



tikalía

Volumen XXVII No. 1-2009

Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Evaluación de tres estructuras de protección (invernaderos) de baja tecnología con ventilación pasiva para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill



Revista TIKALIA (Volumen XXVII, No. 1, 2009), órgano divulgativo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, da a conocer estudios científico técnicos de las ciencias agrícolas y de los recursos naturales renovables. Este número contiene los artículos científicos siguientes:

Evaluación de tres estructuras de protección (invernaderos) de baja tecnología con ventilación pasiva para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. Iván Santos, Roberto Bran, Víctor Tahuico

Evaluación agronómica de *Hydrilla verticillata* (L. F.) Royle como sustrato alternativo a la turba de sphagnum para la producción de plántulas en pilón de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) César Torres, Iván Santos

Evaluación técnico-económica de dos sistemas de riego aspersión en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) Ingenio Magdalena, S. A., La Democracia, Escuintla. Rolando Lara Alecio, Marco Vinicio Fernández, Julio Francisco Barneond

Uso de aceites esenciales para el control del ácaro *varroa* destructor en abejas. Tesista: Carlos A. Franco G., Marco V. Fernández, Samuel Córdova, Enrique B. Flores

Crecimiento y producción de madera en respuesta a raleos periódicos en una plantación de Ciprés común (*Cupressus lusitanica*) en el altiplano occidental de Guatemala: lecciones aprendidas tras diez años de registros. Boris Augusto Méndez Paiz



**APORTES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

La Revista Tikalia es el órgano oficial de divulgación de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Su propósito es contribuir al desarrollo de las Ciencias Agrícolas mediante la publicación de artículos científicos y técnicos que reflejan los resultados de las investigaciones que realizan profesores y estudiantes de la Facultad; así como la publicación de artículos teóricos elaborados por científicos y técnicos de otras universidades e instituciones de investigación agrícola que se adecúen a las necesidades del desarrollo académico de la Facultad.

Los autores son responsables del contenido de sus artículos.



Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala



Vol. XXVII, No. 1



Guatemala
2009

**Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Junta Directiva

Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez	Decano
Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales	Secretario
Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes	Vocal I
Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria.	Vocal II
Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Dávila	Vocal III
Br. Rigoberto Morales Ventura	Vocal IV
Br. Miguel Armando Salazar Donis.	Vocal V

Comité Editorial

Dr. Hugo Cardona
Ing. Agr. Byron Zúñiga
Pdsta. Dennis Escobar Galicia

Revista  **tikalía**
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Guatemala
Teléfonos: (502)2476-9770
Fax: (502)2476-9770
Correo electrónico: comited.agro@usac.edu.gt

PRESENTACIÓN

Revista TIKALIA (Volumen XXVII, No. 1, 2009), órgano divulgativo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala que da a conocer estudios científico técnicos de las ciencias agrícolas y de los recursos naturales renovables. En este número contiene los artículos científicos siguientes:

“Evaluación de tres estructuras de protección (invernaderos) de baja tecnología con ventilación pasiva para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum* Nill.” de Iván Santos, Roberto Bran y Víctor Tahuico. En este artículo se caracterizaron agrotécnica y económicamente tres estructuras de invernadero de baja tecnología, con diferentes dimensiones de altura y abertura cenital (ventilación pasiva para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum*).

“Evaluación agronómica de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle como sustrato alternativo a la turba de *Sphagnum* para la producción de plántulas en pilón de chile pimiento (*Capsicum annum* L.)” de César Torres e Iván Santos. En este estudio se evaluó el efecto de sustratos elaborados a base de residuos de *Hydrilla verticillata* sobre germinación y desarrollo durante la fase de plántula, de semillas de chile pimiento var. Tropical Irazú Mejorado.

“Evaluación técnico-económica de dos sistemas de riego aspersión en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el Ingenio Magdalena S.A. La Democracia, Escuintla” de Rolando Lara Alecio, Marco Vinicio Fernández y Julio Francisco Bar-

neond. Esta evaluación se realizó tomando en cuenta que la caña de azúcar es uno de los cultivos más tecnificados que existen en nuestro país; lo cual se evidencia al observar que Guatemala se sitúa dentro de los 10 exportadores más grande del mundo. **“Uso de aceites esenciales para el control del *Ácaro Varroa destructor* en abejas”** de Marco Vinicio Fernández, Samuel Córdova, Enrique B. Flores y Carlos Alberto Franco García. Este estudio se justifica debido a la necesidad de encontrar tratamientos que se constituyan como una alternativa a los tratamientos químicos tradicionales en el control de *Varroa destructor*, debido al elevado costo o a la necesidad de efectuar aplicaciones con escasos días de diferencia.

“Crecimiento y producción de madera en respuesta a raleos periódicos en una plantación de Ciprés común (*Cupressus lusitánica*) en el altiplano occidental de Guatemala: lecciones aprendidas tras diez años de registros” de Boris Augusto Méndez Paiz. En este artículo se presenta información acumulada a lo largo de diez años de mediciones sucesivas realizadas en una Parcela Permanente de Muestreo (PPM) establecida en una plantación de *Cupressus lusitánica*, localizada en Tecpán, Chimaltenango”.

Los editores.

CONTENIDO

- 7 Evaluación de tres estructuras de protección (invernaderos) de baja tecnología con ventilación pasiva para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill
Iván Santos, Roberto Bran, Víctor Tahuico
-
- 29 Evaluación agronómica de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle como sustrato alternativo a la turba de sphagnum para la producción de plántulas en pilón de chile pimiento (*Capsicum annum* L.)
César Torres, Iván Santos
-
- 51 Evaluación técnico-económica de dos sistemas de riego aspersión en caña de azúcar (*Saccharum spp.*) Ingenio Magdalena, S. A., La Democracia, Escuintla
Rolando Lara Alecio, Marco Vinicio Fernández, Julio Francisco Barneond
-
- 61 Uso de aceites esenciales para el control del ácaro *varroa* destructor en abejas
Tesista: Carlos A. Franco G
Marco V. Fernández, Samuel Córdova, Enrique B. Flores
-
- 75 Crecimiento y producción de madera en respuesta a raleos periódicos en una plantación de Ciprés común (*Cupressus lusitanica*) en el altiplano occidental de Guatemala: lecciones aprendidas tras diez años de registros
Boris Augusto Méndez Paiz

**Evaluación de tres estructuras de
protección (invernaderos) de baja
tecnología con ventilación pasiva para
la producción de tomate *Lycopersicon
esculentum* Mill**

