



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL**

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA
DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO
TIPO REVÓLVER**

LUIS ALBERTO OLVERA CRUZ

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO. DE MÉXICO

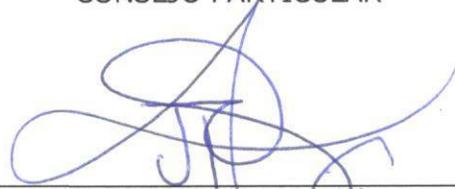
2016

La presente tesis titulada: "EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO TIPO REVOLVER", realizada por el alumno: Luis Alberto Olvera Cruz, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



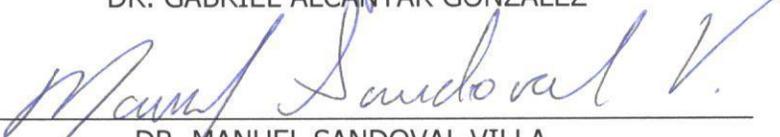
DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR



DR. GABRIEL ALCÁNTAR GONZÁLEZ

ASESOR



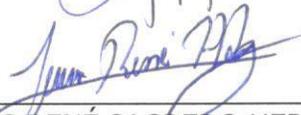
DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR



DRA. LIBIA IRIS TREJO TELLEZ

ASESOR



M.I. LUIS RENÉ SAGREDO HERNÁNDEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo 2016

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO TIPO REVÓLVER

Luis Alberto Olvera Cruz, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2016.

RESUMEN

Se construyó el prototipo de un sistema intensivo y sustentable de producción hidropónica de fresa, denominado revólver. Se estableció un experimento para evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico en fresa con el sistema hidropónico cerrado tipo revólver (SHCR) y un sistema hidropónico abierto convencional (SHAC) con tres variedades de fresa (Safari, Albión y Monterey) con un arreglo factorial 2 X 3 y 2 repeticiones con 6 submuestreos. Se determinó la altura de planta (AP), diámetro de la corona (DC), número de hojas por planta (NHP), sólidos solubles totales en la corona ($^{\circ}$ Brix), materia seca total (MST), volumen de raíces (VR), área foliar (AF) y la eficiencia en el uso del agua (EUA), asimilación de CO_2 (ACO_2), conductancia estomática (CES), concentración intracelular de CO_2 (Ci), transpiración (TR), déficit de presión de vapor (DPV), temperatura de la hoja (TH) y humedad relativa de la hoja (HRH) en las plantas de fresa a los 73 y 93 días después del trasplante. Los resultados mostraron que el SHCR presentó los mayores valores para AP, DC, NHP, MST, VR, AF, ACO_2 , CES y TR, en comparación con el SHAC. Las variedades Safari y Monterey mostraron mayor AP, DC, NHP, MST, VR y AF, con relación a Albión. La variedad Monterey mostró alta ACO_2 y CES, respecto a Albión y Safari. El mejor tratamiento se presentó con la combinación Safari y SHCR para todas las variables agronómicas evaluadas. El mejor tratamiento para las variables ACO_2 y CES se presentó con la combinación Monterey y el SHCR. En conclusión, los mayores parámetros agronómicos y fisiológicos se presentaron en las plantas que crecieron en el SHCR.

Palabras clave: recirculación de la solución nutritiva, hidroponía, innovación.

AGRONOMICAL AND PHYSIOLOGICAL EVALUATION OF STRAWBERRY IN AN HYDROPONIC SYSTEM REVOLVER TYPE

Luis Alberto Olvera Cruz, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2016.

ABSTRACT

An innovative hydroponic system called revolver for strawberry production was constructed. An experiment was carried to evaluate the agronomic response of strawberry in a revolver closed hydroponic system (RCHS) and also in a conventional open hydroponic system (COHS) and three genotypes of strawberry (Safari, Albion and Monterey) with a factorial arrangement 2 x 3 and 6 replications. Plant height (PH), crown diameter (CD), number of leaves per plant (NLP), total soluble solids of crown ($^{\circ}$ Brix), total dry matter (TDM), root volume (RV), leaf area (LA), CO₂ assimilation (CO₂A), stomata conductance (STC), intracellular concentration of CO₂ (INC), transpiration (TR), vapor pressure deficit (VPD), leaf temperature (LT) and leaf relative humidity (LRH) in strawberry plants were determined at 73 and 93 days after transplant. The results showed that the RCHS presented the best and significant values for PH, CD, NLP, TDM, RV, LA, PHS, STC and TR compared with COHS. Strawberry varieties Safari and Monterey showed the highest PH, CD, NLP, TDM, RV, and LA in relation to Albion variety. Monterey variety showed the highest PHS and STC in relation to Albion and Safari varieties. The best treatment for all evaluated variables corresponded to the variety Safari in combination with RCHS. For PHS and STC the best combination was for the Monterey variety and CHSR.

Keywords: nutrient solution recirculation, hydroponics, innovation.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Posgraduados campus Montecillo por ser mi segunda alma mater y contribuir a mi formación académica.

A CONACYT quien me apoyó económicamente durante el tiempo que realicé mis estudios de maestría.

Al Dr. Prometeo Sánchez García quien me apoyó en todos los aspectos y confió que este proyecto de construir el revólver se podía llevar a la realidad y tener buenos resultados.

A los doctores Manuel Sandoval Villa, Gabriel Ernesto Alcántar González y la Dra. Libia Iris Trejo Téllez, por contribuir con mi formación académica y su amplia disposición y consejos para realizar la Tesis.

Al M.I. Luis René Sagredo Hernández, por su ayuda en la construcción de los revólver, además de sabios consejos y contribuir con mi formación académica y personal.

Al Dr. Ibar Felipe Tlatilpa Santamaria, por seguir contibuyendo en mi formación personal y profesional, gracias amigo por tu paciencia, disposición y sabios consejos.

DEDICATORIA

A Dios, a la virgen de Juquila y a nuestra madre María por permitirme cumplir una meta más, tener vida y salud.

A mí mamá por acompañarme desde el cielo, quien me educó de manera firme y con amor y por estar siempre conmigo en mis logros y fracasos, ya que ella es la fuerza que me impulsa a seguir alcanzando las metas que me he propuesto. Con cariño y admiración a mi papá porque con sus consejos y amor, me sigue dando lecciones de vida, me inspira a lograr mis objetivos y por estar siempre a mi lado.

A mi esposa por ser parte en mi vida, el motor que me impulsa a superarme y me apoya para lograr mis objetivos, porque con su amor, comprensión, paciencia y ternura me hace una persona completa.

A mis hermanas Lucia y Verónica, a mis sobrinos Alexander y Barbarita, por darme la dicha de compartir momentos inolvidables y disfrutar de su excelente compañía.

A mis suegros por ser mis segundos padres, por sus consejos tan valiosos que me han ayudado a complementarme personalmente.

Con admiración a mi hermano Bryan que me ha ayudado con sus experiencias a salir adelante; gracias por los momentos que compartimos y que forman parte importante de mi vida.

A mis amigos Jorge, Alexis, Ibar, Uriel, Hijinio, Félix, Zeferino, Maciel, Erika, Miguel, Carlos, Maribel, Guadalupe, Lucero, Lore, Conchita, Lili, Laurita y a todos aquellos que han convivido conmigo en mi estancia por este mundo y haber tolerado mis diferentes estados de ánimo.

A todos los integrantes de INCODER, por dedicarle tiempo a la construcción de este proyecto y su grandiosa amistad.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Particulares	3
HIPÓTESIS	4
Hipótesis General.....	4
Hipótesis Particulares	4
MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES	5
Lavado de fibra de coco.....	5
Solución Nutritiva para el Cultivo	7
Temperatura y Humedad Relativa (HR).....	8
Promedio de Radiación fotosintéticamente activa (PAR)	9
Monitoreo de la CE y pH.....	10
Gasto de agua por sistema de producción.....	11
DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO INNOVADOR TIPO REVÓLVER PARA LA PRODUCCIÓN DE FRESA	12
DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE HYDROPONIC SYSTEM REVOLVER TYPE FOR STRAWBERRY PRODUCTION	12
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	13
RESULTADOS	22

CONCLUSIONES	23
LITERATURA CITADA	23
EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE TRES VARIEDADES DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO INNOVADOR TIPO REVÓLVER	24
AGRONOMICAL EVALUATION OF THREE STRAWBERRY VARIETIES IN AN INNOVATIVE HYDROPONIC SYSTEM REVOLVER TYPE	24
RESUMEN	24
ABSTRACT.....	25
INTRODUCCIÓN	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES	36
LITERATURA CITADA	37
EVALUACIÓN FISIOLÓGICA DEL CULTIVO DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO CERRADO TIPO REVÓLVER	40
PHYSIOLOGICAL EVALUATION OF STRAWBERRY IN A CLOSED HYDROPONIC SYSTEM REVOLVER TYPE.....	40
RESUMEN	40
ABSTRACT.....	41
INTRODUCCIÓN	41
MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA	54
CONCLUSIONES GENERALES.....	57

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de agua, fibra de coco (FC) para le elaboración de la solución nutritiva con una conductividad eléctrica de 0.5 dS m^{-1}	7
Cuadro 2. Análisis de agua, fibra de coco (FC) para le elaboración de la solución nutritiva una conductividad eléctrica de 0.75 dS m^{-1}	8
Cuadro 3. Efectos principales de factores de estudio y su interacción sobre las variables sobre las variables altura de planta (AP), diámetro de corona (DC), número de hojas por planta (NHP) y sólidos solubles totales de corona ($^{\circ}\text{Brix}$) en plantas de fresa en la etapa vegetativa a los 93 DDT.....	33
Cuadro 4. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables materia seca total (MST), volumen de raíz (VR), área foliar (AF) y eficiencia en el uso del agua (EUA) en plantas de fresa en la etapa vegetativa a los 93 DDT.....	36
Cuadro 5. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables fotosíntesis, conductancia estomática y concentración intracelular de CO_2 en plantas de fresa en la etapa vegetativa.....	48
Cuadro 6. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables transpiración y déficit de presión de vapor en plantas de fresa, en la etapa vegetativa.	50
Cuadro 7. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables temperatura de la hoja y humedad relativa de la hoja en plantas de fresa, en la etapa vegetativa.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fibra de coco en pacas.	5
Figura 2. Proceso de acondicionamiento prelavado.	5
Figura 3. Fibra de coco saturada con agua.	6
Figura 4. Fibra de coco al final del lavado.	7
Figura 5. Temperatura y humedad relativa monitoreada en la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. TP: temperatura promedio; Tmáx: Temperatura máxima; Tmín: Temperatura mínima.	8
Figura 6. Muestra el promedio de la radiación fotosintéticamente activa en los diferentes sistemas de producción y en diferentes fechas de muestreo en el cultivo de fresa. SC: sacos de cultivo; RH: revólver hidropónico; DDT: días después del trasplante.	9
Figura 7. Monitoreo de la CE y pH en la solución de fibra de coco. CER: conductividad eléctrica del sustrato en el sistema revólver; CESC: conductividad eléctrica de los sacos de cultivo; PHR: pH del revólver; PHSC: pH de los sacos de cultivo.	10
Figura 8. Gasto y recuperación de agua por sistema de producción; SHCR: sistema hidropónico cerrado tipo revólver; SHAC: sistema hidropónico abierto convencional.	11
Figura 9. Vista general del sistema hidropónico cerrado tipo revólver.	15
Figura 10. Base metálica en forma de trapecio alargado tridimensional.	16
Figura 11. Hexágono metálico denominado revólver.	17
Figura 12. Canaleta triangular de acero inoxidable.	18
Figura 13. Elementos sensores de final de carrera. A: Sensor inductivo; B: Sensor de tipo interruptor.	19
Figura 14. A: Gabinete de control; B: Paro de emergencia.	20
Figura 15. Desagües mecánicos (tubos y topes).	21
Figura 16. Sistema de riego. A: "T"; B: ducto ciego; C: conector giratorio; D: parte exterior del hexágono; E: parte inferior del hexágono; F: gotero; G: tubin y H: piqueta.	22
Figura 17. Sistema hidropónico cerrado tipo revólver.	28
Figura 18. Sistema hidropónico abierto convencional.	28
Figura 19. Sistema hidropónico cerrado tipo revólver.	44
Figura 20. Sistema hidropónico abierto convencional.	44

INTRODUCCIÓN GENERAL

Hoy día es de vital importancia producir alimentos, libres de concentraciones tóxicas de metales pesados, pesticidas, insecticidas y que no se contamine el medio ambiente en el que se cultivan y optimizar los recursos naturales para obtener productos de mejor calidad. Además, los sistemas de producción intensivos deben de optimizar el espacio, debido a que en la actualidad el crecimiento de las ciudades limita las áreas de producción de los cultivos. El utilizar sustratos para producción de cultivos ayuda producir alimentos inocuos, tener un mayor control de la nutrición adicionalmente contribuye a disminuir la contaminación del suelo, por el uso excesivo e irracional de plaguicidas y fertilizantes.

