicas del sistema que afectan el desarrollo de las plantas.

El origen del almácigo pudo insertar el patógeno *Fusarium* sp, el cual se encuentra alojado actualmente en el sistema, lo que demuestra que el protocolo de desinfección de almácigo y sistema pudo ser violentado y por tanto haber permitido el ingreso del mismo.

Recomendaciones:

Resulta ser crítico para este sistema el manejo de la temperatura y la sanidad del sistema, sobretodo, la presencia de patógenos como hongos en la solución recirculante, por lo que se recomienda para proyectos posteriores, valorar estas dos variables como elemento de estudio.

Los resultados estadísticos, hacen ver que cuando se obtuvo cosecha, las variaciones en la solución nutritiva o aplicaciones de cloro o biocontroladores de enfermedades en la solución recirculante, así como el tipo de canastilla o almácigo no tuvo mayor incidencia en indicadores como la masa o el diámetro promedio de las lechugas. Sin embargo, las Buenas Prácticas aplicadas (desinfecciones, ingreso a invernadero, control de Plagas y enfermedades, y temperatura), sí incidieron en que se lograra o no la cosecha.

Agradecimiento:

Se contó con la valiosa colaboración durante esta Actividad de Fortalecimiento, la recopilación y tratamiento de datos de los estudiantes asistentes Federico Gómez Coto y Álvaro Sáenz Guevara de la Carrera de Ingeniería de Agronegocios.

También se contó con el aporte del asistente administrativo Bernardo Quesada Sandoval y del profesor Ing. Luis Fernando Campos Meléndez, M.Sc.

Agradecemos a ellos por sus aportes.

Bibliografía

- Barbado, J. (2005). *Hidroponía*. Recuperado el Abril de 2012, de Buenos Aires, República Argentina: Albatros Saci.:
<http://books.google.co.cr/books?id=aa4A0GakMRsC&printsec=frontcover&dq=hidroponia&hl=es&ei=abJwT7axBoyTtwew1uicBg&sa=>
- Brenes, L. (2010). Análisis Multicriterio de sistemas de producción de lechuga. Costa Rica: Curso Tópicos Avanzados de Gerencia y Gestión Ambiental. Maestría en Gerencia y Gestión Ambiental. Centro Interamericano de Posgrados.
- Gómez Coto, F., & Sáenz Guevara, Á. (2013). *Informe de labores de asistencia en proyecto TEC-VIE Sistema de producción de hortalizas hidropónicas tipo NFT*. Cartago, Costa Rica.
- González, R. (2008). *Hidroponía en NFT*. Recuperado el 26 de Marzo de 2012, de Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos:
[http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP2\(10\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP2(10).pdf)

Anexos

Anexo 1. Identificación de patógenos, análisis INTA

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA / INTA

Laboratorio Servicios Fitoprotección / Depto Servicios Técnicos

Tel: 2231-5055 Tef/fax: 2231-5004

Nº de Muestra: 9323-11105
Tipo de Servicio: FITOPATOLOGIA
Cultivo: Lechuga
Fecha: 2709/2013

Señor: Laura Brenes Peralta (ITCR)
Material enviado: Plántula
Propietario del cultivo: Laura Brenes Peralta

LOCALIZACIÓN DE LA PROPIEDAD:

Provincia: Cartago Cantón: Central Distrito: Oriental

RESULTADO DEL EXAMEN:

En plántula de lechuga: la prueba para detección del hongo *Pythium* sp. resultó negativa, pero positiva para el hongo *Fusarium* sp.

El análisis para la detección de patógenos en el agua indicó la presencia del hongo *Trichoderma* sp. No se detectó la presencia de bacterias fitopatógenas (*Erwinia* sp., *Xanthomonas* sp., *Ralstonia solanacearum* y *Pseudomonas* sp.) Debido a la abundancia del hongo *Trichoderma* sp. no fue posible detectar otros hongos, incluyendo el hongo *Fusarium* sp.

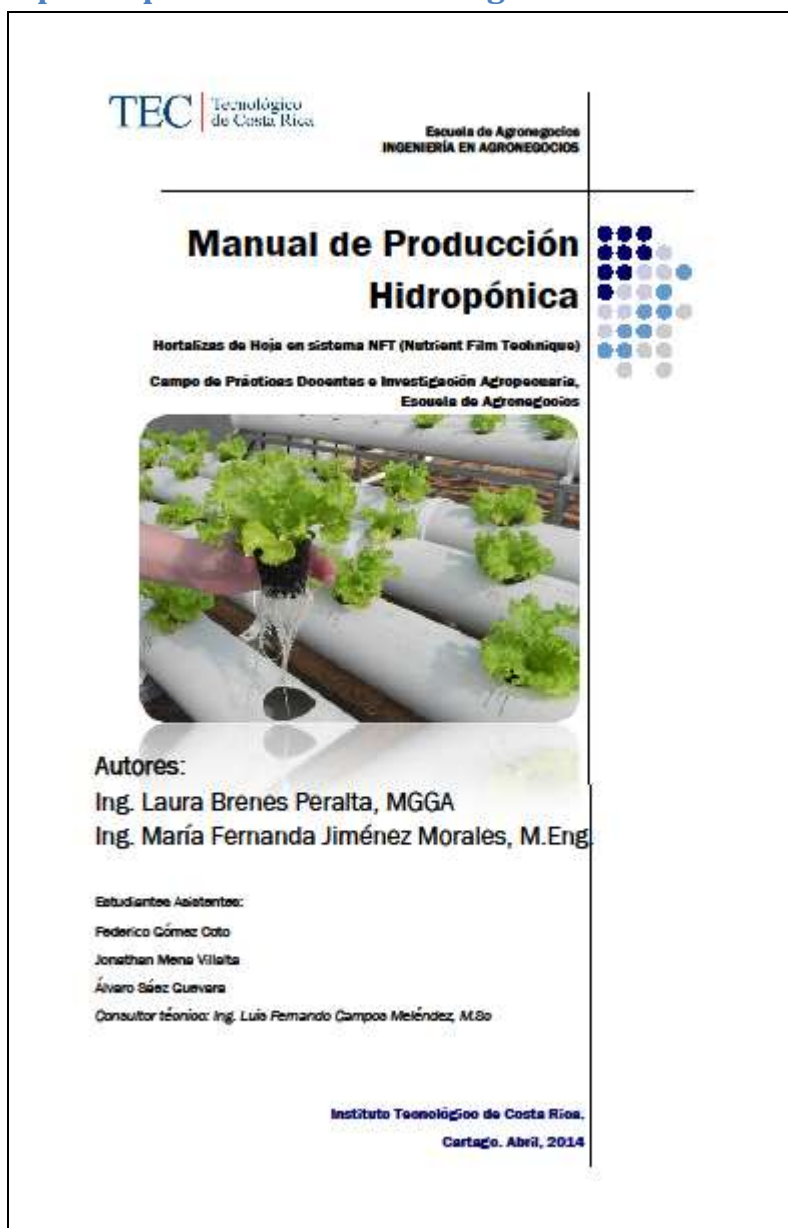
SUGERENCIAS PARA PREVENIR Y/O COMBATIR LA ENFERMEDAD:

Es probable que la marchitez en las plantas de lechuga sea inducida por el hongo *Fusarium* sp. De ser posible efectuar atomizo con el fungicida *benomil* a la dosis de 1 gramo / litro (una sola aplicación). Evitar daños mecánicos o heridas al sistema radical de las plántulas de lechuga. También es factible el tratamiento en inmersión de las plántulas por 1 minuto con algún fungicida *tiabendazole*.

LABORATORIO DE FITOPROTECCIÓN

NOTA: El Dpto. no se hace responsable por el uso inadecuado de la sugerencia antes descrita
¡Tenga presente el uso adecuado de los agroquímicos en la protección del ambiente y la salud!

Anexo 2. ejemplo de portada de Manual sugerido



Apéndices

Apéndice 1

Datos de condiciones ambientales en cada siembra

Siembra 1. Comportamiento de la Temperatura, %RH y concentración de CO₂ durante el período de cosecha (5 de febrero a 22 de marzo, 2013)

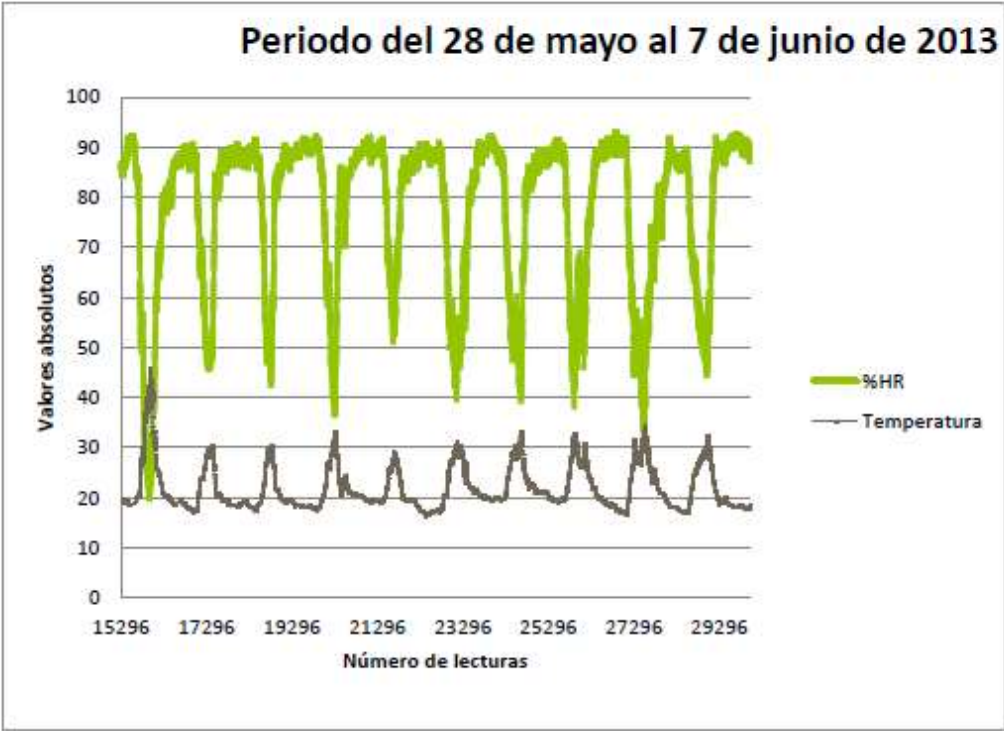
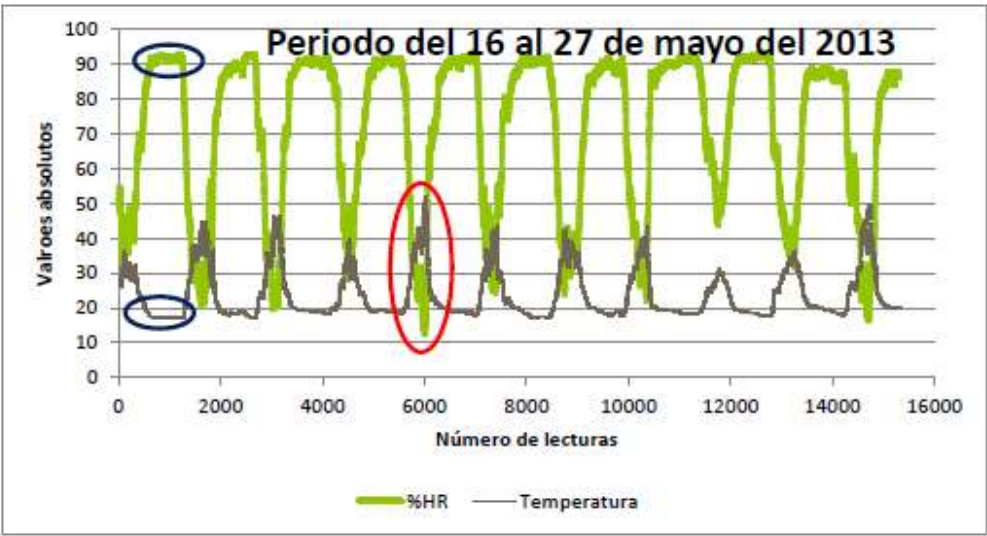
Estadísticas