Iván Santos, Roberto Bran, Víctor Tahuico

RESUMEN

Con el propósito de generar información para las condiciones propias de Guatemala, se caracterizaron agrotécnica y económicamente tres estructuras de invernadero de baja tecnología, con diferentes dimensiones de altura y abertura cenital (ventilación pasiva) para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum*. La *indagación* permite predecir el comportamiento de las mismas y así recomendar un diseño que promueva un máximo potencial de producción de los cultivos que se desarrollen bajo estas condiciones. Se construyeron tres estructuras de invernadero (tratamientos) con diferentes alturas de cumbre (7.0, 6.50 y 6.0 m), y abertura cenital (0.60, 0.70 y 0.80 m). Como variables se midieron internamente la temperatura y humedad relativa (medias, mínimas y máximas) y temperatura del sustrato (0.10 y 0.20 m de profundidad) las cuales se analizaron gráficamente. La respuesta del cultivo de tomate variedad Titán se midió a través de la producción total, calidad (calibre) de frutos en kg/planta y la actividad fotosintética en mg de clorofila/m² de hoja. Los tres tratamientos con tres repeticiones se acomodaron en un diseño de bloques al azar, los cuales se analizaron estadísticamente a través de ANDEVAS y su correspondiente prueba de medias. Económicamente se analizó la relación beneficio-costo. En general y en primera aproximación, los resultados mostraron que el clima interno de los invernaderos evaluados se comportó de manera similar, lo cual se confirmó en la producción total y en la actividad fotosintética que no mostraron diferencias estadísticas; sin embargo el invernadero (tratamiento) 3 presentó diferencia estadística en el calibre de fruto de primera calidad. La evaluación económica indicó una relación beneficio costo de 1.98, lo cual indica que las estructuras (invernaderos) evaluadas, son económicamente factibles para la producción de tomate. Lo obtenido en el rendimiento total en cualquiera de los tratamientos, supera a los sistemas de campo abierto y protegidos no tecnificados, por lo tanto las estructuras evaluadas son adecuadas para la producción de tomate a escala de pequeño y mediano agricultor para las condiciones de Guatemala.

Palabras claves: Invernadero, *Lycopersicon esculentum*, ventilación pasiva.

INTRODUCCIÓN

Uno de los rubros del sector agrícola donde Guatemala ha mantenido niveles aceptables de producción, con pocas necesidades de importación, ha sido la producción de hortalizas. Tradicionalmente esta producción se ha realizado en condiciones de campo abierto o natural, lo cual se traduce en una producción estacional con altos volúmenes de oferta en algunas épocas y déficit en otras, ya que el éxito de las explotaciones depende de las condiciones ambientales. Todo lo anterior se puede evitar si se trabaja en un ambiente controlado (invernadero), donde se logra producir en épocas que en campo abierto sería difícil realizar. La importancia de producir bajo estructuras de protección en Guatemala ha tomado un mayor auge debido a la apertura del mercado estadounidense para el ingreso de tomate maduro y rosado (tipo manzano), cuya primera embarcación según la Federación de Asociaciones de Agricultores de Guatemala (FASAGUA, 2006) partió del país en el mes de noviembre de 2006. La norma establece que el tomate producido en Guatemala será admitido por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) si se cultiva en áreas declaradas libres de la mosca del mediterráneo o en invernadero. En Guatemala existe poca accesibilidad a la información sobre la tecnología de los invernaderos. Algunos intentos de importar paquetes tecnológicos completos han llevado a algunos fracasos, los cuales se originaron principalmente porque esta tecnología fue transferida sin modificaciones desde regiones de clima templado (Europa, Estados Unidos) a climas intertropicales como Guatemala. Sin embargo en el país existe el interés de muchos productores por ingresar en este sistema de producción. Con base en lo anterior y en una primera aproximación al conocimiento de estos sistemas de producción, el objetivo general de esta investigación fue: Evaluar agrotécnica y económicamente tres estructuras de protección (invernaderos) de baja tecnología con diferentes dimensiones en altura y abertura cenital para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum*, a través de una caracterización del clima interno de las estructuras, la respuesta del cultivo y finalmente un análisis económico de los invernaderos propuestos. El estudio se realizó en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en los meses de abril a septiembre del año 2007.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se construyeron tres estructuras de protección (invernaderos), los cuales se describen en el cuadro 1. Cada estructura o tratamiento fue identificada numéricamente. El diseño de los invernaderos evaluados (tratamiento) correspondió al de capilla a “dos aguas”, la construcción de las mismas se realizó con materiales de metal (costaneras) y de madera, el techo de los invernaderos fue cubierto por plástico (polietileno de 150 micrones de espesor) con aditivos contra luz ultravioleta. Las paredes de las estructuras fueron cubiertas con malla antivirus de 30 “mesh” (perforaciones por pulgada cuadrada) de polipropileno.

Cuadro 1. Dimensiones y características de las estructuras evaluadas (Invernaderos).

Descripción	Clave	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
		Invernadero 1	Invernadero 2	Invernadero 3
Tipo de Invernadero		Capilla a dos aguas	Capilla a dos aguas	Capilla a dos aguas
Longitud de la nave	L	30,00 m	30,00 m	30,00 m
Ancho de la nave	A	6,60 m	6,60 m	6,60 m
Altura Máxima de Cumbre	AMcu	7,00 m	6,00 m	6,50 m
Altura Mínima de Cumbre	Ameu	5,50 m	5,00 m	4,50 m
Altura Máxima de canal	AMca	5,50 m	4,50 m	5,00 m
Altura Mínima de canal	Amea	4,00 m	3,50 m	3,00 m
Altura de ventana lateral	VL	2,00 m	2,30 m	2,00 m
Altura de antepecho o babero	B	0,80 m	1,00 m	0,50 m
Abertura cenital	VC	0,60 m	0,70 m	0,80 m
Ventilación cenital		9 %	10,5 %	12 %
Inclinación		Simple	Doble	Simple
Área cubierta		600 m ²	600 m ²	600 m ²

Caracterización del clima interno de las estructuras (Invernaderos) evaluadas (Tratamientos).

Para la caracterización del clima interno se instalaron en cada invernadero cuatro higrotermómetros a dos alturas (1,5 y 2,5 m) para la obtención de temperatura y

humedad relativa, máxima, media y mínima. Además se obtuvo el registro de la temperatura del sustrato a dos profundidades (0.10 y 0.20 m). Las lecturas se realizaron de forma diaria (8:00, 12:00 y 16:00 horas) durante el periodo de abril a septiembre del año 2007. Los datos permitieron observar el comportamiento diario y mensual de estas variables. Los factores climáticos en el exterior de los invernaderos (temperatura y humedad relativa: medias, máximas y mínimas) se tomaron de la estación central del INSIVUMEH, ubicada en las coordenadas: 14.35 latitud norte y 90.32 longitud oeste a una altura sobre el nivel del mar de 1502 m. Estos datos fueron de utilidad para comparar el comportamiento del ambiente exterior y el clima interno de cada invernadero evaluado. El registro de los datos climáticos durante los meses de abril a septiembre se analizó gráficamente.