Por ello estamos obligados a producir más en menor espacio y para esto es preciso construir sistemas hidropónicos que ocupen mayor volumen dentro de un invernadero, lo que conlleva a utilizar cultivos verticales en forma intensiva, aumentar la densidad de población y a diseñar un sistema hidropónico cerrado tipo revólver el cual cumple con las exigencias de hoy en día. Dicho sistema está compuesto por seis canaletas que giran sobre una especie de “cilindro de un revólver” y está sobre un eje central, con la intención de que las plantas reciban la misma cantidad y calidad de luminosidad. Además, el giro está controlado por un gabinete en donde se programa el tiempo que tardará cada giro. La implementación del sistema de producción hidropónico tipo revólver en la producción de hortalizas, plantas medicinales y frutales de porte bajo pretende optimizar el uso de agua con la recirculación, desinfección y adecuación de la misma, para ocupar el espacio vertical y horizontal de los sistemas protegidos, además de disminuir el consumo de fertilizantes realizando análisis nutrimental en agua, sustrato y lixiviado para no adicionar nutrientes en demasía, aumentar el rendimiento con el incremento de la densidad de población y producir alimentos con alto contenido nutricional e inocuos.

La medición de variables agronómicas y fisiológicas genera información detallada del comportamiento interno y externo en la planta bajo diferentes sistemas de producción, con el objetivo de generar estrategias de manejo del cultivo.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico de tres variedades de fresa producidas en un sistema hidropónico cerrado tipo revólver y otro sistema convencional abierto.

Los resultados de esta investigación se presentan a manera de artículos y se encuentran en el orden siguiente:

1. DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO INNOVADOR TIPO REVÓLVER PARA LA PRODUCCIÓN DE FRESA.
2. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE TRES VARIEDADES DE FRESA EN EL SISTEMA HIDROPÓNICO TIPO REVÓLVER.
3. EVALUACIÓN FISIOLÓGICA DEL CULTIVO DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO CERRADO TIPO REVÓLVER.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico de tres variedades de fresa en dos sistemas hidropónicos (abierto y cerrado) y construir un sistema hidropónico de alta densidad de plantación tipo revólver.

Objetivos Particulares

Diseñar y construir un sistema hidropónico cerrado tipo revólver para la producción intensiva de fresa.

Evaluar los parámetros agronómicos: altura de planta, diámetro de la corona, número de hojas por planta, grados Brix de la corona, materia seca total, volumen de raíces y área foliar en las variedades de fresa Safari, Albión y Monterey, en un sistema hidropónico convencional y en un sistema hidropónico de alta densidad denominado tipo revólver.

Comparar los parámetros fisiológicos como asimilación de CO₂, conductancia estomática, concentración intracelular de CO₂, transpiración, déficit de presión de vapor, temperatura de la hoja y humedad relativa de la hoja en tres variedades de fresa (Safari, Albión y Monterey) expuestas a dos sistemas de producción: hidropónico abierto convencional y otro sistema hidropónico cerrado tipo revólver.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

La construcción del sistema hidropónico de alta densidad tipo revólver ayuda a obtener mejor comportamiento agronómico y fisiológico del cultivo de fresa.

Hipótesis Particulares

Es posible construir un sistema hidropónico para la producción intensiva de fresa con el objetivo de aprovechar el espacio vertical y horizontal del invernadero.

Las plantas de fresa producidas en el sistema hidropónico tipo revólver presentarán mejor comportamiento en las variables agronómicas en plantas de fresa.

Las plantas de fresa producidas en un sistema hidropónico cerrado tipo revólver presentarán los mejores niveles fisiológicos, lo cual se reflejará en la asimilación de CO₂, conductancia estomática y transpiración.

MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

Lo mencionado en este capítulo, se implementó y se monitoreó para ambos sistemas de producción en las tres variedades de fresa, con la finalidad de tener el menor sesgo posible.

Lavado de fibra de coco

El agua que se utilizó se acidificó con H_2SO_4 hasta alcanzar un pH 5.0. Se utilizaron 2 m³ de fibra de coco (FC) contenidas en 10 pacas (Figura 1). Las pacas de FC se acondicionaron deshaciéndolas, para manipular y humedecer el sustrato (Figura 2).



Figura 1. Fibra de coco en pacas.



Figura 2. Proceso de acondicionamiento prelavado.

El primer día se saturó la FC con 600 L de agua, en esas condiciones permaneció 2 días (Figura 3), al 4 día se le aplicaron 200 L de agua con desalinizador (Klear flow®) a una concentración de 0.5 mL L⁻¹, el quinto día se lavó la FC con 400 L de agua acidulada a pH 5.0 con la finalidad de retirar las sales que desplazó el desalinizador, en ese mismo día se aplicó nuevamente el desalinizador a una concentración de 0.25 mL L⁻¹, en el sexto día solo se enjuagó el exceso de sales con 200 L de agua acidulada (Figura 4).

En la FC se determinaron las características físico-químicas: índice de grosor 42.5 %, densidad aparente 0.075 g cm⁻³, densidad real 1.48 g cm⁻³, capacidad de aireación 52.6 %, capacidad de retención de agua 49.5 %, espacio poroso total 81.0 %, agua fácilmente disponible 22.6 %, agua de reserva 13.1 %, y agua difícilmente disponible 24.6 %. La FC tuvo una CE de 3 dS m⁻¹ y pH 7 inicialmente, después de la aplicación del desalinizador quedó en una CE de 0.8 dS m⁻¹, pH 5.6 y CIC 42.4 cmolc⁺ kg⁻¹. Para el lavado de la fibra de coco se usó un desalinizador (Klear flow®) con una concentración de 0.5 mL L⁻¹ y agua acidificada con H₂SO₄ hasta alcanzar una conductividad eléctrica (CE) final del sustrato de 0.8 dS m⁻¹ y un pH de 5.6.



Figura 3. Fibra de coco saturada con agua.



Figura 4. Fibra de coco al final del lavado.

Solución Nutritiva para el Cultivo

La solución (SN) utilizada fue la solución universal de Steiner (1984), modificada y acondicionada con amonio con una CE de 0.5 dS m^{-1} y esta se aplicó hasta los 73 días después del trasplante (DDT), posteriormente se adicionó la SN con una CE de 0.75 dS m^{-1} de los 74 hasta 93 DDT. Para tal efecto, se hicieron análisis químicos del agua de riego para considerar el aporte nutrimental de ésta al momento de elaborar la SN (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Cuadro 1. Análisis de agua, fibra de coco (FC) para le elaboración de la solución nutritiva con una conductividad eléctrica de 0.5 dS m^{-1} .

	Ca	Na	K	P-PO ₄	Mg	N-NO ₃	S-SO ₄
	----- ppm -----						
Agua	0	43	5	0	30	6	25
FC	15	78	288	25	20	6	
RSNS	45		68	8	12	42	28
RPSNF	31		-224	-18	-38	30	3

RSNS: requerimiento de la solución nutritiva según Steiner; RPSNF: requerimiento para preparar solución nutritiva para fresa, valores positivos iones que se agregaron y valores negativos iones no adicionados en la SN.

Cuadro 2. Análisis de agua, fibra de coco (FC) para le elaboración de la solución nutritiva una conductividad eléctrica de 0.75 dS m⁻¹.

	Ca	K	P-PO ₄	Mg	N-NO ₃	S-SO ₄
	----- ppm -----					
Agua	0	5	0	30	6	25
FC	18	200	61	24	51	
RSNS	68	102	12	18	63	42
RPSNF	50	-103	-50	-36	6	17

RSNS: requerimiento de la solución nutritiva según Steiner; RPSNF: requerimiento para preparar solución nutritiva para fresa, valores positivos iones que se agregaron y valores negativos iones no adicionados en la SN.

Temperatura y Humedad Relativa (HR)

En la Figura 5 se muestra la temperatura promedio obtenida de la estación meteorológica durante el experimento que fluctuó entre 8 y 17 °C, registrándose entre los 40 y 60 DDT las temperaturas más bajas que corresponden a los meses de enero y febrero. Las temperaturas más altas se presentaron en el mes de marzo. En lo que respecta a la HR los rangos obtenidos fueron de 45 a 78 %, siendo mayor la humedad relativa en el mes de diciembre y enero de los 0 a 35 DDT y en el resto del experimento la HR de los 36 a 93 ddt fue disminuyendo. Existe una relación inversamente proporcional entre la HR y la temperatura, esto indica que cuando aumenta la temperatura disminuye la HR y viceversa. Dentro del invernadero se registraron temperaturas de 40 °C máxima y 4 °C mínima.

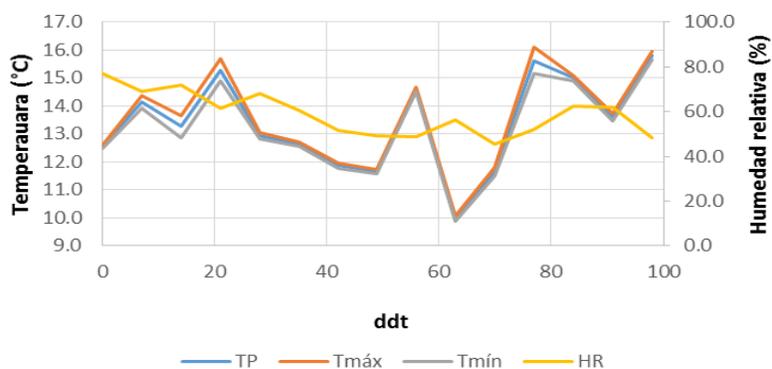


Figura 5. Temperatura y humedad relativa monitoreada en la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. TP: temperatura promedio; Tmáx: Temperatura máxima; Tmín: Temperatura mínima.

Promedio de Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

En ambas fechas de muestreo se registraron mayores valores de PAR en el SHCR con 1,117 y 1279 para los 73 y 93 DDT respectivamente, comparado con las plantas producidas en SHAC los cuales presentaron valores inferiores en ambas fechas con 984 a los 73 DDT y 1,201 (93 DDT). Se muestra claramente que existió un incremento de la PAR de los 73 DDT a 93 DDT y corresponden a los meses de febrero y marzo respectivamente.

En promedio la luminosidad máxima que llegaba a las plantas del SHCR fue de 1,198 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en contraste con la que llegaba al SHAC que fue de 1,092 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 6).

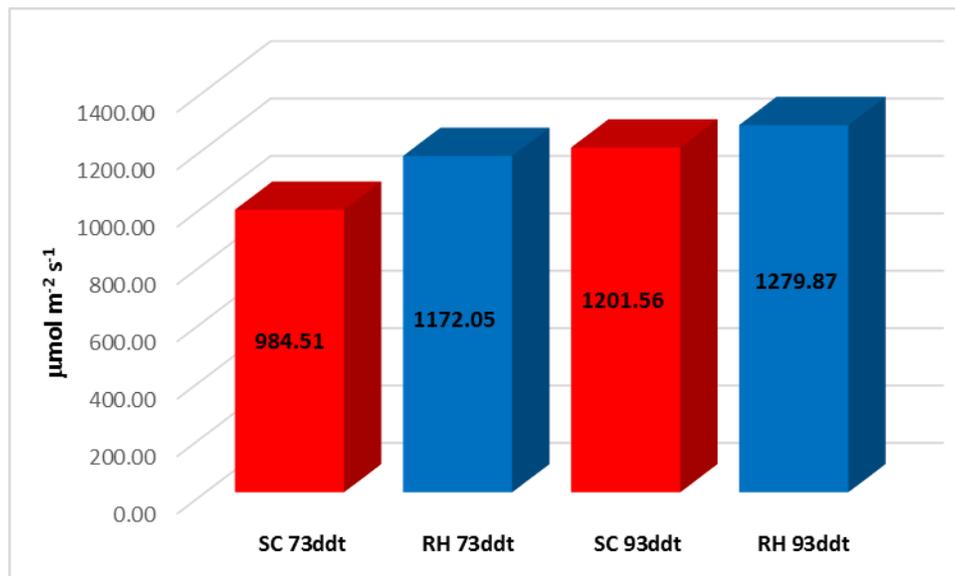


Figura 6. Muestra el promedio de la radiación fotosintéticamente activa en los diferentes sistemas de producción y en diferentes fechas de muestreo en el cultivo de fresa. SC: sacos de cultivo; RH: revólver hidropónico; DDT: días después del trasplante.

Monitoreo de la CE y pH

El control del pH y CE en la solución nutritiva (SN) y drenaje se hizo con un medidor portátil HI 98129 de la marca Hanna Instruments®.

El comportamiento del pH en todo el experimento fluctuó entre 5.0 y 6.5, teniendo un pH promedio de 6 para ambos sistemas de producción. La CE para el SHCR fue de 0.8 a 2.4 dS m⁻¹, en el SHAC la CE varió de 0.5 a 1.4 dS m⁻¹.

En particular la CE de los 35 a 56 DDT aumentó cuando el pH fue inferior a 5.5 (Figura 7). Este efecto se debe a que los iones (macronutrientes) en pH menores 5.5 no están disponibles para las raíces de la planta, por lo tanto se acumulan sales en el sustrato y la CE tiende a aumentar.