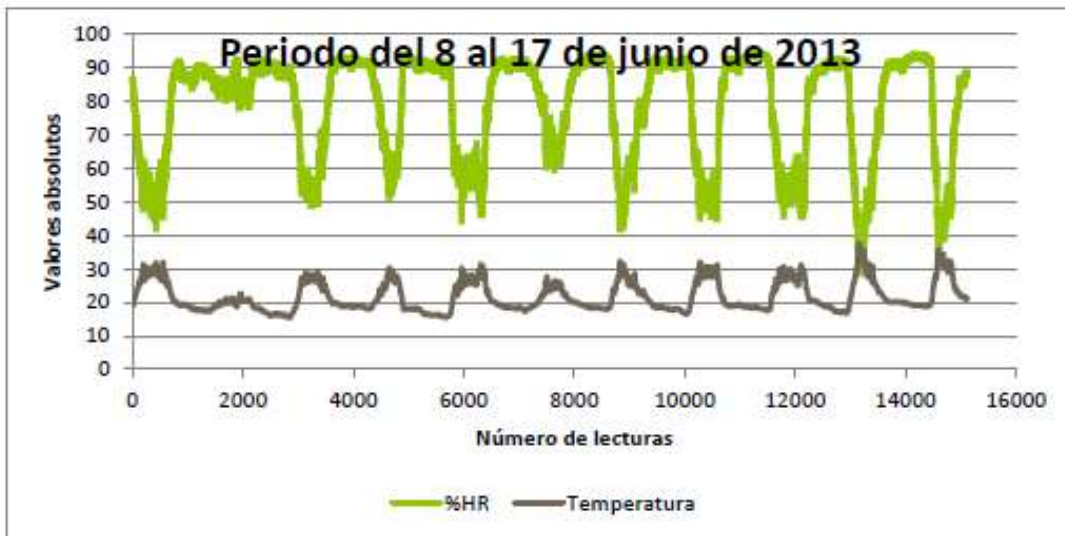
- Temperatura promedio de invernadero:
 - Después de medio día: 28.7°C
 - En la mañana: 24.2 °C

- Humedad relativa promedio en invernadero:
 - Después de medio día: 47.8%
 - En la mañana: 59.5%

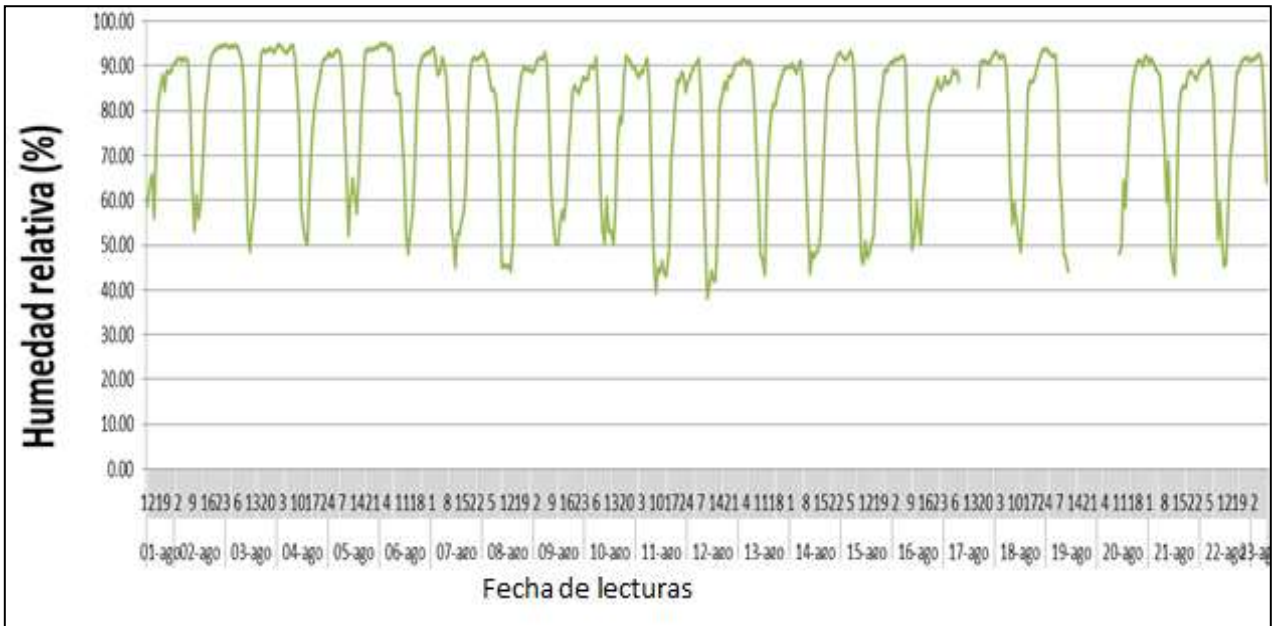
- Conductividad eléctrica:
 - Primera aplicación
 - Tubos: 1.5 mS/cm³
 - Retorno: 1.5 mS/cm³
 - Segunda aplicación:
 - Tubos: 1.8 mS/cm³
 - Retorno: 1.8 mS/cm³

Siembra 2. Comportamiento de la Temperatura, %RH y concentración de CO₂ durante el período de cosecha (16 de mayo al 17 de junio,2013)