Evaluación de la respuesta del cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill.

Cada estructura o invernadero (tratamiento) constó de tres naves y cada nave se constituyó en una repetición, por lo tanto cada tratamiento constó de tres repeticiones, las cuales se distribuyeron al azar dentro de cada tratamiento (invernadero). Se utilizó el diseño experimental Completamente al Azar, lo cual se puede observar en la figura 1.



Figura 1. Distribución de los tratamientos y repeticiones dentro de las estructuras (invernaderos) evaluadas.



Las plántulas se cultivaron en canales de plástico con sustrato orgánico y arena pomez en proporción 1:1. Las dimensiones del canal fueron de 0.40 m de altura y 0.50 m de ancho con una longitud de 16.8 m, cada invernadero con veinte y uno canales colocados perpendicularmente a lo largo de los mismos. La densidad de siembra fue de 1 m entre surco y 0.60 m entre plantas. Cuando las plantas alcanzaron una altura de 2.5 m se procedió a descolgarlas con la finalidad de facilitar su manejo. La plantación se manejó a un solo tallo o eje, se dejaron de 6 - 7 frutos por racimo. La nutrición se realizó por medio de solución nutritiva aplicada en el riego por goteo y su respectivo plan fitosanitario semanal con la finalidad de evitar la presencia de plagas y enfermedades.

Variables evaluadas

Las variables medidas fueron el rendimiento total y por calidad (calibre) de fruto en kg /planta y la actividad fotosintética de la planta. Para el caso de la primera variable, los cortes se iniciaron a los 3 meses después del transplante, dos veces por semana, utilizando 15 plantas como parcela neta. Al final de cada corte se clasificó el producto por calidad, de acuerdo a los estándares exigidos por el mercado, con la intención de obtener un mejor estimado de los porcentajes de cada uno, información que sirvió para obtener datos económicos de interés para estimar la productividad que se puede obtener con la tecnología evaluada. El diámetro del fruto se midió por medio de maquetas de cartón con las medidas establecidas. Para la forma del fruto, se utilizó un descriptor para el género *Lycopersicon* propuesto por el IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). Con respecto al color, para nombrar la tonalidad de la coloración que los frutos deben tener se utilizó la tabla de Munsell (Book of color glossy finish collection 1,996). Es importante mencionar que los datos de rendimiento se obtuvieron únicamente de siete racimos en cada planta, en aproximadamente 2 meses de corte.

La actividad fotosintética en la planta se determinó a través del medidor de clorofila (Spad N-test), instrumento que permite medir de una manera rápida la cantidad de clorofila en mg de clorofila/m² de hoja. Las mediciones se realizaron tres veces por semana en horario de 8:00, 12:00 y 16:00 horas durante el ciclo productivo de la plantación. Las variables medidas se analizaron estadísticamente a través de ANDEVAS y su correspondiente prueba múltiple de medias Tukey al 5% de probabilidad.

Análisis económico de las estructuras (Invernaderos) evaluadas.

Tomando en consideración que esta investigación no es un proyecto productivo comercial, los invernaderos (tratamientos) y el cultivo en evaluación se analizaron financiera y económicamente basados en los precios vigentes del mercado nacional, utilizando el criterio:

Relación Beneficio-Costo

$(RBC) = \text{Ingresos actualizados} / \text{Egresos actualizados}$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del clima interno de las estructuras (invernaderos) evaluadas. Temperatura máxima:

Se encontró una correlación promedio del 83 % entre la temperatura máxima del ambiente exterior y la temperatura máxima registrada dentro de cada una de las estructuras para los meses de evaluación. La diferencia existente entre la temperatura del ambiente externo y la del interior de cada invernadero es de 13 °C, sin embargo se observa un comportamiento en valores de temperatura máxima muy similar entre las tres estructuras evaluadas, alcanzando entre 1 y 2 grados centígrados de diferencia entre las mismas.

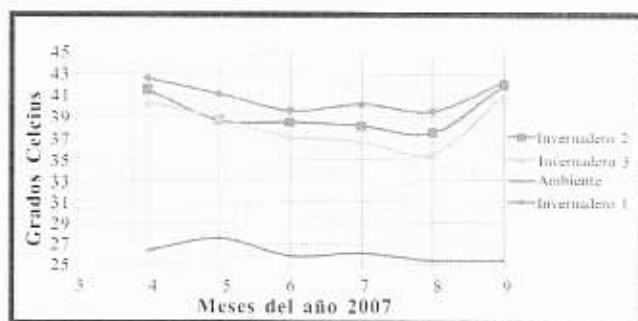


Figura 2. Comportamiento de temperatura máxima durante los meses de abril a septiembre del año 2007.

Se observa también que la estructura con mayor altura (invernadero 1), es el que presenta la mayor temperatura máxima, lo cual no concuerda con Serrano Cermeño, 2001, quien menciona que a mayores alturas en la construcción, la temperatura en el interior de la estructura tiende a disminuir. Esta situación muestra un claro ejemplo de la importancia que juega la abertura cenital, ya que la estructura 1 es más alta que los otros diseños pero con la menor abertura cenital (0.60 m). La abertura cenital permite la evacuación del aire caliente del interior al exterior de la estructura por medio del proceso de convección, de no contar con una abertura adecuada se tendrán problemas de calentamiento en el interior de las estructuras, sin embargo en este caso las temperaturas reportadas no influyeron drásticamente en la producción del cultivo, lo cual se discute posteriormente.

Temperatura mínima:

En la evaluación no se contempló el cierre de cortinas durante la noche con el fin de observar la capacidad de conservar el calor de cada una de las estructuras (invernaderos), por tal razón se observa en la figura 3 temperaturas mínimas similares entre sí y muy cercanas al del ambiente exterior. Las tres estructuras registraron temperaturas mínimas promedio de 18°C entre los meses de evaluación, un grado de diferencia con respecto a la temperatura del ambiente.

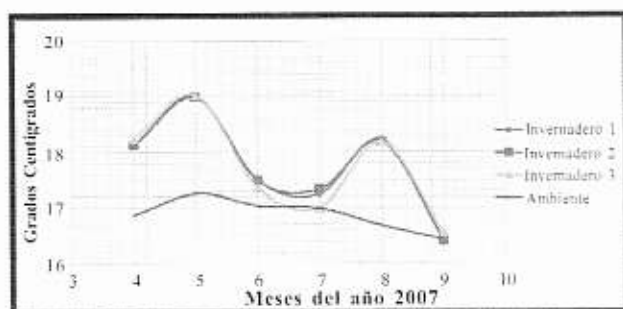


Figura 3. Comportamiento de la temperatura mínima durante los meses de abril a septiembre del 2007.