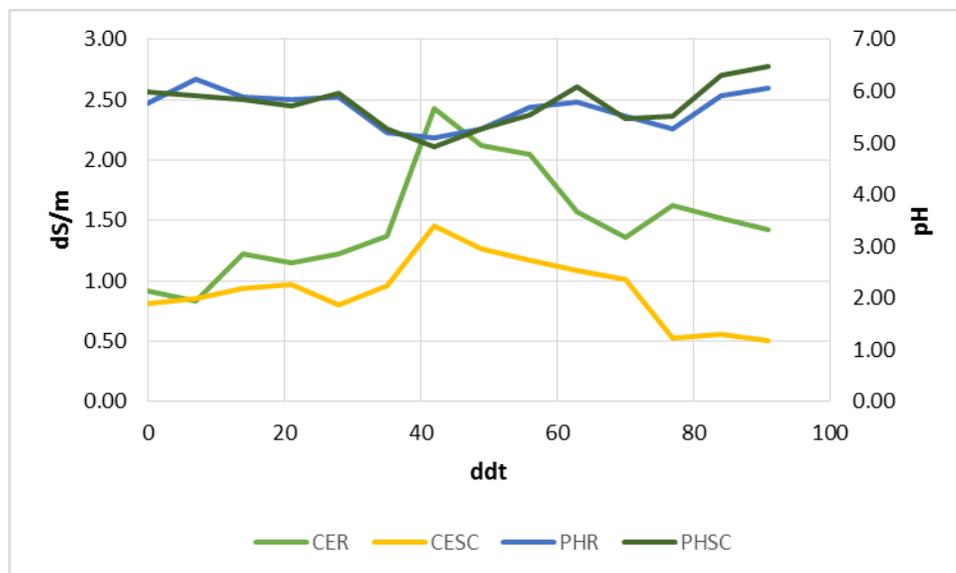


Figura 7. Monitoreo de la CE y pH en la solución de fibra de coco. CER: conductividad eléctrica del sustrato en el sistema revólver; CESC: conductividad eléctrica de los sacos de cultivo; PHR: pH del revólver; PHSC: pH de los sacos de cultivo.

Gasto de agua por sistema de producción

Se contabilizaron los litros gastados de agua en el SHAC al igual que en el SHCR, en este último adicionalmente se contabilizó el agua que se recuperó del lixiviado de las canaletas. En la Figura 8 se muestra que el gasto total de agua para el SHCR fue de 2,500 L para producir 216 plantas en 9 m³ y su recuperaron 750 L de lixiviado, teniendo un gasto de agua por planta de 8.4 L que corresponde al 29.0 % de ahorro comparado con el sistema de producción en sacos de cultivo donde no se recuperó el agua drenada y se obtuvo un gasto de 853 L de agua y se produjeron 76 plantas en 6 m² teniendo un gasto de 11.84 L por planta. Lo que indica que el en el revólver se triplica la densidad de población y además se ahorra agua.

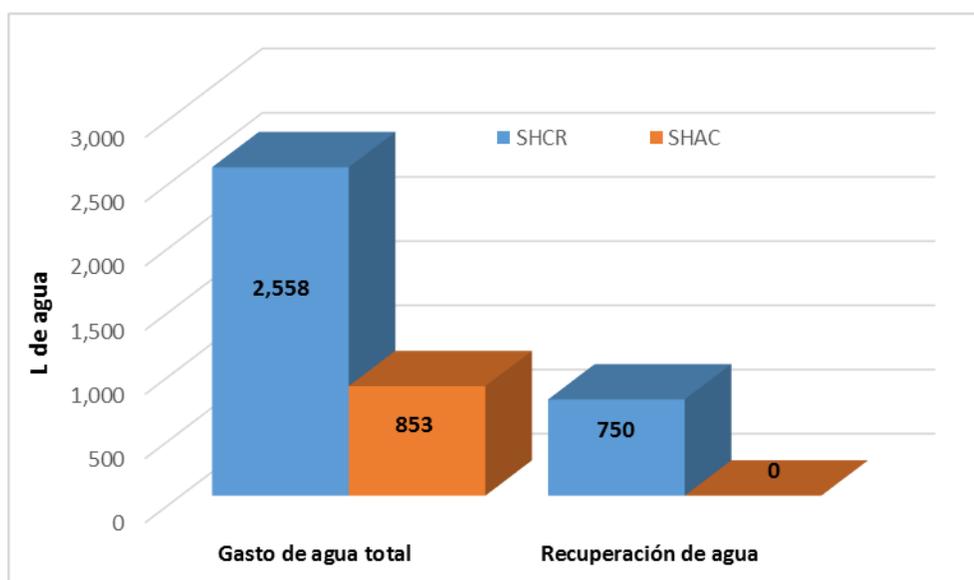


Figura 8. Gasto y recuperación de agua por sistema de producción; SHCR: sistema hidropónico cerrado tipo revólver; SHAC: sistema hidropónico abierto convencional.

**DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO INNOVADOR TIPO
REVÓLVER PARA LA PRODUCCIÓN DE FRESA**

**DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE HYDROPONIC SYSTEM
REVOLVER TYPE FOR STRAWBERRY PRODUCTION**

Luis Alberto Olvera-Cruz¹, *Prometeo Sánchez-García¹, Luis René Sagredo-Hernández²,
Manuel Sandoval-Villa¹, Libia Trejo-Téllez¹ y Gabriel Ernesto Alcántar-González¹.

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Carretera México-Texcoco km 36.5,
Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO.

*Email: promet@colpos.mx, tel. (595) 951 01 98

²Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Calle Dr. García Diego #168, Del.
Cuauhtémoc, Col. Doctores, Ciudad de México, C.P. 06720, MÉXICO.

RESUMEN

Se construyó el prototipo de un sistema intensivo y sustentable de producción hidropónica de fresa, denominado tipo revólver. El Sistema Hidropónico Cerrado Tipo Revólver (SHCR) es una estructura semi-automatizada y consta de cuatro partes esenciales: base metálica, hexágono (revólver), seis canaletas de acero inoxidable que contienen las plantas y el sistema electrónico para el control automatizado del giro.

Palabras clave: recirculación de la solución nutritiva, hidroponía, innovación.

ABSTRACT

An innovative hydroponic system revolver type for strawberry production was constructed. The Closed Hydroponic System Revolver Type (CHSR) is a semi-automatized structure and consists of four parts: metallic base, hexagon (revolver), six gutters of stainless steel which contains the strawberry plants and finally, the electronic system for the automatized control of turn.

Key words: nutrient solution recirculation, hydroponics, innovation.

INTRODUCCIÓN

Según Urrestarazu (2000) el término cultivo sin suelo se define como los métodos y sistemas que propician el crecimiento de las plantas fuera de su ambiente natural (suelo), esto engloba a los sistemas como hidropónicos, acuapónicos, aeropónicos, etc.

El manejo de la hidropónia comenzó a finales del siglo XVII en Inglaterra con Woodward quien hizo crecer plantas en medio líquido con diferentes recipientes y cantidades de suelo. Posteriormente el químico alemán Sachs, Knop y otros en 1860 evitaron adicionar suelo y comenzaron a desarrollar el cultivo en solución nutritiva, la llamada “*nutricultura*”. De 1929 en adelante W.F. Gericke transfirió la tecnología desarrollada en el laboratorio a fines comerciales (Urrestarazu, 2000).

Los sistemas de producción se dividen en dos: de tipo abierto donde la solución que no es utilizada por la planta se drena, percola, se infiltra en el subsuelo o sufre escorrentía fuera del suelo o contenedor y de tipo cerrado en donde la solución sobrante vuelve a incorporarse, total o parcialmente, como suministro a la fertirrigación del mismo cultivo; estos a su vez se subdividen en continuos como el sistema NFT y estáticos como el de mesa flotante (Urrestarazu, 2000).

La recirculación de la solución nutritiva (RSN) ofrece beneficios al medio ambiente y ahorro de agua y fertilizantes, lo anterior conlleva a un ahorro económico. El ahorro de

agua que se tiene al utilizar RSN es de 20 a 30 % (Okano *et al.* 2000; Raya *et al.* 2005 y Dhakal *et al.*, 2005) hasta un 64.23 % (Dasgan y Ekici, 2005).

Existen varios sistemas hidropónicos como el Nutrient Film Technique (NFT) desarrollado en los sesenta por el Dr. Allan Cooper en Inglaterra, New Growing System (NGS) desarrollado en España, Mesa flotante desarrollado por Jensen en Estados Unidos y Massantini en Italia en la década de 1970, aeropónica, acuapónica, columnas verticales, raíces 150, etc.

Ramírez (2011) evaluó la fisiología, rendimiento, calidad y rentabilidad de cultivo de fresa variedad Camino real en altas densidades de plantación en cuatro sistemas (bolsas individuales, vertical con tres y cuatro tubos y vertical con macetas hidropónicas) en el Colegio de Postgraduados, teniendo como resultados que el tratamiento vertical con macetas hidropónicas tiene mayor calidad y cantidad, mayor rendimiento y mejor rentabilidad; la actividad fotosintética, irradiancia es afectada por los diferentes sistemas de producción a excepción de las bolsas individuales debido a que no se auto-sombreo.

Flores (2008) quien trabajo con el sistema de producción “Raíces 150” evaluando el comportamiento fisiológico, rendimiento y calidad del fruto de fresa en la variedad Aromas, en el Colegio de Postgraduados, encontrando que el sistema “Raíces 150” produjo gradientes en las variables atmosféricas que ocasionan cambios fisiológicos, rendimiento y calidad del fruto, además de no proporcionar uniformidad de temperatura e iluminación en las plantas de fresa.

Acorde con las desventajas encontradas en los diferentes sistemas hidropónicos el objetivo del presente trabajo es construir un Sistema Hidropónico Cerrado tipo Revólver que minimice la heterogeneidad de la luminosidad, aumente la densidad de población, se logre la recirculación de la solución nutritiva y mayor eficiente en el uso del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de desarrollar un sistema intensivo y sustentable de producción hidropónica de fresa se instaló un prototipo en un invernadero de cristal ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México, el cual se encuentra en las siguientes coordenadas: 19°29' N y 98°54' O, a 2,250 m de altitud.

A continuación se detalla el Sistema Hidropónico Cerrado Tipo Revólver (SHCR), el cual es un sistema mecánico automatizado constituido con seis canaletas que gira lentamente sobre un eje, tarda 30 s en girar 180° en sentido horario y antihorario (Figura 9).



Figura 9. Vista general del sistema hidropónico cerrado tipo revólver.

La estructura completa se compone de cuatro partes:

- I. Base metálica.
- II. Hexágono (revólver).
- III. Canaletas de acero inoxidable que contienen las plantas.
- IV. Sistema electrónico el control automatizado del giro.

Base metálica

Es una estructura de perfil cuadrado calibre número 18, su forma se semeja la de un trapecio alargado tridimensional (Figura 10). Las dos caras del trapecio por la parte inferior están unidas por cuatro largueros, dos por cada lado, con refuerzos en los ángulos internos de la estructura que tienen la función de soporte. Adicionalmente, en la parte inferior cuenta con cuatro tornillos como ajustes para nivelar el dispositivo en función de la uniformidad del sitio y su principal objetivo es la generación de la pendiente requerida para que las canaletas drenen el agua o solución nutritiva.



Figura 10. Base metálica en forma de trapecio alargado tridimensional.

Hexágono (revólver)

El revólver se forma con dos hexágonos de tubular cuadrado unidos por cuatro largueros. En los ángulos de cada hexágono se tienen tubos de 1/2 pulgada de diámetro de 8 cm de largo donde se montan las canaletas. El eje de giro es una barra sólida con un diámetro de 1 pulgada ($\phi = 1''$). La barra se encuentra montada sobre dos chumaceras (Figura 11).



Figura 11. Hexágono metálico denominado revólver.

Canaletas de acero inoxidable

Son fabricadas en lámina galvanizada para evitar la oxidación con el agua, solución nutritiva que riega a las plantas y humedad del ambiente. La forma, en la parte inferior, de cada una de las canaletas es triangular con la finalidad de guiar el fluido hacia el desagüe evitando su estancamiento, reducir el diámetro del hexágono y que la parte aérea de las plantas no rebase 30 cm de altura para evitar el rose de la hojas con el filo de las canaletas. Las dimensiones de las canaletas son: largo = 2.00 m, alto = 0.25 m y ancho = 0.30 m. Para crear un conducto libre se colocó una tira de plástico con perforaciones para filtrar el sustrato y sólo dejar pasar el fluido (Figura 12). Dichas canaletas tienen una capacidad de carga de 60 kg por cada una y tienen un volumen de 60 dm³.



Figura 12. Canaleta triangular de acero inoxidable.

Sistema de control de giro

Se integra por un motor de corriente alterna de 1/50 HP reversible, una caja reductora de velocidad del tipo angular y dos catarinas más cadena. Los giros deben ser suaves y por ello el empleo de una caja reductora, además de que ésta aumenta el par de giro (Figura 14).

Es importante especificar que entre cada giro hay un tiempo de espera definido por el usuario y que se puede cambiar desde el panel frontal del gabinete.

Con la finalidad de que las mangueras que proveen de agua o solución nutritiva al sistema no se enreden, el hexágono tiene límites de giro de $\pm 180^\circ$ (sentido horario y antihorario). Los elementos que definen los límites son sensores colocados sobre el brazo (lado izquierdo) de la base.

Elementos sensores de final de carrera

Son de dos tipos: inductivo e interruptor (Figura 13). El sensor inductivo tiene la característica de que son libres de mantenimiento y son los elementos que detectan los límites de giro y envían la señal al gabinete de control para cambiar el sentido de giro del revólver. El sensor de tipo interruptor es un elemento de seguridad para el caso de que la energía eléctrica llegue a fallar y uno de los sensores inductivos no detecte el límite de giro.

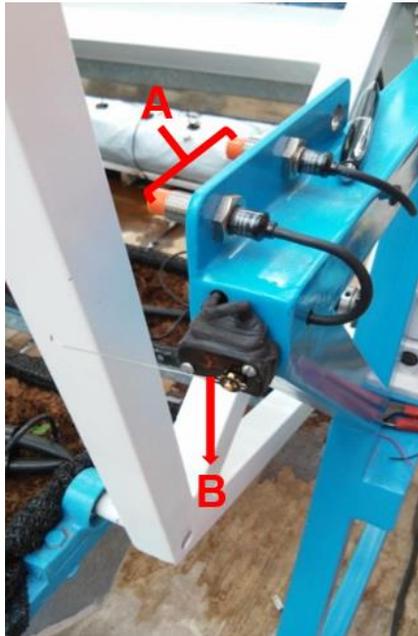


Figura 13. Elementos sensores de final de carrera. A: Sensor inductivo; B: Sensor de tipo interruptor.