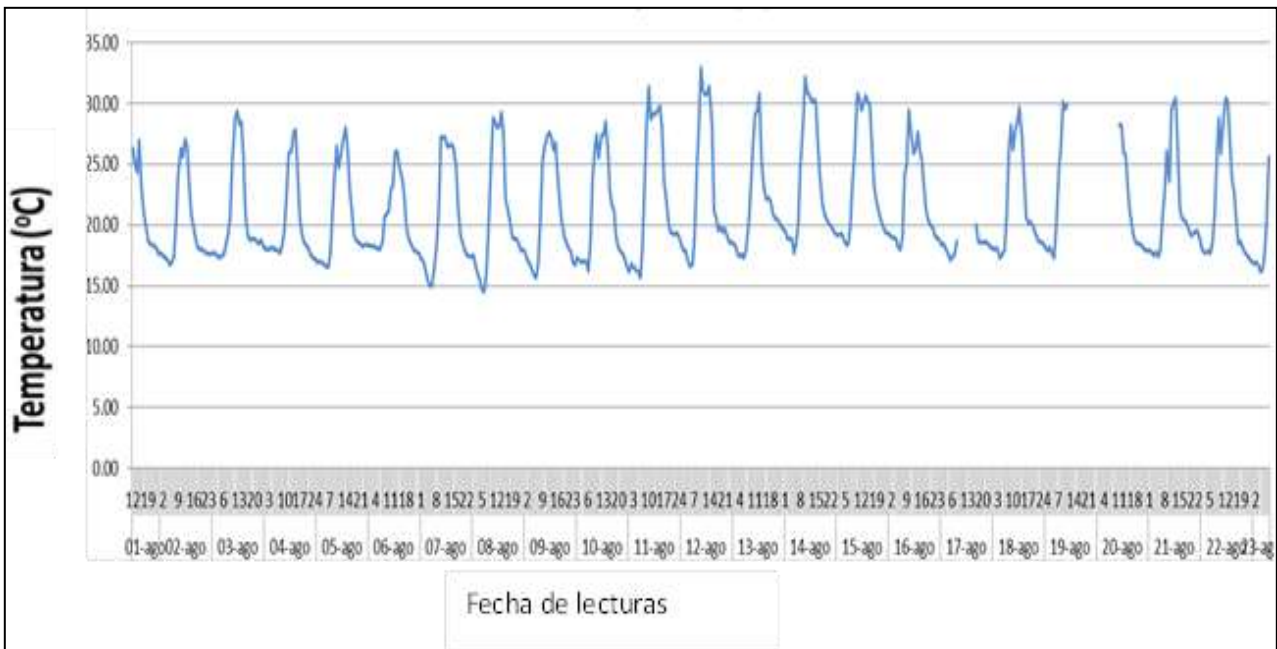




Siembra 3. Comportamiento de la Temperatura, %RH y concentración de CO₂ durante el período de cosecha (1 al 23 de agosto, 2013)



Porcentaje de humedad relativa en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 3



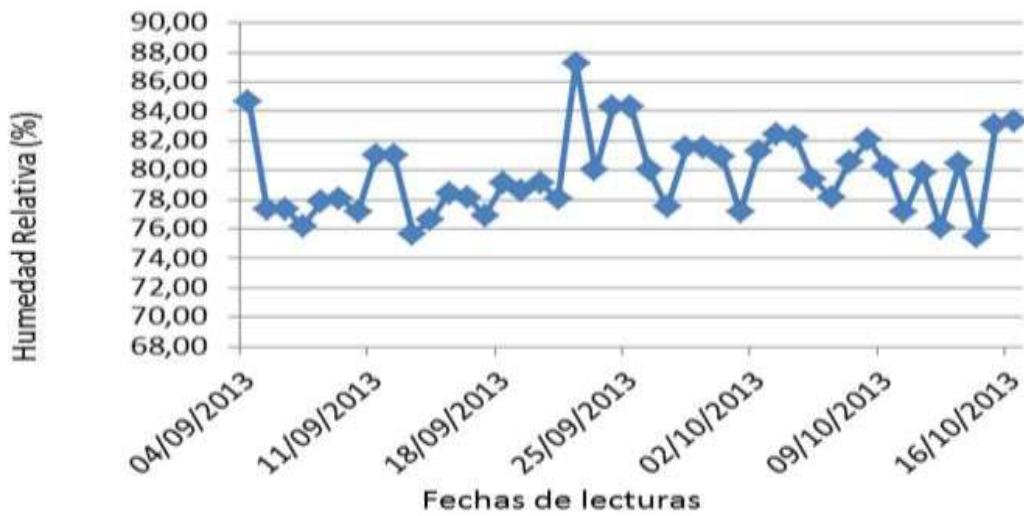
Temperatura en el el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 3



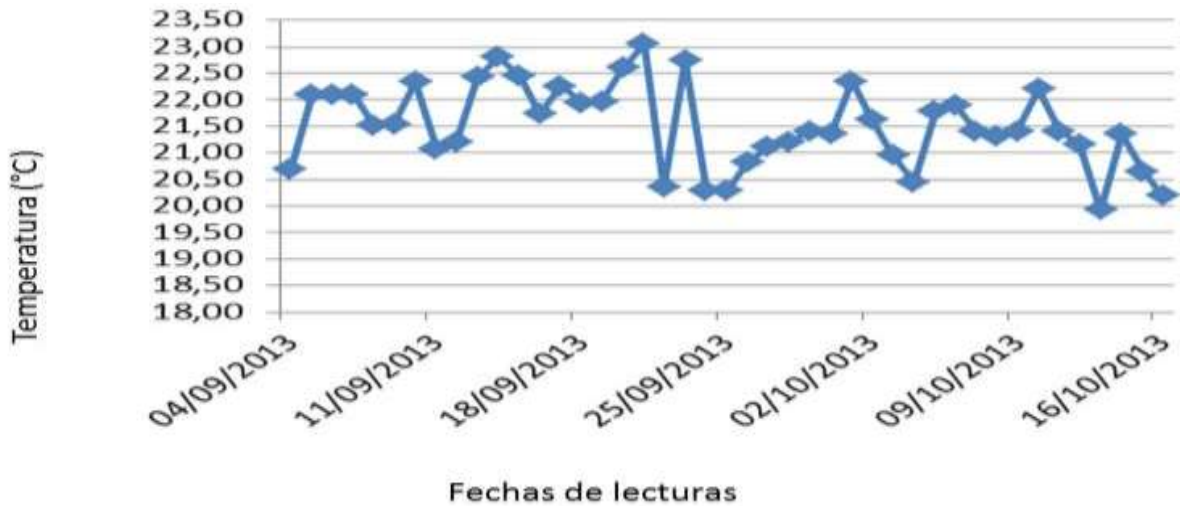
Concentración de dióxido de carbono en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 3