Temperatura media mensual:

La temperatura media registrada durante el día tiene mucha importancia, por que de ella depende en gran parte el buen desarrollo de las plantaciones dentro de los invernaderos. En la figura 4 se observa que los invernaderos 1 y 2 presentan una temperatura media de 29°C, un grado centígrado menor que el invernadero 3. Se encontró también una correlación del 84 % entre la temperatura media del exterior y el interior de las estructuras, con una diferencia de 6.5 grados centígrados entre el interior y el exterior respectivamente.

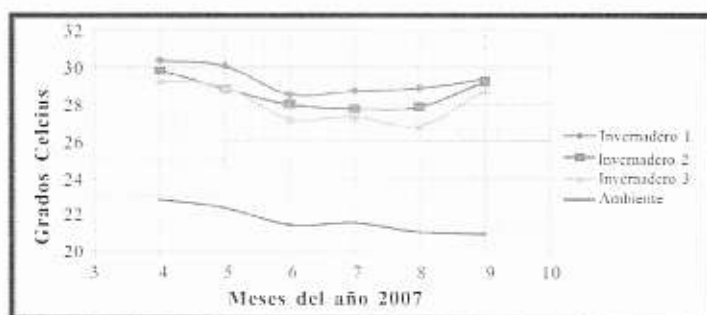


Figura 4. Comportamiento de la temperatura media mensual, en el interior de los invernaderos evaluados, en los meses de abril a septiembre, 2007.

Temperatura media diaria: El comportamiento es similar en los tres invernaderos, registrando la temperatura más baja (16-17°C) a las 4:00 horas y la temperatura más alta (38-41°C) a las 14:00 horas. La diferencia de temperatura que existe entre estructuras es de 1°C, donde el invernadero 1 presenta la mayor temperatura, seguido por el 2 y 3 respectivamente.

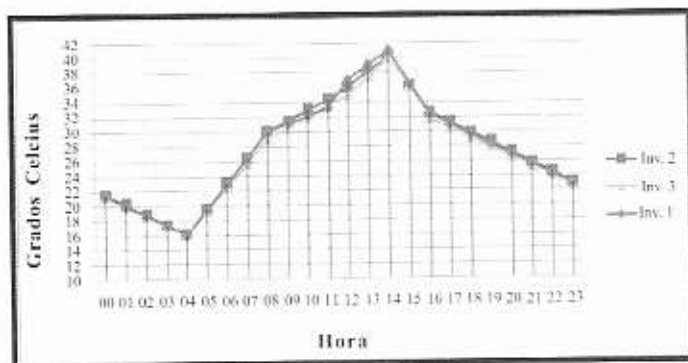


Figura 5. Comportamiento de la temperatura media diaria en el interior de los invernaderos evaluados, en los meses de abril a septiembre del año 2007.

Lo descrito anteriormente concuerda con Nuez, 2001 y Harper, 1979, ya que los datos reportados por las tres estructuras están dentro del rango aceptable para la producción de este cultivo, situación que permiten un ambiente propicio para el buen desarrollo vegetativo de la planta y no presenta problemas en la fecundación, cuajado y desarrollo del fruto. Ambos indican que el rango de temperatura adecuada para la producción de tomate bajo invernadero es 18-29°C.

Temperatura del sustrato a las 8:00 horas:

La figura 5 muestra el comportamiento de la temperatura en el sustrato utilizado para cultivar la plantación, a dos profundidades, la primera a los 0.10 m y la segunda a los 0.20 m. El registro de las 8:00 horas permite observar que a 0.10 m de profundidad es aproximadamente 2°C menor que la temperatura a 0.20 m, lo cual se justifica debido a que durante la noche la parte superficial se encuentra expuesta a las bajas temperaturas la noche y madrugada, conservando mayor temperatura en el estrato inferior (0.20 m de profundidad). Las variaciones de temperatura que se presentan en los meses de abril a mayo, fueron influenciadas por algunos factores como el desarrollo vegetativo que experimenta la plantación en esta etapa. Al inicio del ciclo el sustrato está más expuesto a la radiación por tal razón su temperatura aumenta, pero al aumentar el follaje, el área de exposición a la radiación se reduce y de igual forma la temperatura.

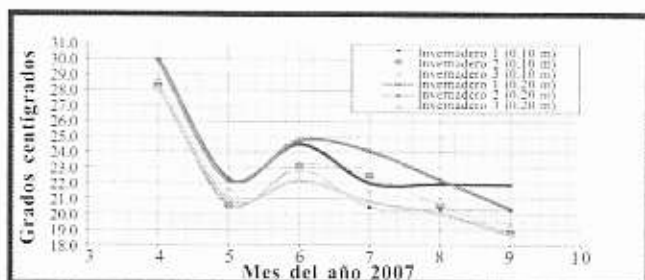


Figura 6. Temperatura del sustrato a las 8.00 horas en el interior de los invernaderos evaluados, en los meses de abril a septiembre 2007.

Temperatura del sustrato a las 12:00 horas:

Los registros de la segunda lectura en el día, muestra un comportamiento similar en las tres estructuras, en ese instante la mayor temperatura se registra en la parte superficial del sustrato (0.10 m de profundidad) y la menor en la parte más profunda del mismo (0.20 m de profundidad) con una diferencia que va de 1 a 2 °C. A esta hora la radiación se presenta de una mayor forma, calentando más a la superficie del sustrato.

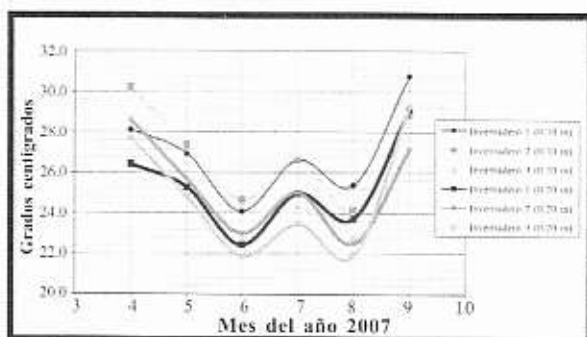


Figura 7. Temperatura de sustrato a las 12:00 horas en el interior de los invernaderos evaluados, en los meses de abril a septiembre 2007.

Temperatura del sustrato a las 16:00 horas:

El registro de la tercera lectura como se observa en la figura 7 registra datos con un comportamiento similar al de los otros dos horarios, donde la temperatura en el sustrato se presenta muy parecido en las tres estructuras evaluadas.