Gabinete de control

Este sistema se encarga de energizar el motor para realizar los giros de acuerdo a las señales emitidas por los sensores. Se compone de una fuente de alimentación, una tarjeta electrónica embebida, contactores y un módulo de relevadores. La tarjeta embebida contiene el programa con la lógica que define el modo de operación del sistema. En la parte frontal del gabinete se tiene un interruptor general, cuatro indicadores tipo led y dos botones tipo “push button”.

Tres de los cuatro indicadores especifican el tiempo de espera entre cada giro. Mediante el accionamiento de los botones se puede incrementar/decrecer en intervalos de 5 minutos los tiempos de espera. El rango especificado desde la programación de la tarjeta va desde un tiempo mínimo de 5 minutos y un máximo de 35 minutos (Figura 14).

Paro de emergencia

Además del interruptor general, se cuenta con un botón de tipo hongo de fácil acceso para detener el sistema si alguna eventualidad se presentase (Figura 14).



Figura 14. A: Gabinete de control; B: Paro de emergencia.

Desagüe

Es un desagüe mecánico constituido por seis tubos de PVC de 1" y una longitud de 15 cm, tapados por uno de sus extremos y dos topes colocados en la base del sistema (Figura 15). La forma de operación consiste en que el drenado de las canaletas se deposite en el tubo y en cada uno de los giros del revólver el tubo se vacíe. Los topes tienen el efecto de voltear los tubos en cada giro (equivalente a voltear un vaso lleno de agua). El líquido que se desaloja de los tubos se guía por medio de dos canales hacia un depósito que está en la parte inferior del revólver.



Figura 15. Desagües mecánicos (tubos y topes).

Sistema de Riego

En cada vértice del hexágono existen orificios que conectan la parte externa con la interna, por donde pasa la manguera de 16 mm de diámetro, en la parte exterior la forma del sistema de riego es circular, tiene 6 “T” conectadas con manguera siega equidistantemente para que coincidan con cada uno de los orificios, de cada conexión sobrante de las “T” en la parte interna se implementó un conector giratorio (para que no se enrede la manguera con cada giro del sistema) posterior a este se colocó la manguera siega de 2 m de longitud en la cual van insertos 5 goteros autocompensables (gasto de 8 L h^{-1}) cada uno con su cruceta para conectar 4 tubines (de 30 cm de longitud) con sus respectivas piquetas (Figura 16).

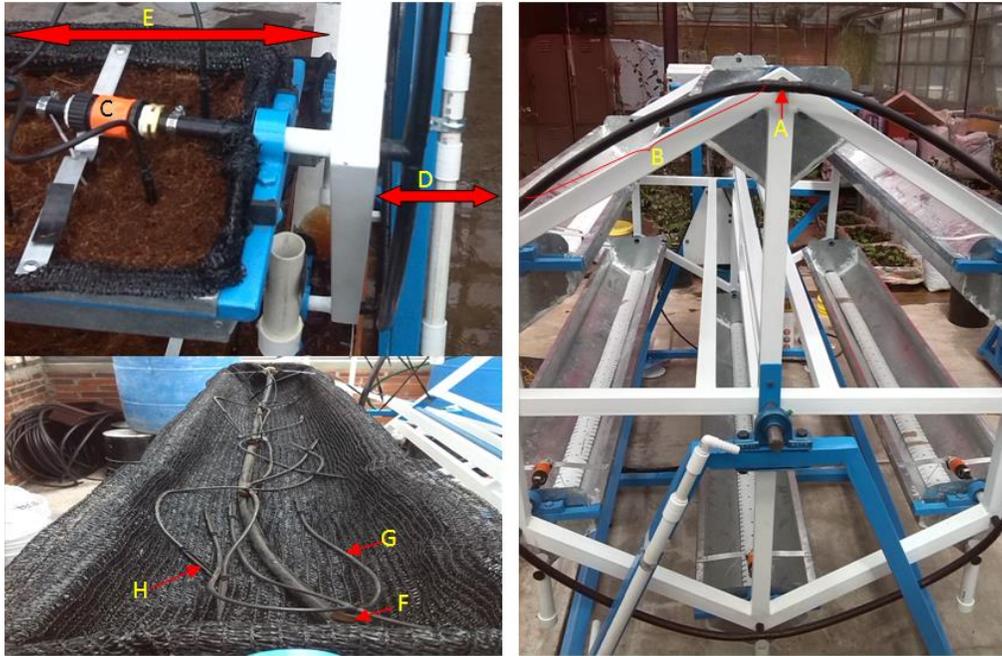


Figura 16. Sistema de riego. A: “T”; B: ducto ciego; C: conector giratorio; D: parte exterior del hexágono; E: parte inferior del hexágono; F: gotero; G: tubin y H: piqueta.

RESULTADOS

Se logró optimizar el espacio dentro del invernadero ya que se produjo en m^3 , se triplicó la densidad de población, se logró recircular la solución nutritiva y ahorrar agua en un 29 % comparado con un sistema hidropónico convencional y se logró homogenizar la luminosidad que recibían las plantas de fresa.

Los resultados sobre el desarrollo, crecimiento y comportamiento fisiológico de las plantas de fresa en el SHCR se discutirán en los artículos subsiguientes de la tesis:

1. “Evaluación y comportamiento agronómico de tres variedades de fresa en un sistema hidropónico innovador tipo revolver”.
2. “Evaluación fisiológica del cultivo de fresa en un sistema hidropónico cerrado tipo revolver”.

CONCLUSIONES

Se construyó un prototipo para la producción intensiva de fresa en hidroponía, denominado tipo revólver, aprovechando el espacio vertical y horizontal del invernadero.

LITERATURA CITADA

- Dhakal, U., Salokhe, V. M., Tantau, H. J. and Max, J. (2005). Development of a greenhouse nutrient recycling system for tomato production in humid tropics. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript BC 05 008. Vol. VII. October, 2005.
- Dasgan, H. Y. and Ekici, B. (2005). Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. *Acta Hort. (ISHS)* 697:399-408.
- Flores, E. (2008). Comportamiento Fisiológico, rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo "Raices 150", Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 75p.
- Okano, K., Sakamoto, Y. and Watanabe, S. (2000). Reuse of drainage water for the production of high quality fruits in single-truss tomato grown in a closed hydroponic system. *Acta Hort. (ISHS)* 511:277-288
- Ramírez, H. (2011). Sistema de producción de fresa de altas densidades. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 75p.
- Raya, V., Díaz, M.A., Mansito, P., Socorro, A.R. and Cid, M.C. (2005). Recirculating nutritive solution in soilless culture of rose using saline alkaline water. *Acta Hort. (ISHS)* 697:33-41
- Urrestarazu, G. M. (2000). Manual de cultivos sin suelo. Universidad de Almería, Servicio de publicaciones. Grupo Mundi-Prensa. 203-204 pp.

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE TRES VARIETADES DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO INNOVADOR TIPO REVÓLVER

AGRONOMICAL EVALUATION OF THREE STRAWBERRY VARIETIES IN AN INNOVATIVE HYDROPONIC SYSTEM REVOLVER TYPE

Luis Alberto Olvera-Cruz¹, Prometeo Sánchez-García¹, Luis René Sagredo-Hernández², Manuel Sandoval-Villa¹, Libia Trejo-Téllez¹ y Gabriel Ernesto Alcántar-González¹.

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO.

*Email: promet@colpos.mx, tel. (595) 951 01 98

²Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Calle Dr. García Diego #168, Del. Cuauhtémoc, Col. Doctores, Ciudad de México, C.P. 06720, MÉXICO.

RESUMEN

Se estableció un experimento para evaluar el comportamiento agronómico en fresa con un sistema hidropónico cerrado tipo revólver (SHCR) y un sistema hidropónico abierto convencional (SHAC) y tres genotipos de fresa (Safari, Albión y Monterey) con un arreglo factorial 2 X 3 y 6 repeticiones. Se determinó la altura de planta (AP), diámetro de la corona (DC), número de hojas por planta (NHP), sólidos solubles totales de la corona (°Brix), materia seca total (MST), volumen de raíces (VR), área foliar (AF) y eficiencia en el uso del agua (EUA). Los resultados mostraron que las plantas del SHCR presentaron los mejores valores para AP, DC, NHP, MST, VR y AF, en comparación con el SHAC. Las variedades de fresa Safari y Monterey mostraron mayor AP, DC, NHP, MST, VR y AF, con relación a la variedad Albión. El mejor tratamiento se presentó con la combinación variedad Safari y SHCR para todas las variables evaluadas.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa*; fibra de coco; sistema hidropónico cerrado.

ABSTRACT

An experiment was carried to evaluate the agronomic response of strawberry in a closed hydroponic system revolver type (CHSR) and a conventional open hydroponic system (COHS) and three genotypes of strawberry (Safari, Albion and Monterey) with a factorial arrangement 2 x 3 and 6 replications. Plant height (PH), crown diameter (CD), number of leaves per plant (NLP), soluble total solids of crown ($^{\circ}$ Brix), total dry matter (TDM), root volume (RV), leaf area (LA) and water use efficiency (WUE) were determined. The results showed that the CHSR presented the best and significant values for PH, CD, NLP, TDM, RV, and LA, compared with COHS. Strawberry varieties Safari and Monterey showed the highest data for PH, CD, NLP, TDM, RV, and LA in comparison to Albion variety. The best treatment was presented with the variety Safari in the combination with CHSR for all evaluated variables.

Key words: *Fragaria x ananassa*; coir fiber; closed hydroponic system.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa*), es una planta octoploide y un híbrido obtenido de la combinación de *Fragaria virginiana* (Estados Unidos) y *Fragaria chiloensis* (Chile) (Benavides *et al.*, 2007; Flórez y Mora, 2010). A nivel mundial de los 76 países productores de fresa, nueve son los principales como Estados Unidos con 57.7 t ha⁻¹, México (44.6 t ha⁻¹), Grecia (44.3 t ha⁻¹), Egipto (43.3 t ha⁻¹), Marruecos (41.1 t ha⁻¹), Costa Rica (40.4 t ha⁻¹), Israel (40.1 t ha⁻¹), España (39.0 t ha⁻¹) y Colombia (35.4 t ha⁻¹), encontrado a México en la segunda posición (FAOSTAT, 2013). En México el principal productor de fresa es Baja California con 64.1 t ha⁻¹ seguido por Aguascalientes y Michoacán (49.4 y 44.0 t ha⁻¹, respectivamente), la producción nacional es 372.65 t y estos tres estados ocupan el 42.3 % (SIAP, 2014).

La necesidad de incrementar la producción agrícola en México en donde se requiere de mayor superficie por habitante y productor, el recurso hídrico es escaso, las heladas, inundaciones, granizo, plagas y enfermedades dañan al cultivo; donde frecuentemente se

presentan problemas con salinidad, topografía accidentada y pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica, es necesario el uso de sistemas de producción intensivos basados en la hidroponía y el uso de cubiertas (invernaderos, macro y microtúneles y malla sombra) sistemas que aumenten la producción por unidad de superficie, incrementar la calidad y cantidad de los productos y obtener varias cosechas por año (Sandoval y Brizuela, 2002). Por lo anterior la implementación del sistema hidropónico cerrado tipo revólver dentro de un invernadero ayuda a contrarrestar la problemática, cuidando el agua por medio de la recirculación, aumentando la densidad de población y el rendimiento, produciendo plantas y frutos de mejor calidad e inocuos y disminuyendo el impacto ambiental.

Además, es importante seleccionar la variedad de fresa acorde al clima presente en la región y en función de su fotoperiodo, esto se refleja en la cantidad de horas luz que requieren para iniciar la etapa vegetativa o floración. Los cultivares Camarosa, Camino Real, Mojave, Palomar y Ventana se clasifican de día corto y de día neutro Seascap, Selva, Tribute, Tristar, Albión, San Andreas, Portola y Monterrey (Flórez y Mora, 2010; Strawberry Plants, 2012). Las variedades de día corto sólo florecen cuando hay menos de 12 a 13 horas de luz en el día, las de día largo cuando las horas de luz exceden las 12 horas, mientras que las variedades de día neutro florecen sin importar el número de horas expuestas a la luz (Larson, 2000). En general, se conoce que el crecimiento vegetativo es favorecido por días largos y altas temperaturas y el crecimiento reproductivo por días cortos y bajas temperaturas en variedades de día corto, mientras que en variedades de día neutro, el fotoperiodo no limita ni induce la floración (Guttridge, 1985).

La fresa es una especie tipo C3, favoreciéndole temperaturas óptimas entre 15 °C - 28 °C para su crecimiento (Maroto y López, 1988; Hancock, 1999). En la etapa vegetativa de la fresa es altamente resistente a heladas, llega a tolerar temperaturas de hasta -20 °C, en el caso de los órganos florales quedan destruidos con valores de 0 °C (Maroto y López, 1988).

Como objetivo del presente trabajo se planteó evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de fresa producido en un sistema de producción cerrado tipo revolver y en un sistema hidropónico abierto convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de cristal ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, el cual se encuentra en las siguientes coordenadas: 19°29' N y 98°54' O, a 2,250 m de altitud.