Nota: hubo cortes de fluido eléctrico por eso el aparato no registró datos

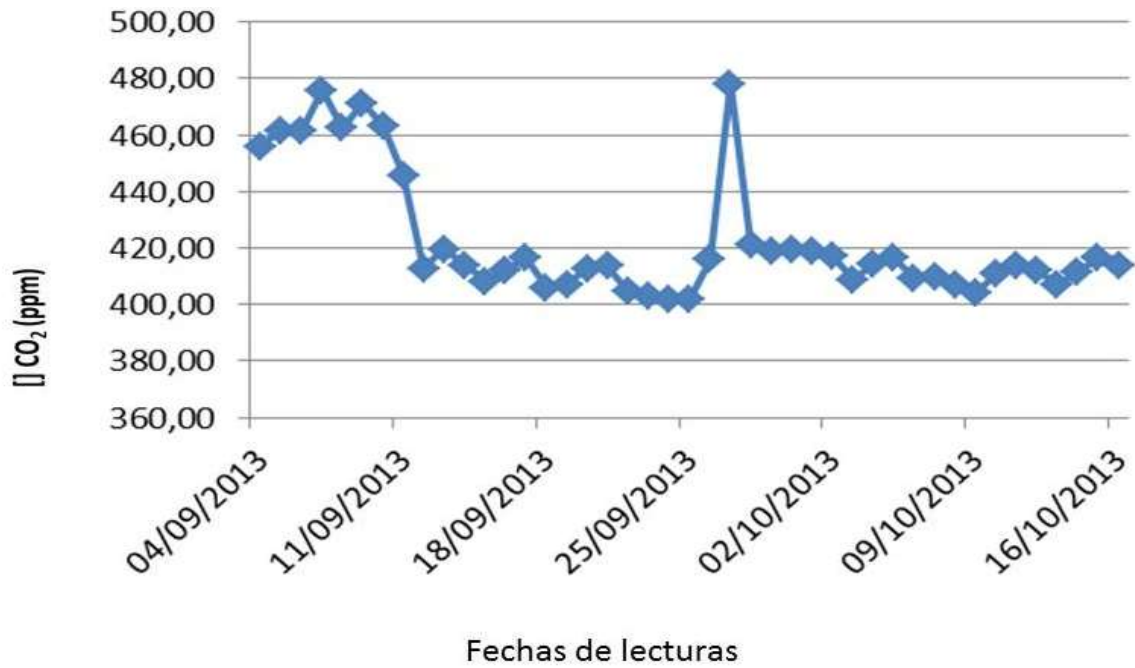
Siembra 4. Comportamiento de la Temperatura, %RH y concentración de CO₂ durante el período de cosecha (4 de setiembre al 16 de octubre, 2013)



Porcentaje de humedad relativa en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 4