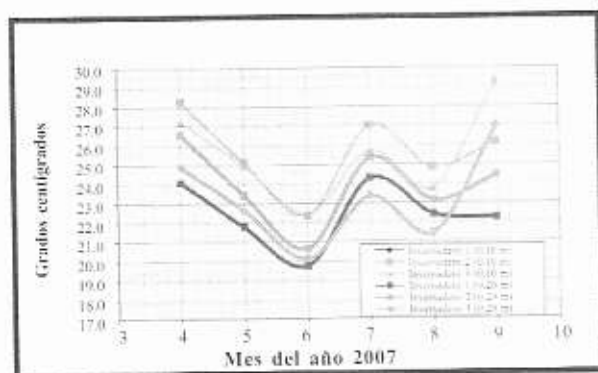


Figura 8. Temperatura del sustrato a las 16:00 horas en el interior de los invernaderos evaluados en los meses de abril a septiembre 2007.

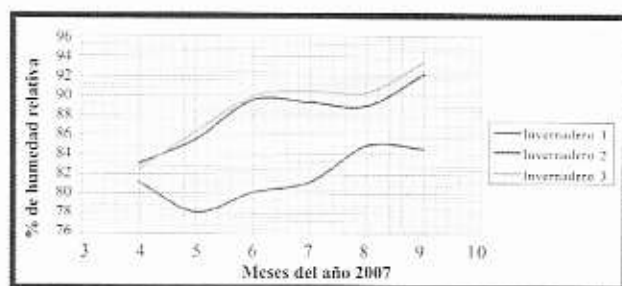
La temperatura del sustrato en general durante el día se mantiene en el rango de 20 – 30 °C, el cual permite pensar que el desarrollo radicular y vegetativo de la plantación puede llevarse a cabo de forma normal, ya que la temperatura óptima para la raíz según Picken, 1986, se encuentra dentro del rango de 17-30 °C, quien indica que si la raíz es sometida a temperaturas fuera de este rango, ocurren problemas en el desarrollo vegetativo, lo antes mencionado concuerda con los resultados obtenidos.

Humedad Relativa Máxima:

La figura 8 muestra el comportamiento de la humedad relativa máxima dentro de cada estructura en el periodo de la evaluación donde se observa que el invernadero 3 registra una humedad relativa máxima de 89 %, seguido por el invernadero

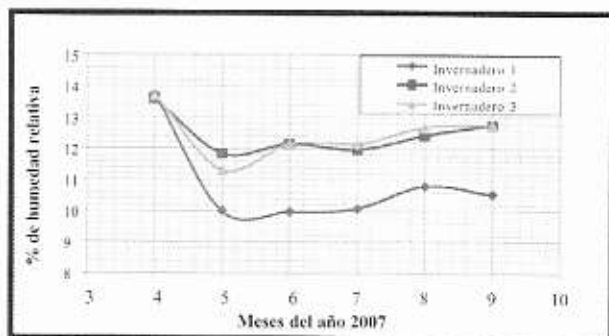
2 con 88 % y el invernadero 1 con 82 %. El comportamiento de esta variable esta estrechamente relacionado con la temperatura y como se pudo observar en la figura 2 las temperaturas máximas mayores correspondieron en el invernadero 1, por tal razón esta estructura registra un porcentaje de humedad máxima menor en relación con las otras dos estructuras. El comportamiento de la humedad con respecto a la temperatura es inverso.

Figura 9. Comportamiento de la HR máxima en los invernaderos evaluados, en los meses de abril a septiembre 2007.



Humedad Relativa Mínima: el comportamiento de la humedad mínima en los cinco meses que duro la evaluación es similar a la humedad máxima. En los meses de mayo a septiembre las estructuras 2 y 3 mantuvieron una similitud en su comportamiento, dentro del rango 11 y 14 %, la estructura 1 registra datos menores (2 % menor) que van de 10 a 11 % (Figura 9).

Figura 10. Comportamiento de la HR mínima en los invernaderos evaluados, en los meses de abril a septiembre 2007.



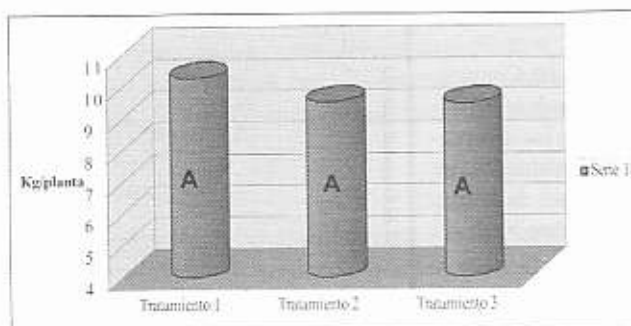
La humedad relativa media en las tres estructuras, está entre el rango de 40 – 55 %, dichos valores se encuentran por debajo de la necesidad de humedad relativa que requiere la planta. Según YARA, 2004, el cultivo del tomate necesita una humedad relativa media de 60 y 80 % para un buen desarrollo, este es un rango que disminuye el riesgo de enfermedades fúngicas y también permite mantener la calidad del polen al no correr el riesgo de apelmazamiento del mismo por exceso de humedad, hay que tener en cuenta que a humedades mayores a estos rangos la planta presenta limitaciones en la transpiración inhibiendo de alguna forma su desarrollo. Rawson, 1977, indica que a baja humedad relativa la tasa de transpiración crece, presentado problemas en la fructificación por: estrés hídrico, cierre estomático y reducción de fotosíntesis. Aunque los valores de esta variable encontrados no se encuentre dentro de lo recomendado es importante justificar que en los invernaderos evaluados no se realizó control climático, el cual pudo ayudar a mejorar la humedad relativa en el interior de las estructuras. Sin embargo los registros en general muestran que el rango se encuentra dentro lo mínimo requerido.

Evaluación de la respuesta del cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill.

Rendimiento total (kg de fruto/planta)

En la figura 10 se observan los rendimientos totales en kg/planta alcanzados por el cultivo de tomate en los invernaderos (tratamientos) evaluados. El mayor rendimiento se obtuvo en el invernadero 1 (10.3 kg/planta), 9.53 kg en el 3 y 9.47 kg con el 2.

Figura 11. Rendimiento total por planta del cultivo de tomate en los invernaderos evaluados.



El análisis de varianza para el rendimiento, indico que las diferencias climáticas observadas entre tratamientos (invernaderos) no afecta de forma significativa el rendimiento total por planta, ya que las plantaciones presentan rendimientos totales similares entre si. Es importante mencionar que el rendimiento alcanzado supera la producción de tomate en campo abierto pero no logra alcanzar a la producción nacional en ambiente protegido o sea invernaderos de alta tecnología (FASAGUA, 2008), sin embargo lo anterior se puede justificar indicando que para este estudio se cosecharon siete racimos, lo cual no concuerda con producciones comerciales, las cuales cosechan entre 12 y 14 racimos en un ciclo de producción (FASAGUA, 2008).