El ensayo constó de dos sistemas hidropónicos: sistema hidropónico cerrado tipo revólver (SHCR) y sistema hidropónico abierto convencional (SHAC) y tres variedades de fresa: Safari (S), Albión (A) y Monterey (M) con un arreglo factorial 2 X 3 con 2 repeticiones y 6 submuestras.

Las variedades de fresa seleccionadas para el estudio son de día neutro, las cuales se caracterizan por tener un amplio periodo de floración ya que tiene menos sensibilidad a los factores externos como el fotoperiodo y la temperatura, aumentando su periodo de fructificación (Strassburger *et al.*, 2010).

Sistema hidropónico cerrado tipo revólver

El SHCR está constituido por seis canaletas con 60 L de volumen cada una, en las cuales se colocó 42 L de fibra de coco como sustrato. En cada canaleta se establecieron 18 plantas de fresa de forma aleatorizada, seis de cada variedad, con lo cual se obtuvieron 108 plantas en total, por prototipo, en un área de 3 m².

Con el objeto de que todas las plantas recibieran la misma cantidad y calidad de luz natural, se programó el giro del revólver con 180° a la derecha y 180° a la izquierda, cada 15 minutos. El SHCR consta de un sistema de drenaje para recolectar la solución nutritiva, la cual se desinfectó con peróxido de hidrógeno (1 mL L⁻¹) y se ajustó químicamente cada semana de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo y las condiciones climáticas (Figura 17).



Figura 17. Sistema hidropónico cerrado tipo revólver.

Sistema hidropónico abierto convencional (SHAC)

El SHAC cuenta con sacos de cultivo con 20 L de fibra de coco como sustrato, la misma que se usó para el SHCR y en cada uno se colocaron 6 plantas de fresa (dos de cada variedad), con lo cual se obtuvo 36 plantas en total, en un área de 3 m² (Figura 18). En este caso la solución nutritiva no se recuperó.



Figura 18. Sistema hidropónico abierto convencional.

Los riegos se hicieron conforme a la demanda de agua diaria de la planta en función del clima y etapa fenológica del cultivo, con un drenaje menor al 10 %.

Para evaluar la eficiencia agronómica de las variedades de fresa en ambos sistemas hidropónicos se determinaron las siguientes variables en la etapa vegetativa a los 93 DDT.

Altura de planta (AP). Se midió con una cinta métrica tomando en cuenta donde termina la superficie del sustrato hasta la hoja más alta que presentaba la planta.

Diámetro de corona (DC). Se midió el diámetro en la parte media de la corona con una cinta métrica.

Número de hojas por planta (NHP). Se contabilizaron al final del experimento, sin involucrar el número de coronas, ni las hojas en senescencia.

Sólidos solubles totales de corona (°Brix). Al final del experimento se midieron grados Brix, en la corona con mayor diámetro, con un refractómetro de mano Atago® modelo ACT-1E con una a dos gotas de jugo y el resultado se expresó como porcentaje de sólidos solubles.

Materia seca total (MST). Se seccionó la planta en hojas, raíces y corona, posteriormente se secaron por separado con la ayuda de una estufa de aire forzado, que estuvo a 74 °C y permanecieron ahí por 72 h para su posterior pesaje con una balanza digital marca Ohaus®.

Volumen de raíces (VR). Se midió por desplazamiento de agua con una probeta de cristal de 1 L, se agregó agua hasta un volumen de 800 mL, posteriormente se sumergió la raíz (previamente lavada) y se registró el volumen final.

Área foliar (AF). Se efectuó una medición destructiva de la planta y se separaron las hojas de las coronas para determinar el AF mediante un integrador de área foliar LI-COR 1300C.

Eficiencia en el uso de agua (EUA). Se realizó contabilizando cuantos litros de agua se utilizaron para producir un gramo de materia seca.

Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las interacciones variedad y sistema de producción, la AP indica que hay un comportamiento diferente entre variedades y los sistemas de producción ($P < 0.0172$ y 0.0013 , respectivamente), para la interacción variedad*sistema no existieron diferencias ($P=0.1661$) (Cuadro 3).

Existieron diferencias para la AP en cuanto al sistema de producción, siendo superior el SHCR con 21.1 % en comparación con el SHAC (Cuadro 3). La variedad Monterey obtuvo la mayor AP (9.52 cm) en contraste con Safari y Albión (Cuadro 3). Las medias de las combinaciones de S*SHCR y M*SHCR fueron diferentes y superiores al resto de las combinaciones, en particular la S*SHAC y A*SHAC presentaron los valores más bajos (7.07 y 6.67 cm, respectivamente) (Cuadro 3).

Los datos de AP presentados en la presente investigación difieren con los reportados por Jara y Suni (1999), quienes evaluaron diferentes soluciones nutritivas en el cultivo de fresa variedad Chandler a los 90 DDT y encontraron una AP promedio de 12.43 cm.

Las interacciones que son significativas para el DC son los sistemas de producción ($P=0.0001$), las variedades ($P=0.0283$) y la interacción variedad*sistema ($P=0.0147$), lo que indica que si existieron diferencias debidas a los factores de estudio (Cuadro 3).

El DC fue mayor en el SHCR; este es superior por 0.9 cm respecto a las plantas producidas en el SHAC (Cuadro 3). El mayor DC lo presentó Monterey (20.25 cm) y las de menor valor son Safari (17.98 cm) y Albión (16.25 cm) (Cuadro 3).

Las medias de las combinaciones M producidas en ambos sistemas hidropónicos fueron superiores a el resto de las combinaciones para el DC, la combinación A*SHAC presentó el valor más bajo para el DC (Cuadro 3).

Faby (1997) encontró correlación positiva entre el diámetro de corona y la producción de la planta de fresa y Palencia *et al.* (2010) establecieron una correlación positiva entre el diámetro de corona y el crecimiento vegetativo de la planta de fresa. Este mayor DC en la variedad Monterey en el SHCR justificaría el incremento de capacidad de absorber nutrientes y mejorar la capacidad de la planta para producir fotosintatos y por ello, diversos autores han observado mayor peso de raíces y tallos en estas plantas.

Sin embargo, Cocco *et al.* (2010) determinaron en plantas de fresa que el DC por si no es un descriptor eficiente de la calidad. Esto señala que este parámetro debe ser estudiado junto a otras variables como el número de hojas, tamaño de la planta, °Brix, etc.

Para el NHP se encontraron diferencias entre las interacciones de los factores evaluados ($p < 0.01$) (Cuadro 3) lo que indica que el comportamiento de las variedades, sistema de producción y variedad*sistema fue diferente entre cada uno. El SHCR tuvo en promedio una hoja más que el SHAC (Cuadro 3). La variedad Safari superó a Albión con dos y Monterey con tres hojas por planta (Cuadro 3).

La combinación S*SHCR en el NHP fue superior al resto de las combinaciones, siendo la variedad Monterey producida en ambos sistemas hidropónicos la que obtuvo menor valor (Cuadro 3).

En general, en el experimento se registraron valores de 8.5 hojas por planta en promedio a los 93 DDT. Martínez *et al.* (2016) encontraron 10.7 hojas en promedio para la variedad de fresa Splendor en plantas micorrizadas con *Glomus intraradices* y *Glomus mosseae* a los 60 DDT.

Kepenek y Koyuncu (2002) encontraron que las plantas de fresa expuestas a salinidad redujeron su crecimiento vegetativo en términos de peso fresco y seco de la planta, número de estolones, área foliar, altura de planta, longitud de la raíz principal y número de hojas.

Los grados Brix en corona fueron diferentes solo en la interacción de variedad ($p=0.0086$), la interacciones por variedad y variedad*sistema de producción no presentaron diferencias ($p>0.5$ y 0.1 , respectivamente) (Cuadro 3).

Los grados Brix en corona no presentaron diferencias entre sistemas hidropónicos, los valores oscilaron de 6.5 a 7.5 por ciento de sólidos solubles totales (SST) (Cuadro 3). La variedad Albión fue superior con 1.2 % para Monterey y para Safari con 1.6 % (Cuadro 3).

La combinación que obtuvo mayor valor de SST fue A*SHCR con 7.75 % en contraste con el resto de las combinaciones, la variedad M*SHCR obtuvo el menor porcentaje de SST (Cuadro 3).

Los valores obtenidos en mi investigación están dentro de los rangos de Campos (2016) reportó valores de °Brix en corona de 6.93 a 8.73 en un experimento con diferentes concentraciones de amonio y nitratos de la SN en plantas de fresa variedad Festival a los 108 DDT. La medición de la concentración de azúcares en la corona es muy importante ya que en ésta se encuentran las yemas axilares y los °Brix se relacionan con el vigor de las raíces, floración y nuevas coronas (Barahona y Sancho, 2007).

Wang y Camp (2000) mencionan que el contenido de azúcares solubles es afectado por el estado de maduración, genotipo, origen geográfico y temperatura de crecimiento de la fresa.

Cuadro 3. Efectos principales de factores de estudio y su interacción sobre las variables sobre las variables altura de planta (AP), diámetro de corona (DC), número de hojas por planta (NHP) y sólidos solubles totales de corona (°Brix) en plantas de fresa en la etapa vegetativa a los 93 DDT.

Factor de estudio	AP (cm)	DC (cm)	NHP	°Brix
Variedad	0.0172 *	0.0001 *	0.0001 **	0.0086 **
Sistema	0.0013 *	0.0283 *	0.0069 **	0.5120 NS
Variedad * Sistema	0.1661 NS	0.0147 *	0.0004 **	0.1053 NS
SHCR	9.61 a	18.61 a	6.11 a	6.5 a
SHAC	7.58 b	17.71 b	5.45 b	6.7 a
S	8.55 ab	17.98 b	7.3 a	5.9 b
A	7.71 b	16.25 c	5.9 b	7.5 a
M	9.52 a	20.25 a	4.1 c	6.3 b
S * SHCR	10.04 a	18.83 ab	8.61 a	5.91 ab
S * SHAC	7.07 b	17.13 bc	6.00 b	5.88 ab
A * SHCR	8.75 ab	17.25 bc	5.47 b	7.75 a
A * SHAC	6.67 b	15.25 c	6.34 b	7.20 ab
M * SHCR	10.04 a	19.75 a	4.25 c	5.74 b
M * SHAC	9.00 ab	20.75 a	4.00 c	6.90 ab

Valores con la misma letra dentro de cada columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$; NS=no significativo; SHCR=sistema hidropónico cerrado tipo revólver; SHAC=sistema hidropónico abierto convencional; S=variedad Safari; A=variedad Albión; M=variedad Monterey.

Para MST la interacciones que fueron diferentes son variedad, sistema y variedad*sistema (valores de $p < 0.001$) (Cuadro 4). El sistema de producción que obtuvo mayores valores de MST fue SHCR (5.53 g) en contraste con SHAC (4.52 g) (Cuadro 4).

En MST las mejores variedades fueron Safari y Monterey teniendo una diferencia de 2.5 y 1.94 g, respectivamente comparado con Albión que obtuvo los valores menores (Cuadro 4). La mejor combinación que presentó mayor valor promedio de MST fue la variedad S producida en el SHCR en contraste con el resto de las combinaciones (Cuadro 4).

En general los valores MST en la presente investigación oscilaron entre 7.24 y 3.20 g, estos fueron superiores a lo reportado por Campos (2016) quien reportó valores de MST de 3.15

a 5.27 g en un experimento con diferentes concentraciones de amonio y nitratos en platas de fresa variedad Festival a los 84 DDT y en condiciones climáticas semejantes al presente estudio, Casierra y García (2005) que obtuvieron 2.86 g con una CE de 2.86 dS m⁻¹, la evaluación se realizó en tres variedades (Stweet Charlie, Chandler y Camarosa) durante 150 días después de la brotación y el experimento lo llevaron hasta fructificación.

En el VR existieron diferencias entre las interacciones de los tres factores estudiados con una $p < 0.01$ (Cuadro 4).

El SHCR fue mayor en un 36 % en VR comparado con el SHAC (Cuadro 4). La variedad S presento el mayor valor de VR (16.45 cm³) en contraste con Monterey y Albión con 13.21 y 8.25, respectivamente (Cuadro 4).

La combinación que fue superior al resto de combinaciones fue SHCR (21.67 cm³), este valor supero en un 44 % y 32 % a las combinaciones A*SHCR y A*SHAC, respectivamente, siendo estos últimos los de menor VR (Cuadro 4).

Ortíz *et al.* (2016) compararon el VR en cinco variedades de fresa inoculadas con bacterias promotoras de crecimiento y encontraron que las plantas en el control generaron mayor cantidad de raíces y el VR osciló entre 10.2 y 22.6 cm³ planta⁻¹, estos valores concuerdan con lo reportado en la presente investigación.

Casierra y García (2005) quienes trabajaron con una CE de 2.86 dS m⁻¹ y la evaluación se realizó en tres variedades (Stweet Charlie, Chandler y Camarosa) durante 150 días después de la brotación y el experimento lo llevaron hasta fructificación encontraron que la acumulación de sales en plantas de fresa reduce el vigor, retarda el crecimiento y disminuye la producción de biomasa de raíces.

Para el AF las interacciones que presentaron una $p < 0.01$ tienen diferencia significativa alta en las tres variedades, ambos sistemas de producción y variedad*sistema (Cuadro 4). Se presentó un 12.5 % más de AF en el SHCR en comparación con el SHAC (Cuadro 4). Las

variedades que presentaron mayor AF fueron Safari y Monterey y superaron a Albión con el 40 y 37.2 %, respectivamente (Cuadro 4).