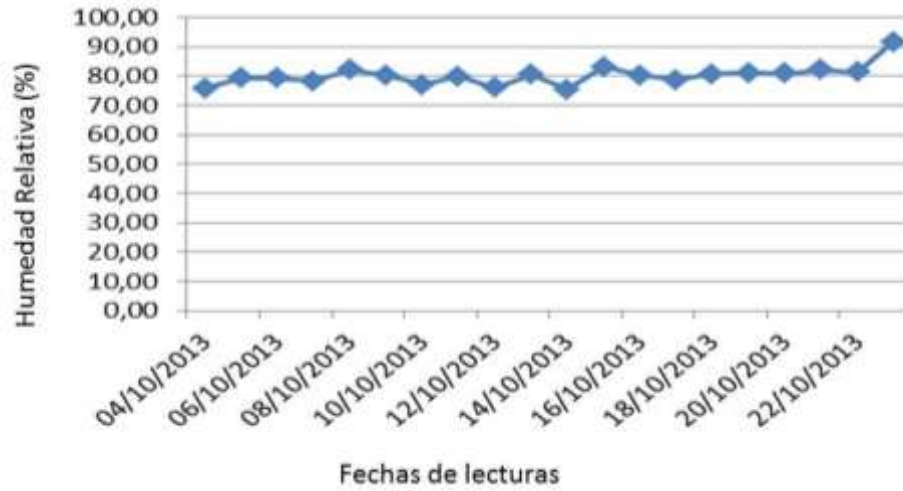


Temperatura en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 4

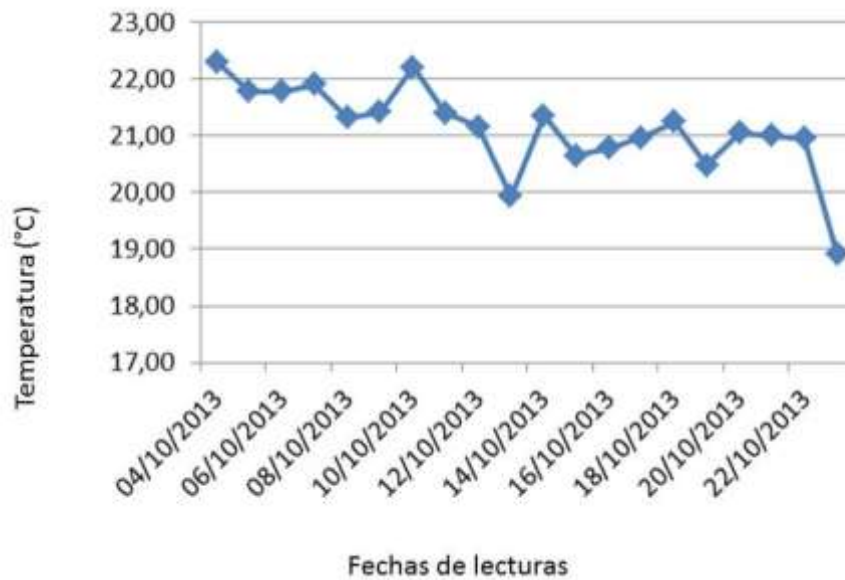


Concentración de dióxido de carbono en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 4

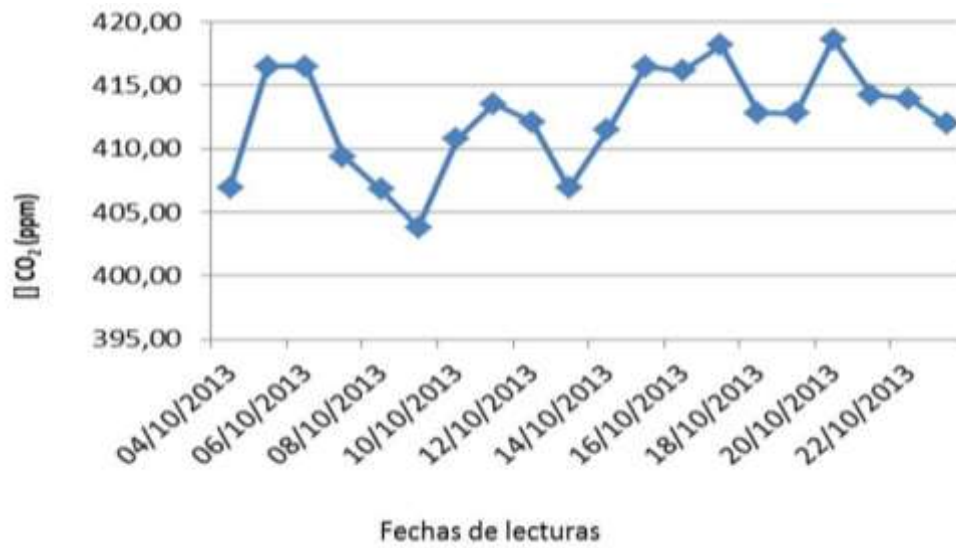
Siembra 5. Comportamiento de la Temperatura, %RH y concentración de CO₂ durante el período de cosecha.



Porcentaje de humedad relativa en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 5



Temperatura en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 5



Concentración de dióxido de carbono en el ambiente protegido donde se desarrolló ensayo, datos para siembra 5

Apéndice 2

Estudio estadístico

Como resultado, se analizaron las variaciones entre un ensayo y otro en términos de tamaño y masa de las hortalizas, y rendimiento, principalmente.

Particularmente, los datos de tamaño y masa de las hortalizas fueron los considerados estadísticamente y analizados mediante el programa estadístico *Minitab 16*, con el fin de analizar la normalidad de los datos y poder definir si existían diferencias significativas en la varianza de las mediciones realizadas. Se utilizaron los datos de las cosechas uno (1) y cuatro (4) pues son las cosechas que tuvieron un rendimiento mayor a cero, 36% y 58,41% respectivamente. Para efectos del tratamiento estadístico, se denomina tratamiento 1 a la cosecha 1 y tratamiento 2 a la cosecha 4, respectivamente.

Se dispusieron los datos indicando el número de cosecha, la masa en gramos y el diámetro en centímetros, siendo los dos últimos mencionados las variables a analizar, con el fin de definir si existen diferencias significativas entre las variables y cada uno de los tratamientos mencionados anteriormente y descritos en este documento. El procedimiento de análisis de los datos se describe a continuación :

Se establece una hipótesis para cada una de las variables con un $\alpha= 0,05$.

Variable de masa

H₀: los datos de masa siguen una distribución normal

H₁: los datos de masa no siguen una distribución normal

Variable de diámetro

H₀: los datos del diámetro siguen una distribución normal

H₁: los datos del diámetro no siguen una distribución normal

Mediante una prueba de análisis de varianza se obtuvo un resultado para cada una de las variables.

Resultados:

Según se indicaba en la metodología, para efectos del tratamiento estadístico, se denomina tratamiento 1 al proceso de siembra 1 y tratamiento 2 al proceso de siembra 4, respectivamente descritas en la tabla 2, por ser los únicos que resultaran en obtención de cosecha. A continuación, en la tabla 3 se muestra una breve descripción de cada uno de ellos en sus puntos de manejo más relevantes

(El detalle del proceso de siembra puede ser ampliado en la tabla 2.)