Calidad de fruto

El análisis de varianza muestra que existe alta diferencia significativa entre los tratamientos para el rendimiento de fruto para el calibre de primera calidad, el cual se puede observar en la figura 11.

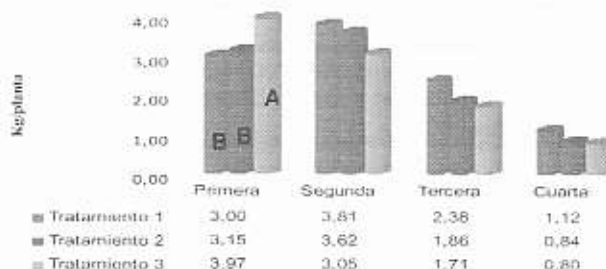


Figura 12. Rendimiento por calidad en cada tratamiento.

Según Tukey, el tratamiento 3, presenta la mayor producción de fruto de primera calidad con 3,97 kg/planta, seguido por el tratamientos 2 con una producción de 3,15 kg/planta y finalmente con 3,0 kg/planta para el invernadero 1.

Actividad Fotosintética a las 8:00 horas:

La figura 12 muestra la concentración de clorofila medida en las plantas de tomate evaluadas, con una variación en cada tratamiento de 10 a 15 mg de clorofila/m² de hoja de tomate entre el tratamiento 1 y el tratamiento 3, la cual no es significativa según el análisis de varianza.

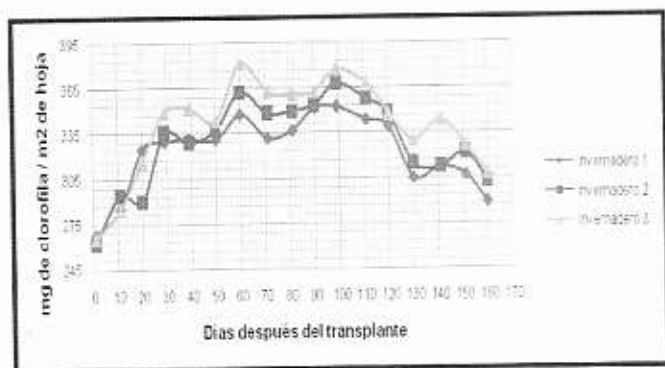


Figura 13. Actividad fotosintética en el cultivo de tomate a las 8:00 horas, durante meses de abril a septiembre 2007.

Actividad Fotosintética a las 12:00 horas:

Se puede observar que en el segundo registro de la actividad fotosintética del cultivo, la concentración de clorofila aumenta con relación a la lectura de las 8:00 horas, como lo muestra la figura 12, manteniendo un similar comportamiento entre los tratamientos. Se sabe que la actividad fotosintética de la planta aumenta al elevarse la temperatura, siempre y cuando no se salga del rango óptimo de temperatura, por esa razón se puede dar el incremento en la concentración de clorofila.



Figura 14. Actividad fotosintética en el cultivo de tomate a las 12:00 horas, durante los meses de abril a septiembre 2007.

Actividad fotosintética a las 16:00 horas:

En este horario la concentración de clorofila disminuye nuevamente y la similitud en el comportamiento entre los tratamientos persiste, debido a que la actividad de radiación solar disminuye (Figura 14). Según el análisis de varianza, la diferencia que existe entre los tratamientos con respecto a la concentración de clorofila en las hojas de tomate no es significativa.



Figura 15. Actividad fotosintética a las 16.00 horas, en el cultivo de tomate, durante los meses de abril a septiembre 2007.



Según el Centro de Nutrición de Plantas de Hanninghof, 2002, los valores adecuados para la concentración de clorofila en el cultivo de tomate, se encuentran dentro del rango de 290 a 400 mg clorofila/m² de hoja, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el cultivo evaluado.

En general, la actividad fotosintética de las plantas de tomate evaluadas en las tres estructuras (invernaderos), son estadísticamente iguales. El comportamiento de la actividad fotosintética se puede relacionar con la temperatura y la humedad relativa registradas en el interior de las tres estructuras evaluadas. La estructura 1 presentó la mayor temperatura con una media de 29°C y con una menor humedad relativa con 46%, sin embargo registró una menor actividad fotosintética. La estructura 3 es la que registra menor temperatura 28°C y la mayor humedad relativa con 51%, sin embargo es la que presenta una mayor actividad fotosintética. Es importante mencionar que la estructura 3 presentó la mayor producción de fruto de primera calidad. Según Fender, 1990, condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa (fuera de lo adecuado), pueden provocar una reducción en la actividad fotosintética, disminuyendo la producción de fotoasimilados, repercutiendo todo esto en la calidad de la producción.

Análisis Económico de los tres diseños de Protección (Invernaderos) para el cultivo de tomate.

Relación Beneficio-Costo (RBC)

Este criterio permitió establecer la eficiencia con que se utilizaron los recursos del proyecto. Al dividir los ingresos entre los egresos actualizados se determinó si los ingresos son mayores que los egresos del proyecto.

Evaluación de tres estructuras de protección (invernaderos) de baja tecnología con ventilación pasiva para la producción de tomate

Semestre	Ingresos	Egresos	Factor de Actualización (30%)	Ingreso Actualizado	Egreso Actualizado	Flujo de Efectivo Actualizado
0		0	1	0	1	0.00
1	Q 132,655	Q 68,310	0.7692	Q 102,043	Q 52,546	Q 49,496
2	Q 140,615	Q 71,726	0.5917	Q 83,204	Q 42,441	Q 40,763
3	Q 149,052	Q 75,312	0.4552	Q 67,843	Q 34,279	Q 33,564
4	Q 157,995	Q 79,078	0.3501	Q 55,318	Q 27,687	Q 27,631
5	Q 167,474	Q 83,031	0.2693	Q 45,106	Q 22,363	Q 22,743
6	Q 177,523	Q 87,183	0.2072	Q 36,779	Q 18,062	Q 18,716
7	Q 188,174	Q 96,632	0.1594	Q 29,989	Q 15,400	Q 14,589
		561272.0029		420281.19	Q 212,779	Q 207,502.00

Cuadro 2. Análisis de la relación beneficio-costo de los tratamientos (invernaderos) evaluados.

Relación beneficio-costo (RBC) = Ingresos actualizados/Egresos actualizados

RBC = Q 420,381.19 / Q212, 779

RBC = 1.98

En este caso la relación Beneficio-Costo para esta investigación de tomate bajo invernadero es de 1.98. Este valor se considera aceptable debido a que por cada quetzal invertido se obtiene 98 centavos de rentabilidad.