La mejor combinación para AF fue la variedad S producida en el SHCR en contraste con las demás combinaciones y la de menor AF fue A*SHAC (Cuadro 4).

Casierra *et al.* (2011) obtuvieron valores promedio de AF de 527 cm² planta⁻¹ a los 224 DDT en fresa variedad Chandler, en un experimento en donde se evaluaron diferentes calidades de luz. Casierra *et al.* (2008), trabajaron con seis especies frutícolas, entre ellas el cultivo de fresa y reportaron un AF que osciló entre 40 y 110 cm² planta⁻¹, estos valores son inferiores a los reportados en la presente investigación (117 y 263 cm² planta⁻¹).

Según Sahin *et al.* (2005) las buenas condiciones de aireación en el sustrato en el que se desarrollan las plantas de fresa, favorecen el incremento del área foliar, el desarrollo de raíces y la producción y calidad de frutos. Escalante y Kohashi (1993) mencionan que el área foliar se utiliza para denotar la magnitud de la maquinaria fotosintética, la cual es considerada como la principal fuente de fotosintatos para satisfacer la demanda ejercida por órganos vegetativos y reproductivos en crecimiento.

Existieron diferencias altamente significativas en la EUA para la variedad y sistema ($p=0.0001$) y para la variedad*sistema ($p<0.01$) (Cuadro 4). El SHCR obtuvo mayor EUA con un 42.4 % en comparación con el SHAC (Cuadro 4). La variedad Safari obtuvo una EUA de 0.66 g de materia seca por litro de agua, siendo esta la de mayor valor comparado con el resto de las variedades (Cuadro 4). La combinación con mayor EUA fue S*SHCR en contraste con el resto de las combinaciones.

Lo anterior se explica porque en el SHAC se utilizaron 11.84 L de agua por planta y SHCR se utilizaron 8.34 L, ambos valores son durante el periodo de evaluación, esto se refleja debido a que el SHCR ahorró el 29.56 % de agua por planta y el porcentaje de peso de MST de la planta se fue superior con el 22 % en comparación con la producción de plantas en el SHAC.

Cuadro 4. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables materia seca total (MST), volumen de raíz (VR), área foliar (AF) y eficiencia en el uso del agua (EUA) en plantas de fresa en la etapa vegetativa a los 93 DDT.

Factor de estudio	MST (g planta ⁻¹)	VR (cm ³ planta ⁻¹)	AF (cm ² planta ⁻¹)	EUA (g de materia seca L de agua ⁻¹)
Variedad	0.0001 **	0.0003 **	0.0001 **	0.0001 **
Sistema	0.0019 **	0.0003 **	0.0111 **	0.0001 **
Variedad * Sistema	0.0057 **	0.0087**	0.0136 **	0.0033 **
SHCR	5.53 a	15.42 a	214.50 a	0.66 a
SHAC	4.52 b	9.86 b	187.60 b	0.38 b
S	6.05 a	16.45 a	237.70 a	0.64 a
A	3.55 b	8.25 c	140.92 b	0.36 c
M	5.49 a	13.21 b	224.53 a	0.56 b
S * SHCR	7.24 a	21.67 a	263.74 a	0.87 a
S * SHAC	4.87 bc	11.25 bc	211.67 bc	0.41 cd
A * SHCR	3.89 cd	9.59 c	164.73 cd	0.47 c
A * SHAC	3.20 d	7.00 c	117.11 d	0.27 d
M * SHCR	5.47 b	15.09 b	215.03 abc	0.66 b
M * SHAC	5.50 b	11.34 bc	234.04 ab	0.47 c

Valores con la misma letra dentro de cada columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$; NS=no significativo; SHCR=sistema hidropónico cerrado tipo revólver; SHAC=sistema hidropónico abierto convencional; S=variedad Safari; A=variedad Albión; M=variedad Monterey.

CONCLUSIONES

El sistema hidropónico cerrado tipo revólver presentó los mejores valores para altura de planta (AP), diámetro de corona (DC), número de hojas por planta (NHP), materia seca total (MST), volumen de raíz (VR) y área foliar (AF), en comparación con el sistema hidropónico abierto convencional. Las variedades de fresa Safari y Monterey mostraron los mejores resultados para AP, DC, NHP, MST, VR y AF, con relación a la variedad Albión. El mejor tratamiento se presentó con la combinación variedad Safari y sistema hidropónico cerrado tipo revólver para todas las variables evaluadas.

LITERATURA CITADA

- Barahona, M. and Sancho, E. (2007). Manzana, melocotón, fresa y mora (Fruticultura especial, fascículo 6) 1ª reimpression de la 1ª edición. San José de Costa Rica. EUNED.
- Benavides, A., Cisne, J. and Laguna, R. (2007). Fertilización orgánica sobre tres genotipos de fresa (*Fragaria* spp.) en las sabanas, Madriz. Revista Científica de la Universidad Nacional Agraria, 8:54-68.
- Campos, T., Sánchez, P., Alcántar, G. E. and Calderón G. (2016). Respuesta agronómica y nutrimental de fresa a soluciones nutritivas con diferente relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7: 599-606.
- Casierra-Posada, F. and García, N. (2005). Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. Agronomía Colombiana, 23: 83-89.
- Casierra-Posada, F., Peña, Z., Ricardo, G. and Peña, J. E. (2008). Indirect estimation of leaf area in *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) LH Bailey and *Ficus carica* L. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica, 11: 95-102.
- Casierra-Posada, F., Peña, J. E. and Ulrichs, C. (2011). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) afectadas por la calidad de la luz: Implicaciones agronómicas. Rev. UDCA Act. and Div. Cient, 14: 43-53.
- Cocco, C., Andriolo, J. L., Erpen, L., Cardoso, F. L. and Casagrande, G. S. (2010). Development and fruit yield of strawberry plants as affected by crown diameter, and plantlet growing period. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 45: 730-736.
- Escalante, J. and Kohashi, S. (1993). El rendimiento y crecimiento del frijol. *Manual para la toma de datos*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Faby, R. (1997). The productivity of graded "Elsanta" frigo plants from different origin. Acta Horticulturae, 439: 449-455.

- Flórez, R. and Mora, R. (2010). Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) producción y manejo post cosecha. (Primera ed.). Bogotá: Produmedios, p 114.
- Guttridge, C. G. (1985). *Fragaria x ananassa*. In: CRC Handbook of flowering, Vol 3. (Halevy A., Ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida. pp 16-33.
- Hancock, J. (1999). Strawberries. Crop Production Science in Horticulture Series. CABI Publishing, Wallingford, 11: 90- 109.
- Jara, E. and Suni, M. (1999). Evaluación de soluciones nutritivas para el cultivo de "fresa" *Fragaria x ananassa*. Rev.Peru. Biol.1: 61-67.
- Kepenek, K. and Koyuncu, F. (2002). Effect of salt expression of resistance in some domestic foreign strawberry cultivars. Acta Horticulturae, 573: 289-295.
- Larson, D. K. (2000). Comportamiento y manejo de la fresa: desarrollo de programas para máxima calidad y rendimiento en México. In: Memoria del simposio internacional de fresa. J. Z. Castellanos y F. Guerra O. Hart (eds). Zamora, Michoacan, México.
- Maroto, J. V. and López, G. S. (1988). Producción de fresas y fresones. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España.
- Martínez, F., Palencia, P. and Weiland, C. (2016). Evaluación del modo de inoculación de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) en cultivo sin suelo con los hongos micorrizógenos *Glomus intraradices* y *Glomus mosseae* y su influencia sobre el crecimiento de la planta. Actas de Horticultura, 58: 99-103.
- Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAOSTAT, 2013). <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. Consultado el 15 de mayo de 2016
- Ortiz, J. A., Martínez, J. D., Rodríguez, M. d. and Calderón, G. (2016). Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. Terra Latinoamericana, 34: 177-185.
- Palencia, P. M., Ribeiro, E., Pestana, M., Gama, F., Saavedra, T. and Correia, P. J. (2010). Relationship between tipburn and leaf mineral composition in strawberry. Scientia horticulturae, 126: 242-246.

- Sahin, U., Ors, S., Ercisli, S., Anapali, O. and Esitken, A. (2006). Effect of pumice amendment on physical soil properties and strawberry plant growth. *Journal of Central European Agriculture*, 6: 361-366.
- Sandoval V. M. y Brizuela A. P. (2002). *Horticultura intensiva de invernaderos*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México, México.
- SAS Institute Inc. (1999). *SAS/AF Software: FRAME Entry Usage and Reference, Version 8*, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2014), <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultado el 10 de mayo de 2016.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: *Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture*.
- Strassburger, A., Nogueira, R., Ernani, J., Barbosa, C., De Souza, D. and Buchweitz, J. (2010). Crescimento e produtividade de cultivares de morangueiro de "dia neutro" em diferentes densidades de plantio em sistema de cultivo orgânico. *Bragantia*, 69: 623-630.
- Strawberry Plants. (2012). Recuperado el 22 de Marzo de 2016, de *Strawberry Varieties*. Introduction to the Strawberry varieties page. Spreading the Passion for Strawberry Plant: <http://strawberryplants.org/2010/05/strawberry-varieties/>
- Wang, S. and Camp, M. (2000). Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *J. Hortic. Sci.*, 85: 183-199.

EVALUACIÓN FISIOLÓGICA DEL CULTIVO DE FRESA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO CERRADO TIPO REVÓLVER

PHYSIOLOGICAL EVALUATION OF STRAWBERRY IN A CLOSED HYDROPONIC SYSTEM REVOLVER TYPE

Luis Alberto Olvera-Cruz¹, Prometeo Sánchez-García¹, Luis René Sagredo-Hernández²,
Manuel Sandoval-Villa¹, Libia Trejo-Téllez¹ y Gabriel Ernesto Alcántar-González¹.

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Carretera México-Texcoco km 36.5,
Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO.

*Email: promet@colpos.mx, tel. (595) 951 01 98

²Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Calle Dr. García Diego #168, Del.
Cuauhtémoc, Col. Doctores, Ciudad de México, C.P. 06720, MÉXICO.

RESUMEN

Se estableció un ensayo para evaluar el comportamiento fisiológico de fresa en un sistema hidropónico cerrado tipo revólver (SHCR) y un sistema hidropónico abierto convencional (SHAC) y tres genotipos de fresa (Safari, Albión y Monterey) con un arreglo factorial 2 X 3 y 2 repeticiones con 6 submuestras. Se determinó asimilación de CO₂ (ACO₂), conductancia estomática (CES), concentración intracelular de CO₂ (Ci), transpiración (TR), déficit de presión de vapor (DPV), temperatura de la hoja (TH) y humedad relativa de la hoja (HRH) en las plantas de fresa a los 73 y 93 días después del trasplante (DDT). Los resultados mostraron que el SHCR presentó los mejores valores para ACO₂, CES y TR, en comparación con el SHAC. La variedad Monterey mostró los datos más favorables para ACO₂ y CES, con relación a las variedades Albión y Safari. El mejor tratamiento para las variables ACO₂ y CES se presentó con la combinación Monterey y SHCR.

Palabras clave: Asimilación de CO₂; conductancia estomática; déficit de presión de vapor.

ABSTRACT

An essay was established to evaluate the physiological response of strawberry in a closed hydroponic system revolver type (CHSR) and a conventional open hydroponic system (COHS) and three genotypes of strawberry (Safari, Albion and Monterey) with a factorial arrangement 2 x 3 and 2 replications with 6 subsamples. CO₂ assimilation (CO₂A), stomata conductance (STC), intracellular concentration of CO₂ (Ci), transpiration (TR), vapor deficit pressure (VDP), leaf temperature (LT) and leaf relative humidity (LRH) in strawberry plants were determined at 73 and 93 days after transplant. The results showed that the CHSR presented the best and significant values for PHS, STC and TR, compared with COHS. The strawberry variety Monterey showed the highest values for CO₂A and STC in relation to Albion and Safari varieties. The best treatment was found with the variety Monterey in combination with CHSR for PHS and STC.

Key words: Photosynthesis; stomata conductance; vapor deficit pressure.

INTRODUCCIÓN

En el cultivo de fresa la temperatura óptima parece variar según la especie y las condiciones climáticas. En plantas de *Fragaria vesca* L. mantiene una temperatura de 10 °C durante el día y 2 °C durante la noche y muestra un pico en la temperatura de 15-20 °C, para el caso de *F. virginia* Duch., se aclimatan rápidamente a altas temperaturas de 25-30 °C (Dale y Luby, 1990).

La temperatura óptima para la fotosíntesis ocurre cerca de su temperatura normal de crecimiento de muchas plantas, que muestran una aclimatación (Berry y Björkman, 1980; Yamori *et al*, 2005). Muchos factores influyen en la fotosíntesis como son el agua, dióxido de carbono, luz, nutrimentos y temperatura, así como la edad y la genética del vegetal, pero el factor que afecta más a la fotosíntesis es la disponibilidad de agua (Salisbury y Croos, 1992).

El valor de la concentración intracelular de CO_2 (C_i) es un reflejo de la conductancia estomática (CES), en relación con la actividad fotosintética (A). Si C_i es alta, la CES es grande en relación con A, en este proceso ocurre que mucho del isotopo $^{13}\text{CO}_2$ que es discriminado por Rubisco se difunde de nuevo a la atmósfera. Si C_i es baja, entonces relativamente más del $^{13}\text{CO}_2$ es acumulado y se fija por Rubisco, por lo tanto el proceso general de la fotosíntesis es menor (Lambers, 2008).