Tabla 2. Descripción de las observaciones en cada ensayo ejecutado en 2013

manejo	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Limpieza inicial del sistema	Lavado con agua y jabón	Lavado con agua y jabón
Desinfección inicial del sistema	Ninguna	Circulación de Cloro al 5% y peróxido de hidrógeno al 3%
Desinfección de almácigo	Inmersión de raíces en peróxido de hidrógeno al 1% por 2 segundos	Inmersión de raíces en peróxido de hidrógeno al 0,5% por 1 minuto
Desinfección de canastillas y piedrilla	Inmersión en peróxido de hidrógeno al 1% por 5 minutos	Inmersión en peróxido de hidrógeno al 1% por 5 minutos
Trasplante	Planta con adobo se pasó de bandeja de almácigo a canastillas en sistema hidropónico con agua por 24 horas y circulación del sistema en ciclo de 45 minutos encendido circulando y 15 minutos apagado. Posterior a las 24 horas se agregó solución nutritiva.	Planta con adobo se pasó de bandeja de almácigo a canastillas en sistema hidropónico con agua por 24 horas y circulación del sistema en ciclo de 45 minutos encendido circulando y 15 minutos apagado. Posterior a las 24 horas se agregó solución nutritiva.
Solución nutritiva	2,5 ml de solución nutritiva “A” y 1 ml de solución nutritiva “B”, por cada litro de agua total del sistema, con ciclo de 45 minutos de bomba encendida para circulación y 15 apagada hasta homogenizar.	2,5 ml de solución nutritiva “A” y 1 ml de solución nutritiva “B”, por cada litro de agua total del sistema, con ciclo de 45 minutos de bomba encendida para circulación y 15 apagada hasta homogenizar.
Desarrollo de cultivo	Ciclo de circulación del sistema con la bomba 30 minutos encendida y 30 minutos, a una concentración de 1,2 mS/cm ³ a 1,5 mS/cm ³ a lo largo del cultivo	Ciclo de circulación del sistema con la bomba 30 minutos encendida y 30 minutos, a una concentración de 1,2 mS/cm ³ a 1,5 mS/cm ³ a lo largo del cultivo
Control de plagas y enfermedades	Tras observación de decaimiento en plantas y raíces oscurecidas se aplicó <i>Trichoderma sp</i> + <i>Streptomyces sp</i> a la solución nutritiva y se empezaron a eliminar plantas enfermas	Adición semanal de cloro al 0,5% a la solución nutritiva, y eliminación de plantas enfermas. Siempre se observaron raíces oscurecidas a lo largo del ciclo productivo
Manejo de la sombra	Eliminada a los 35 días (5ta semana) por completo	Eliminada a los 35 días (5ta semana) entre las 3pm y las 11 am diariamente
Rendimiento de cosecha	36%	58%

En cuanto a las características del tratamiento, se obtiene lo siguiente:

Variable de masa

Prueba F (distribución normal)

Estadística de prueba = 0,50. valor $p = 0,012$

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)

Estadística de prueba = 16,89. valor $p = 0,000$

Con pruebas anteriores se concluye que hasta este punto los datos no son lo suficientemente confiables para aceptar la hipótesis nula.

Variable diámetro

Prueba F (distribución normal)

Estadística de prueba = 0,63. valor $p = 0,091$

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)

Estadística de prueba = 4,65. valor $p = 0,033$

Con dicha información se puede determinar que los datos siguen una distribución normal por lo que se estaría aceptando la hipótesis nula.

Al obtener la información no se llegó a una conclusión para el proyecto por lo que se siguió analizando el paquete de datos para poder inferir sobre ellos.

Se procedió a realizar el estudio de los residuos de los datos con el fin de poder aplicar un ANOVA, por lo que se comprobaron los siguientes supuestos para cada una de las variables:

- Normalidad de los residuos: mediante pruebas de bondad de ajuste se aplicó la prueba de “*weibull*” específicamente para ajustar los datos de residuos y lograr su normalidad.
- Independencia de las variables.
- Homocedasticidad de la varianza: una prueba de varianza la cual indica normalidad en estos datos.

Se hizo comprobar las siguientes hipótesis planteadas

Variable de masa

H_0 : no existen diferencias significativas en la varianza de los datos de masa del tratamiento 1 y el tratamiento 2

H_1 : existen diferencias significativas en la varianza de los datos de masa del tratamiento 1 y el tratamiento 2

Variable de diámetro

H_0 : no existen diferencias significativas en la varianza de los datos de diámetro del tratamiento 1 y el tratamiento 2

H_1 : no existen diferencias significativas en la varianza de los datos de diámetro del tratamiento 1 y el tratamiento 2

Ante estas hipótesis planteadas se puede decir que para las dos variables analizadas versus el tratamiento sucede lo siguiente:

- Para la variable de masa se acepta no existen diferencias significativas en la varianza de los datos de masa del tratamiento 1 y el tratamiento 2, ya que los resultados del ANOVA arroja un valor $p < 0,104$ lo que permite aceptar la hipótesis nula.
- Para la variable de diámetro se acepta H_0 : no existen diferencias significativas en la varianza de los datos de diámetro del tratamiento 1 y el tratamiento 2, ya que los resultados del ANOVA nos un valor $p < 0,624$, lo que permite, como en el caso anterior, aceptar la hipótesis nula.

A continuación algunos de los datos gráficos obtenidos con los cuales se puede comprobar la información anterior:

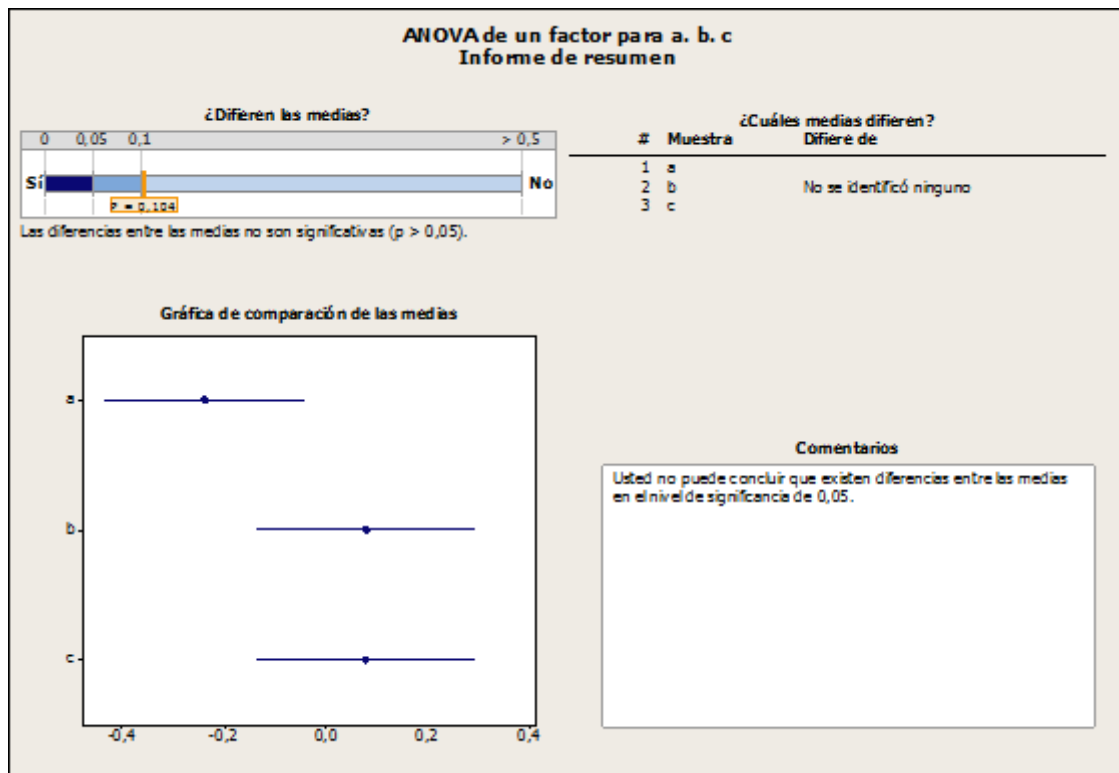


Figura 9. Informe resumen Minitab sobre resultados ANOVA de comparación entre los tratamientos y el masa de las lechugas cosechadas

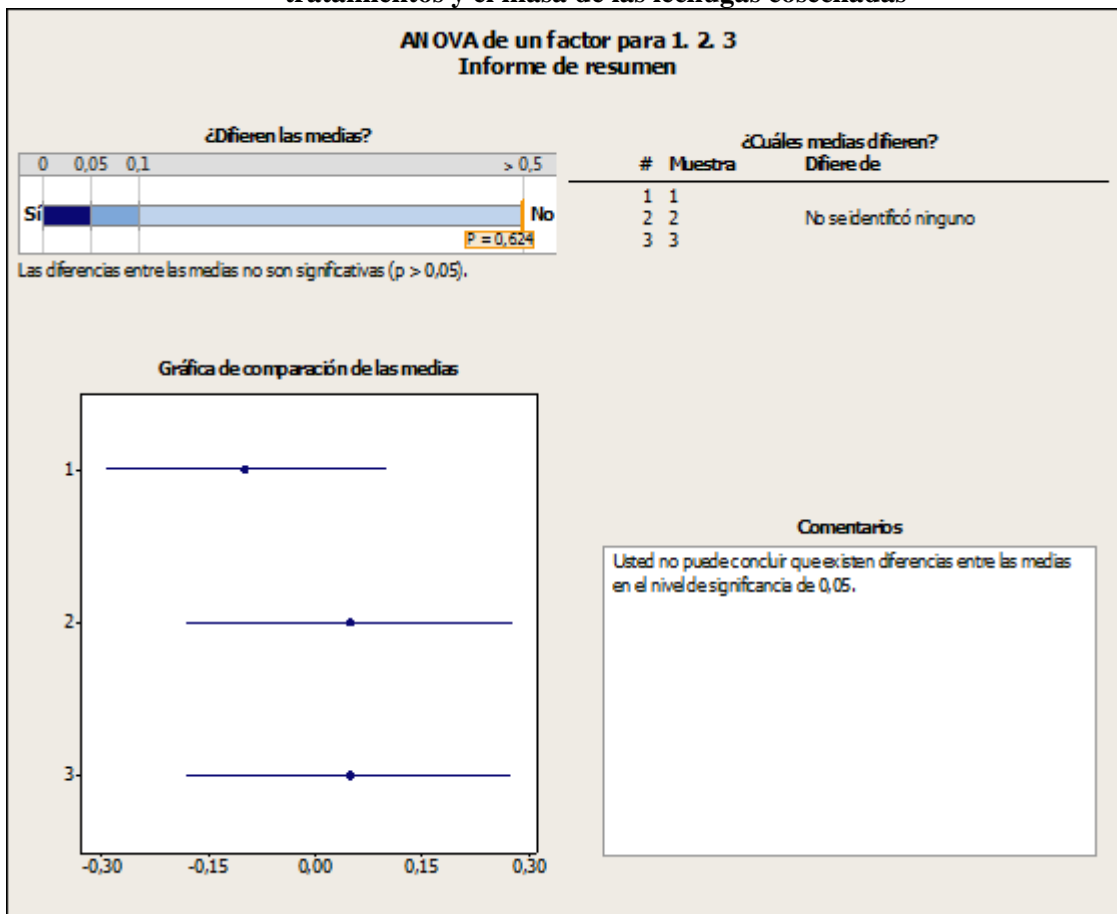


Figura 10. Informe resumen Minitab sobre resultados ANOVA de comparación entre los tratamientos y el diámetro de las lechugas cosechadas

Ahora bien, aunque estadísticamente se demuestra que no existen diferencias entre tratamientos respecto a variables de masa y diámetro de las plantas que se lograron cosechar, sí es posible ver un efecto en general positivo con respecto a ciertas prácticas del proceso que resultaran en un rendimiento mayor, como son la desinfección general del sistema antes del trasplante, la desinfección del almácigo, el control de plagas y enfermedades y el manejo de la sombra.

Los productos obtenidos fueron primordialmente técnicos, no llegando a evaluar el tema de costos, aunque la iniciativa quedó latente y está siendo retomada por un estudiante de Ingeniería en Agronegocios para un curso de Carrera. Se infiere que el costo de operación hubiese sido muy parecido en todas las siembras, no así la relación costo/beneficio pues hubo tres de ellas donde no se obtuvo producto.