CONCLUSIONES

En general y en una primera aproximación a un sistema de producción de baja tecnología para pequeño y mediano agricultor las condiciones climáticas registradas en el interior de las estructuras evaluadas son adecuadas para la producción de tomate.

El tratamiento o sea invernadero 3 presentó el mayor rendimiento en producción de frutos de primera calidad, seguido por los tratamientos 1 y 2 respectivamente.

La evaluación económica indicó que las estructuras (invernaderos) evaluadas, son económicamente factibles para la producción de tomate, presentado una relación beneficio costo de 1.98.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alpi, A; Tognoni, F. 1999. Cultivo en invernadero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 347 p.
2. Arboli, M. 2000. Los plásticos como cubierta de invernaderos y túneles. *Plasticultura* 119: 15- 19.
3. Baixauli, C. 1996. Aspectos prácticos del control ambiental para hortalizas en invernadero. Ed. Fundación cultural y de Promoción social. Caja Rural, Valencia.
4. Bran, E. 2003. Situación actual de las plasticultura en Guatemala y perspectivas para su crecimiento *in* congreso Alianza tecnológica para la agricultura con calidad. San José, Costa Rica. 147 p.
5. Cabrera Prado; IF. 2005. Rentabilidad de la producción hidropónica de tomate manzano bajo invernadero. Tesis Administración de Empresas. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Económicas. p. 74-107.
6. CYTED (Ciencia y tecnología para el desarrollo). 2004. Invernaderos: La Experiencia Iberoamericana. Ed. Programa CYTED. Almería, España. 197 p.
7. Díaz, J; Pérez, J. 1994. Tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Ed. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA). Almería, España. 352 pp.
8. Fender, S. 1990. Expression of the heat shock response in a tomato interspecific hybrid is not intermediate between the two parental responses. *Planta physiol.*
9. Ferratto JA; Pabelo MS. 2001. Climatización de Invernaderos. Consejo de investigaciones. Facultad de Ciencias Agrarias UNR. 162 p.
10. Flores Ragche, OR. 2006. Evaluación de híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) que se encuentra en proceso de mejoramiento y su resistencia al acoloramiento de la hoja causado por los geminivirus del género Begomovirus. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. p. 61-62 y 161.
11. Gosiewski, W. 1982. La influencia de la temperatura sobre la fotosíntesis en diferentes materiales genéticos de tomate. *Ciencia horticola*, 115 p.
12. Harper. LA; Pallas JE. 1979. Microclima de invernaderos para tomate en el sureste de los Estados Unidos. 659 p.
13. IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute, IT). 1996. Descriptors of the movement of flying aphids. *Biological Reviews*, 291 p.
14. López, J. 1999. Productividad de la judía verde sobre enarenado bajo invernadero en Almería. Estudios de Planificación Serie de Tesis Doctorales No. 1. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. 225 p.
15. Ludvig, L.J. 1974. Effects of light flux density, CO² and temperature on leaf photosynthesis. *Ann. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst.*, 1973: 47-49.

16. Merle Jensen, 2001. Publicado en Red hidropónica. Boletín Informativo No. 12. Julio/Agosto.
17. Montero, J; Anton, M. 1993. Tecnología del Invernadero. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Buenos Aires. 128 pp.
18. Munsell, US. 1976. Book of color glossy finish collection, removable samples in two binders. US, Munsell Color Macbetha Division of Koll Morgan Corporation. s.p.
19. Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate: Anatomía y fisiología de la planta. Editorial Mundi.Prensa, Madrid, España. p. 63-84.
20. Picken, A; Stewart, K. 1986. Germination and vegetative development. The tomato Crop. Chapman and Hall Ltd. New York, Estados Unidos. 111 p.
21. Prensa Libre. 2006. Productores alistan su producción de tomate (en línea). Guatemala, Guatemala. Federación de Asociaciones de Agricultores de Guatemala (FASAGUA). Consultado 25 mar 2008. Disponible en <http://www.prensalibre.com/pl/2006/agosto/29/150369.htm>
22. Prensa Libre (2006). Productos potenciales de exportación a Estados Unidos (en línea). Guatemala, Guatemala. Agropecuaria Popoyán. Consultado 25 mar 2008. Disponible en <http://www.prensalibre.com/pl/2006/diciembre/16/158726.html>
23. Serrano, Z. 1979. Cultivos de hortalizas en invernaderos. Editorial Aedos. Barcelona, España. 223 p.
24. Serrano, Z. 2001. Construcción de Invernaderos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 310 p.
25. Vilarnau, A. 1997. El CO₂ en la horticultura. Horticultura No. 118. 64 p.
26. Yara internacional. 2002. N-Tester application in Agronomy. Centro de Investigaciones de Hanninghof. Duermen Germany. p. 2-5.
27. Yara internacional. 2006. Plantmaster de tomate. The worldwide bussines formula. 10 p.

Evaluación agronómica de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle como sustrato alternativo a la turba de sphagnum para la producción de plántulas en pilón de chile pimiento (*Capsicum annum* L.)

César Torres¹, Iván Santos²

¹Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola de FAUSAC

²Profesor titular de FAUSAC, asesor específico de investigación.



RESUMEN

Se evaluó el efecto de sustratos elaborados a base de residuos de *Hydrilla verticillata* sobre la germinación y desarrollo durante la fase de plántula, de semillas de chile pimiento var. Tropical Irazú Mejorado. Previo a su evaluación se caracterizaron a nivel laboratorio las principales propiedades físicas químicas y biológicas de los sustratos. Las semillas se sembraron en bandejas de polietileno con celdas, utilizando dieciséis sustratos, estos se compararon con un sustrato comercial (turba TS1), bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Las propiedades físicas de los sustratos se comportaron de manera similar destacando las propiedades agua fácilmente disponible y capacidad de aireación, donde la perlita influye en gran medida. Los sustratos T1, T5, T9, T13 presentaron los mejores resultados con respecto al agua fácilmente disponible, disminuyendo conforme la proporción de perlita se incrementa en el medio, mientras que los sustratos T4, T8, T12, T16 presentaron resultados más favorables en cuanto a la capacidad de aireación. En las propiedades químicas el pH se presentó con valores arriba de 7.0 con excepción del sustrato control (turba), mientras que la conductividad eléctrica no superó los 3 dS/m valor máximo reportado por el sustrato control. Según bioensayos de fitotoxicidad, los índices de germinación alcanzados están arriba del 80%, lo cual reduce la probabilidad de inhibición en la germinación para todos los sustratos. La germinación acumulada veinticuatro días después de la siembra (DDS) fue 90.0% en turba (T17C), para los tratamientos T2, T7, T12, T16 fue 92.0; 92.0; 93.0 y 89.0% respectivamente. La altura (cm) de plántula a los 50 DDS fue 8.46 en turba, para los tratamientos T4, T8, T12, T14 fue 6.06; 13.0; 12.39 y 13.25 respectivamente, mientras que el diámetro de tallo fue 0.26 para T17C; y para los tratamientos T2, T7, T12, T14 fue 0.20; 0.31; 0.30; y 0.31 respectivamente. En cuanto al peso fresco (g) de la parte aérea a los 50 DDS el resultado en turba fue 17.96 g, para los tratamientos T4, T6, T12, T14, los resultados fueron 11.81; 36.38; 35.91 y 41.11, mientras que para el sistema radicular el peso fresco en turba fue 10.87 g, y para los tratamientos T4, T6, T12, T15 los resultados fueron 9.45; 12.22; 12.75 y 14.64 respectivamente. Los resultados en contenido de materia seca (%) para la parte aérea en turba presentó 19.06% para T4, T8, T12, T16 los resultados fueron 14.97; 16.31; 15.22; y 17.07 respectivamente, mientras que para el sistema radicular los mejores tratamientos fueron T3, T8, T11, T13 presentando valores 14.80; 15.92; 14.89; 15.42 respectivamente y para la turba (T17C) 11.06. Los resultados