Cuando los estomas están abiertos, la proceso de transpiración enfría una hoja, pero cuando los estomas están cerrados, el enfriamiento por transpiración ya no es posible, a causa de la relación entre la temperatura de la cubierta y CES (Jones, 2004).

La (CES) determina en gran medida la pérdida de agua por transpiración de la hoja y también influye en la asimilación fotosintética y por lo tanto en el rendimiento. Por ello la CES es útil para detectar genotipos en los programas para mejorar el rendimiento o la EUA (Gutierrez *et al*, 2000). Los cultivares con baja CES pueden mostrar alta eficiencia de uso del agua (EUA) en condiciones de sequía, pero en condiciones óptimas un bajo CES puede resultar en bajo vigor (Grant *et al.*, 2012).

En base a lo anterior es importante el monitoreo conjunto de la variables fisiológicas, para corroborar el comportamiento interno en que se encuentran las plantas y poder evaluar si un sistema de producción favorece o afecta el desarrollo óptimo de la planta, acorde a esto se propuso el siguiente objetivo: evaluar el comportamiento fisiológico de tres variedades de fresa en dos sistemas de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de cristal ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México, el cual se encuentra en las siguientes coordenadas: 19° 29' N y 98° 54' O, a 2,250 m de altitud.

El ensayo constó de dos sistemas hidropónicos: sistema hidropónico cerrado tipo revólver (SHCR) y sistema hidropónico abierto convencional (SHAC,) y tres genotipos de fresa: Safari (S), Albión (A) y Monterey (M) con un arreglo factorial 2 X 3 y 6 repeticiones.

Las variedades de fresa seleccionadas para el estudio son de día neutro, las cuales se caracterizan por tener un amplio periodo de floración ya que tiene menos sensibilidad a los factores externos como el fotoperiodo y la temperatura, aumentando su periodo de fructificación (Strassburger *et al.*, 2010).

Sistema hidropónico cerrado tipo revólver

El SHCR está constituido por seis canaletas con 60 L de volumen cada una, en las cuales se colocó 42 L de fibra de coco como sustrato. En cada canaleta se establecieron 18 plantas de fresa de forma aleatorizada, seis de cada variedad, con lo cual se obtuvo 108 plantas en total, por prototipo, en un área de 3 m².

Con el objeto de que todas las plantas recibieran la misma cantidad y calidad de luz natural, se programó el giro del revólver con 180° a la derecha y 180° a la izquierda, cada 15 minutos. El SHCR consta de un sistema de drenaje para recolectar la solución nutritiva, la cual se desinfectó con peróxido de hidrogeno (1 mL L⁻¹) y ajustó químicamente cada semana de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo y las condiciones climáticas (Figura 19).



Figura 19. Sistema hidropónico cerrado tipo revólver.

Sistema hidropónico abierto convencional (SHAC)

El SHAC cuenta con sacos de cultivo con 20 L de fibra de coco como sustrato, la misma que se usó para el SHCR y en cada uno se colocaron 6 plantas de fresa (dos de cada variedad), con lo cual se obtuvo 36 plantas en total, en un área de 3 m² (Figura 20). En este caso la solución nutritiva no se recuperó.



Figura 20. Sistema hidropónico abierto convencional.

Los riegos se hicieron conforme a la demanda de agua diaria de la planta en función del clima y etapa fenológica del cultivo, evitando un drenaje mayor al 10 %.

Para evaluar el comportamiento fisiológico de las variedades de fresa en ambos sistemas hidropónicos se determinó la asimilación de CO₂ (A CO₂), conductancia estomática (CES), concentración intracelular de CO₂ (C_i), transpiración (TR), déficit de presión de vapor (DPV), temperatura de la hoja (TH) y humedad relativa de la hoja (HRH) en las plantas de fresa a los 73 y 93 días después del trasplante (DDT) con un analizador de gases en el espectro infrarrojo (IRGA) modelo LI-COR 6400, en 10 hojas jóvenes completamente expandidas seleccionadas al azar.

Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias altamente significativas para asimilación de CO₂ (A CO₂) en la interacciones por variedad, sistema y sistema*variedad con una p<0.01 para todos los factores, a los 73 y 93 DDT (Cuadro 5).

El sistema de producción que fue superior en ACO₂ es el SHCR con 22.7 % (73 DDT) y con 29.2 % (93 DDT) en contraste con el SHAC (Cuadro 5). El mayor valor de ACO₂ se presentó en la variedad Monterey en ambas fechas de muestreo, seguido de Ssafari y Albión (Cuadro 5). La mejor combinación a los 73 DDT para ACO₂ fue la M*SHCR con respecto al resto de las combinaciones, siendo la de menor valor la S*SHAC, para los 93 DDT las mejores combinaciones fueron las tres variedades producidas en el SHCR con valores de 21.53 a 24.82 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ (Cuadro 5).

Martínez (2014), quien trabajo con diferentes concentraciones de cadmio en la variedad A, encontró que la respuesta de la fotosíntesis a la luz en plantas control mostró un aumento hasta aproximadamente 1300 μmol. Cerca al punto donde la fotosíntesis está limitada por la luz y comienza la limitación por carboxilación de la rubisco (Jodlowska y Latala, 2012). La fotosíntesis máxima en el trabajo de Martínez (2014) se presentó alrededor de 1500 μmol

($20.26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), después de esta luminosidad comenzó a disminuir el valor de la fotosíntesis.

Hancock (1999) encontró rangos de fotosíntesis entre los 15 a $25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el cultivar de fresa *Fragraria x ananassa* Duch., cultivada en campo, en *Fragaria virginia* de 7 a $15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y en *Fragaria chiloensis* de 20 a $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, estos rangos no son obtenidos en las mismas condiciones ambientales. Los rangos anteriores de ACO_2 concuerdan con lo encontrado la presente investigación.

La CES fue afectada a los 73 DDT por la variedad ($p=0.0177$) y variedad*sistema ($p=0.0327$), a los 93 DDT fueron por variedad ($p<0.05$) y sistema ($p<0.01$) (Cuadro 5).

En la CES a los 73 DDT no existieron diferencias con valores de 0.22 a $0.24 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, solo se encontraron diferencias a los 93 DDT entre los sistemas de producción siendo superior el SHCR con el 25 % en contraste con el SHAC. La variedad que resultó superior al resto de las variedades para la CES fue Monterey con $0.26 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (73 DDT) y $0.23 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (93 DDT) (Cuadro 5).

A los 73 DDT la combinación que fue mayor en la CES es M*SHCR y la de menor valor fue A*SHAC, a los 93 DDT las tres variedades producidas en el SHCR resultaron ser tres combinaciones superiores al resto que fueron producidas en el SHCA (Cuadro 5).

Flores (2008) reportó valores de CES de 0.05 a $0.21 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para la variedad Aromas, estos datos son ligeramente menores a los encontrados en la presente investigación para los diferentes tratamientos.

La reducción en la conductancia estomática ocasiona una reducción en la toma de CO_2 lo que disminuye la tasa de fotosíntesis (Gouia *et al.*, 2003). Adicionalmente, el CO_2 que alcanza a ser tomado por la planta presenta una difusión limitada hacia los sitios de carbonización (Leon *et al.*, 2002; Perfus-Barbeoch *et al.*, 2002), dada por la inhibición en la

actividad de enzimas involucradas en el proceso de fijación de CO₂ (Mobin y Khan, 2007; Krantev *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2009).

Caird *et al.* (2007) menciona que la humedad del suelo que controla el suministro de agua y la transpiración que gobierna la pérdida de agua, tienen efecto sobre la CES, que depende tanto del contenido de agua en el suelo como de la humedad relativa del aire.

Las interacciones que obtuvieron diferencias significativas para la concentración intracelular CO₂ (C_i) fueron sistema ($p < 0.01$) en ambas fechas de muestreo y variedad*sistema presentó diferencias a los 93 DDT ($p = 0.0394$) (Cuadro 5).

El SHAC fue superior en la C_i en ambas fechas de muestreo respecto a SHCR siendo menor con un 15.9 y 7.5 % (73 y 93 DDT, respectivamente) (Cuadro 5). Para las tres variedades de fresa no existieron diferencias en la C_i en ambas fechas de muestreo, los valores oscilaron de 213.63 y 239.71 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ (Cuadro 5). Las variedades evaluadas en la actual investigación presentan diferente actividad fotosintética, debido a la amplia variabilidad genética y a su capacidad de adaptación.

A los 73 DDT para la C_i no se existieron diferencias entre las combinaciones, los valores están en un rango de 210.81 a 259.73 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, a los 93 DDT la combinación que fue superior al resto es la A*SHCA (238,53 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) y la de menor valor fue A*SHCR (205.98 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) (Cuadro 5).

Al inicio del día cuando la temperatura comienza a aumentar, se incrementa la apertura de los estomas, la transpiración y el contenido interno de CO₂ esto deja de ocurrir, cuando las plantas de fresa se exponen a temperaturas superiores a los 35 °C y ocasiona el cierre de estomas y por lo tanto lo anterior comienza a disminuir (Díaz, 2002).

Debido a que el dióxido de carbono y el vapor de agua comparten la misma ruta de difusión estomática y que el gradiente de difusión que conduce a la pérdida de agua es mayor (50 veces más grande) que el de adquisición del CO₂, un aumento en la CES que aumenta a difusión de CO₂ y así la tasa fotosintética, esto origina un aumento en la transpiración

(Chavez *et al.*, 2004). De esta manera el estoma debe de ser capaz de crear un balance entre la necesidad de permitir el ingreso del CO₂ a los espacios intracelulares para permitir que la fotosíntesis ocurra con la necesidad de evitar la deshidratación por la pérdida excesiva de agua (Jones, 2004).

Cuadro 5. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables fotosíntesis, conductancia estomática y concentración intracelular de CO₂ en plantas de fresa en la etapa vegetativa.

Factor de estudio	Asimilación de CO ₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Conductancia estomática (mol de H ₂ O $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Concentración intracelular de CO ₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	
	DDT		DDT		DDT	
	73	93	73	93	73	93
Variedad	0.0001**	0.0002**	0.0177 **	0.0378 *	0.7655 NS	0.4383 NS
Sistema	0.0001**	0.0001**	0.2372 NS	0.0017 **	0.0052 **	0.0068 **
Variedad * Sistema	0.0001**	0.0001**	0.0327 *	0.497 NS	0.9969 NS	0.0394 *
SHCR	19.87 a	23.71 a	0.24 a	0.24 a	214.38 b	210.04 b
SHAC	15.34 b	16.78 b	0.22 a	0.18 b	255.07 a	227.41 a
S	16.83 b	19.83 b	0.21 b	0.22 ab	232.78 a	220.30 a
A	14.82 c	17.99 c	0.21 b	0.19 b	239.71 a	222.25 a
M	21.15 a	22.77 a	0.26 a	0.23 a	231.68 a	213.63 a
S * SHCR	17.85 c	21.53 b	0.20 ab	0.25 a	212.63 a	215.84 ab
S * SHAC	15.82 d	18.13 c	0.23 ab	0.20 ab	252.94 a	224.76 ab
A * SHCR	19.34 bc	24.82 a	0.25 ab	0.23 a	219.70 a	205.98 b
A * SHAC	10.31 e	11.17 d	0.18 b	0.15 b	259.73 a	238.53 a
M * SHCR	22.41 a	24.79 a	0.27 a	0.26 a	210.81 a	214.42 ab
M * SHAC	19.89 b	20.76 bc	0.26 ab	0.20 ab	252.56 a	217.85 ab

Valores con la misma letra dentro de cada columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). NS= no significativo; *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$; DDT=días después del trasplante; SHCR=sistema hidropónico cerrado tipo revólver; SHAC=sistema hidropónico abierto convencional; S=variedad Safari; A=variedad Albión; M=variedad Monterey.

Para la transpiración (Tr) se encontraron diferencias significativas para la interacción variedad solo a los 73 DDT ($p<0.05$), para las interacciones sistema y variedad*sistema

existieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en ambas fechas de muestreo (Cuadro 6).

Al producir plantas de fresa en el SHCR se obtiene mayor valor de la Tr con 8.67 y 9.36 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a los 73 y 93 DDT, respectivamente, en comparación con el SHAC (Cuadro 6). Se presentó mayor Tr en la variedad Albión en contraste con Monterey y Safari a los 73 DDT, para los 93 DDT no existió diferencias, los rangos obtenidos fueron de 7.98 a 8.60 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Cuadro 6). Dicho efecto se debe a que la temperatura presente en la hoja de la plantas de fresa producidas en el SHCR fue mayor comprado con SHAC, por ello la planta requiere transpirar más para poder mantener una temperatura menor en hojas (Cuadro 7). Esto explica el diferencial de transpiración entre sistemas de producción. Caird *et al.* (2007) menciona que la transpiración ejerce un efecto de enfriamiento en la superficie foliar debido a que la evaporación de agua va acompañada de la pérdida de calor y ayuda a mantener una temperatura adecuada de la hoja por debajo de 2-3 °C de la temperatura del aire.

La combinación M*SHCR fue superior al resto de las combinaciones en ambas fechas de muestreo, siendo las combinaciones de menor valor S*SHAC (73 DDT) y M*SHAC (73 y 93 DDT) (Cuadro 6). Flores (2008) reportó un rango de 1.4 a 5.8 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para la variable TR en fresa variedad Aromas y estos datos son inferiores a los encontrados en este ensayo para S, A y M.

Se presentaron diferencias significativas para el déficit de presión de vapor (DPV) en ambas fechas de muestreo para las interacciones variedad y variedad*sistema, en particular a los 73 DDT solo se observaron diferencias para la interacción por sistemas de producción (Cuadro 6).

El general el DPV fue mayor en el SHCR con 3.04 kPa (73 DDT) y 3,14 kPa (93 DDT) en comparación con el SHAC (Cuadro 6). La variedad Albión en ambas fechas de muestreo fue superior en el DPV en contraste con Safari y Monterey, esta ultima fue la de menor valor (Cuadro 6). La combinación que presentó mayor DPV a los 73 y 93 DDT fue

A*SHAC, las combinaciones de menor valor fueron M*SHAC en ambas fechas de muestreo y M*SHAC en la segunda fecha de muestreo (Cuadro 6).

Bidwell (2002) menciona que conforme aumenta la radiación solar y temperatura del aire, aumenta la transpiración debido a que los estomas son fotosensibles y porque se incrementa el déficit de presión de vapor (DPV) del aire, este comportamiento se presentará siempre y cuando las plantas no estén sometidas a un estrés hídrico.

Cuadro 6. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables transpiración y déficit de presión de vapor en plantas de fresa, en la etapa vegetativa.

Factor de estudio	Transpiración (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)		Déficit de presión de vapor (kPa)	
	DDT		DDT	
	73	93	73	93
Variedad	0.0222 *	0.3687 NS	0.0007 **	0.0193 **
Sistema	0.0007 **	0.0010 **	0.0042 **	0.1766 NS
Variedad * Sistema	0.0137 **	0.3041 **	0.0005 **	0.0292 *
SHCR	8.67 a	9.36 a	3.04 a	3.14 a
SHAC	7.11 b	7.31 b	2.70 b	3.36 a
S	7.24 b	8.60 a	2.93 b	3.18 ab
A	8.38 a	7.98 a	3.21 a	3.63 a
M	8.06 ab	8.43 a	2.48 c	2.95 b
S * SHCR	7.66 bc	9.44 ab	3.29 ab	3.17 ab
S * SHAC	6.82 c	7.77 abc	2.56 cd	3.21 ab
A * SHCR	8.76 ab	8.78 abc	2.94 bc	3.18 ab
A * SHAC	8.00 abc	7.18 bc	3.48 a	4.08 a
M * SHCR	9.60 a	9.88 a	2.90 bc	3.11 b
M * SHAC	6.52 c	7.00 c	2.07 d	2.80 b

Valores con la misma letra dentro de cada columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). NS= no significativo; *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$; DDT=días después del trasplante; SHCR=sistema hidropónico cerrado tipo revólver; SHAC=sistema hidropónico abierto convencional; S=variedad Safari; A=variedad Albión; M=variedad Monterey.

El Cuadro 7 muestra que la TH promedio en los dos muestreos oscilo entre los 31 a 34 °C presentándose los mayores valores en el SHCR, este comportamiento se debe a que la

temperatura del invernadero aumenta conforme incrementa la altura de las plantas según la posición de las canaletas en comparación con una sola posición que tuvieron en el SHAC.

Las interacciones que presentaron diferencias altamente significativas a los 73 DDT en la temperatura de la hoja (TH) con una $p < 0.01$ fueron variedad, sistema y variedad*sistema; a los 93 DDT solo las interacciones por variedad y variedad*sistema presentaron $p < 0.05$ (Cuadro 7).

En general, el SHCR presentó valores superiores en TH con un 6.2 % (73 DDT), a los 93 DDT no existieron diferencias, los rangos oscilaron de 31.23 a 31.34 °C (Cuadro 7).

En la TH la variedad que presentó los mayores valores a los en ambas fechas de muestreo fue Albión quien superó a Safari con 5.6 % (73 DDT) y 4.2 % (93 DDT), a Monterey con 9.8 y 7.8 % para ambas fechas de muestreo (Cuadro 7).

La combinación que presentó mayor TH en ambas fechas de muestreo fue A*SHAC y la de menor temperatura fue la combinación M*SHAC (Cuadro 7).

La temperatura promedio de la hoja de ambos muestreos en el actual experimento fue de 33 °C, en particular de 10:00 am a las 12:30 pm la temperatura osciló de los 23 a 38 °C, estos valores coinciden con lo reportado por Flores (2008) quien trabajó con el sistema de producción “Raíces 150” en la variedad Aromas y registró temperaturas de hojas entre 25 y 39 °C en el invernadero en Montecillo, Estado de México de las 10.00 a las 15:00 h.

Ramírez (2011) evaluó la fisiología, rendimiento, calidad y rentabilidad de cultivo de fresa variedad Camino real en altas densidades de plantación en cuatro sistemas (bolsa individual, vertical con tres y cuatro tubos y vertical con macetas hidropónicas) en el Colegio de Postgraduados, él encontró que al aumentar la altura de la planta en los sistemas hidropónicos se incrementa la temperatura de la hoja.

Existieron diferencias significativas para la humedad relativa de la hoja (HRH) a los 73 DDT en las interacciones por variedades y variedad*sistema ($p < 0.01$, para ambos factores) (Cuadro 7).

En la HRH a los 73 DDT el SHCR fue mayor al SHAC con 2.07 %, no existieron diferencias en ambos sistemas de producción para HRH a los 93 DDT, los valores presentes van de 38.40 a 40.09 % (Cuadro 7). La variedad que presentó mayor porcentaje de HRH a los 73 DDT fue M con 41.75 %, seguida de Safari con 38.59 % y Albión con 37.39 %, a los 93 DDT no existieron diferencias estadísticas para las tres variedades y se presentaron valores de 29 a 30 % (Cuadro 7).

Para la HRH, la combinación M*SC con 43.78 % fue mejor y el menor valor lo obtuvo la combinación A*SC con 35.62 % esto ocurrió en el muestreo a los 73 DDT. No hubo diferencias en el segundo muestreo para todas las combinaciones. Los valores de la HRH indican que en general este parámetro fue homogéneo al efectuar las mediciones con el IRGA (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efectos principales de factores de estudio y su interacción para las variables temperatura de la hoja y humedad relativa de la hoja en plantas de fresa, en la etapa vegetativa.

Factor de estudio	Temperatura de la hoja		Humedad relativa de la hoja	
	(°C)		(%)	
	DDT		DDT	
	73	93	73	93
Variedad	0.0100 **	0.0535 *	0.0074 **	0.3801 NS
Sistema	0.0119 **	0.8627 NS	0.0618 NS	0.6923 NS
Variedad * Sistema	0.0065 **	0.0501 *	0.0072 **	0.9568 NS
SHCR	33.31 a	31.34 a	40.09 a	29.33 a
SHAC	31.24 b	31.23 a	38.40 a	28.87 a
S	32.11 ab	31.22 ab	38.59 b	29.31 a
A	34.02 a	32.58 a	37.39 b	28.00 a
M	30.70 b	30.05 b	41.75 a	30.00 a
S * SHCR	33.72 ab	31.43 ab	36.31 bc	28.95 a
S * SHAC	30.50 bc	31.03 ab	40.88 ab	29.67 a
A * SHCR	33.02 ab	31.29 ab	39.16 abc	27.67 a
A * SHAC	35.03 a	33.87 a	35.62 c	28.32 a
M * SHCR	33.21 ab	31.31 ab	39.73 abc	30.00 a
M * SHAC	28.19 c	28.78 b	43.78 a	30.00 a

Valores con la misma letra dentro de cada columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$). NS= no significativo; *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$; DDT=días después del trasplante; SHCR=sistema hidropónico cerrado tipo revólver; SHAC=sistema hidropónico abierto convencional; S=variedad Safari; A=variedad Albión; M=variedad Monterey.

CONCLUSIONES

El sistema hidropónico cerrado tipo revólver presentó los mejores valores para asimilación de CO₂ (ACO₂), conductancia estomática (CES) y transpiración de la hoja (Tra), en comparación con el sistema hidropónico abierto convencional. La variedad Monterey mostró los mejores resultados para ACO₂ y CES, con relación a las variedades Albión y Safari. El mejor comportamiento fisiológico de la fresa se presentó en la combinación M*SHCR.

LITERATURA CITADA

- Berry, J. and Björkman, O. (1980). Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol*, 31: 491-543.
- Bidwell, R. (2002). *Fisiología Vegetal*. AGT editor. S. A. México, D.F. 784 p.
- Caird, A., Ricards, H., and Donovan, A. (2007b). Nighttime Stomatal Conductance and Transpiration en C3 and C4 Plants. *Plant Physiology*. 143: 1-40.
- Chavez, M., Osorio, J. and Pereira, J. (2004). Water use efficiency and photosynthesis. En *Water use efficiency in plant biology* (ed. Mark A. Bacon). Blackwell Publishing Ltd., London, UK., 42-74.
- Dale, A. and Luby, J. J. 1990. *The strawberry into the 21th century*. Timber Press. Portland, Oregon. pp. 133 – 135.
- Díaz, M. (2002). *Fisiología de árboles frutales*. (Primera ed.). AGT editor, S.A. México. 390p.
- Flores, E. (2008). *Comportamiento Fisiológico, rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en el modelo de producción intensivo "Raices 150"*, Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 75p.
- Gouia, H., Suzuki, A., Brulfert, J. and Habib, G. (2003.). Effects of cadmium on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in bean seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 160: 367-376.
- Grant, O. M., James, C. M., Johnson, A. W., Leinonen, I., and Simpson, D. W. (2012). Thermal imaging and carbon isotope composition indicate variation amongst strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) cultivars in stomatal conductance and water use efficiency. *Environmental and Experimental Botany*, 76: 7-15.
- Gutierrez, M., Reynolds, M. and Larque-Saavedra, A. (2000). Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. II. Traits associated with genetic gains in yield. *Field Crops Research*, 66: 51-62.
- Hancock, J.F. 1999. *Strawberries*. CAB InternacionalInternational. 107 -109.

- Jodlowska, S. and Latala, A. (2012). Mechanisms of photoacclimation on photosynthesis level in cyanobacteria. En: Nahdi N, M. (ed.). Advances in photosynthesis - Fundamental aspects. InTech, Rijeka, Croacia. 598 pp.
- Jones, H. (2004). Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. *Advances in Botanical Research*, 41: 107-163.
- Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. and Popova, L. (2008). Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal J. of Plant Physiology*, 165: 920-931.
- Lambers. (2008). *Plant Physiological Ecology* (2da ed.). Springer.
- León, A., Chatterjee, D., Mateos, R., del Rio, L. and Sandalio, L. (2002). Antioxidative enzymes in cultivars of pepper plants with different sensitivity to cadmium. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40: 813-820.
- Martínez-Vega, R. R. (2014). Caracterización de parámetros fisiológicos y bioquímicos en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) variedad Albión, sometidas a diferentes concentraciones de Cadmiocadmio. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia, 84p.
- Mobin, M. and Khan, N. (2007). Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. *Journal of Plant Physiology*, 164: 601-610.
- Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A. and Forestier, C. (2002). Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. *The plant Journal*, 32: 539 - 548.
- Ramírez, H. (2011). Sistema de producción de fresa de altas densidades. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, 75p.
- Salisbury, F. and Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*. Estados Unidos de América: Wadsworth Publishing, California.
- SAS Institute Inc. (1999). SAS/AF Software: FRAME Entry Usage and Reference, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.

- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: Proceedings of 6th International Congress on Soils Culture.
- Strassburger, A., Nogueira, R., Ernani, J., Barbosa, C., De Souza, D. and Buchweitz, J. (2010). Crescimento e produtividade de cultivares de morangueiro de "dia neutro" em diferentes densidades de plantio em sistema de cultivo orgânico. *Bragantia*, 69: 623-630.
- Wang, H., Zhao, S., Liu, R., Zhou, W. and Jin, J. (2009). Changes of photosynthetic activities of maize (*Zea mays* L.) seedlings in response to cadmium stress. . *Photosynthetica*, 47: 277-283.
- Yamori, W., Noguchi, K., Hanba, Y., and Terashima, I. (2006a). Effects of internal conductance on the temperature dependence of the photosynthetic rate in spinach leaves from contrasting growth temperatures. *Plant Cell Physiol*, 47: 1069-1080.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se construyó un prototipo para la producción intensiva de fresa en hidroponía, denominado tipo revólver.
2. El sistema hidropónico cerrado tipo revólver presentó los mejores valores para altura de planta, diámetro de corona, número de hojas por planta, materia seca total, volumen de raíz y área foliar, en comparación con el sistema hidropónico abierto convencional. Las variedades de fresa Safari y Monterey mostraron los mejores resultados para altura de planta, diámetro de corona, número de hojas por planta, materia seca total, volumen de raíz y área foliar, con relación a la variedad Albión. El mejor tratamiento se presentó con la combinación variedad Safari y sistema hidropónico cerrado tipo revólver para todas las variables evaluadas. El sistema hidropónico cerrado tipo revólver presentó los mejores valores para asimilación de CO₂, conductancia estomática y transpiración de la hoja, en comparación con el sistema hidropónico abierto convencional. La variedad Monterey mostró los mejores resultados para asimilación de CO₂ y conductancia estomática, con relación a las variedades Albión y Safari. El mejor comportamiento fisiológico de la fresa se presentó en la combinación M*SHCR.
3. El sistema hidropónico cerrado tipo revólver presentó los mejores valores para asimilación de CO₂, conductancia estomática y transpiración de la hoja, en comparación con el sistema hidropónico abierto convencional. La variedad Monterey mostró los mejores resultados para asimilación de CO₂ y conductancia estomática, con relación a las variedades Albión y Safari. El mejor comportamiento fisiológico de la fresa se presentó en la combinación M*SHCR.