corresponden al mejor tratamiento de cada grupo según el tiempo de degradación de *Hydrilla* (ver composición volumétrica de los sustratos) comparado con la turba o tratamiento control.

T2, T7, T12, T16 presentaron porcentaje de germinación y uniformidad en la germinación similares a los obtenidos en turba. Las plántulas producidas en T8, T12 y T14 presentaron mayor crecimiento a los 50 DDS, medido como altura de plántula y diámetro de tallo, peso fresco de tallo y raíz, y contenido de materia seca en tallos y raíces que las plántulas producidas en turba (T17C). Mientras que en el grado de compactación y resistencia del pilón estos mismos tratamientos fueron similares a la turba. El tratamiento 12 (H30-85-15) bajo las condiciones y metodologías utilizadas, es recomendable como sustituto alternativo de la turba de *Sphagnum*.

Palabras clave: *Hydrilla verticillata*, sustrato, turba, plántula, pilón, perlita, agua disponible, capacidad de aireación.

AGRONOMIC EVALUATION OF *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle AS AN ALTERNATIVE SUBSTRATE TO SPHAGNUM IN THE PRODUCTION OF *Capsicum annum* L. PILONS

The effect of substrata elaborated based on residues of *Hydrilla verticillata* were evaluated on the germination and development of seeds of chili pepper var. Tropical Irazú Mejorado. Before field evaluation, laboratory work was conducted to characterize the principal physical chemical and biological properties of the substrata. The seeds were sowed in trays of polyethylene by cells, using sixteen substrata, these were compared with a commercial substratum (rabble TS1), under an experimental design completely at random with three repetitions. The physical properties of the substrata behaved in a similar way emphasizing the properties of easily available water and capacity of aeration. The substrata T1, T5, T9, T13 presented the best results with regard to easily available water, whereas the substrata T4, T8, T12, T16 presented more favorable results as for the capacity of aeration. As for the chemical properties: the pH, was above 7.0 with the exception of the control substrate; whereas, the electrical conductivity did not overcome the 3 dS/m maximum value by the control substrate. The indexes of germination reached are above 80%, which reduces the probability of inhibition in the germination for all the substrata. The accumulated germination twenty-four days after the sowing (DDS) was 90.0 % in It was 90.0 % in rabble (T17C), for the treatments T2, T7, T12, T16 it was 92.0; 92.0; 93.0 and 89.0 % respectively. The height (cm) of plant to 50 DDS was 8.46 in rabble, for the treatments T4, T8, T12, T14 it was 6.06; 13.0; 12.39 and 13.25 respectively, whereas the diameter of stem was 0.26 for T17C; and for the treatments T2, T7, T12, T14 it was 0.20;



0.31; 0.30; and 0.31 respectively. As for the fresh weight (g) of the aerial part to 50 DDS, the result in rabble was 17.96 g, for the treatments T4, T6, T12, T14, the results were 11.81; 36.38; 35.91 and 41.11, whereas for the root system the fresh weight in rabble was 10.87 g, and for the treatments T4, T6, T12, T15 the results were 9.45; 12.22; 12.75 and 14.64 respectively. The results in content of dry matter (%) for the aerial part in rabble were 19.06 % for T4, T8, T12, T16 the results were 14.97; 16.31; 15.22; and 17.07 respectively, whereas for the root system the best treatments were T3, T8, T11, T13 presenting values 14.80; 15.92; 14.89; 15.42 respectively and for the rabble (T17C) 11.06. The results corresponded to the best treatment of every group according to the time of *Hydrilla*'s degradation (see volumetric composition of the substrata) compared with the rabble or control treatment. T2, T7, T12, T16 presented percentages of germination and uniformity in the germination, similar to the obtained ones in rabble. The plants produced in T8, T12 and T14 presented major growth to 50 DDS, measured as height of plant and diameter of stem, fresh weight of stem and root, and content of dried matter in stems and roots than the ones produced in rabble (T17C). The treatment 12 (H30-85-15) under the conditions and used methodologies, is advisable as alternative substitute of *Sphagnum*'s rabble.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala uno de los principales cultivos hortícolas es el chile pimiento. El incremento en la demanda de este producto ha promovido el crecimiento en la industria de producción de este cultivo en pilón, aunado a ello se ha visto el incremento en la importación de sustratos, lo que para Guatemala representó en el primer trimestre del año 2006 un volumen de importación de 272,812 kg de peat moss.

La turba de *Sphagnum* o peat moss es uno de los sustratos más ampliamente utilizados para la producción de plántulas en el ámbito mundial, sus propiedades físicas, químicas y biológicas permiten una adecuada germinación y crecimiento de las plántulas, pero su elevado costo y explotación no sostenible ha comenzado a restringir su uso (Abad, M. 1993). Debido a ello se ha motivado la búsqueda de otros materiales locales y de alta disponibilidad, tanto orgánicos como inorgánicos o la mezcla de ellos como una alternativa para la reducción de costos. Dentro de estos materiales esta *Hydrilla verticillata*; planta acuática sumergida con gran adaptabilidad y crecimiento agresivo que favorece el proceso de eutrofización (Arrivillaga, A. 2002). En la actualidad esta planta se encuentra infestando y causando problemas en sectores económicos, sociales y ambientales en las aguas de la cuenca del lago de Izabal y Río Dulce, en el departamento de Izabal, Guatemala.

La alta y frecuente deposición de residuos de esta planta a orillas del lago, la hace hospedero favorito para la reproducción de moscas y zancudos, así como de la emanación de malos olores, contaminado en gran medida el medio. En Guatemala este residuo orgánico no ha sido evaluado como sustrato sustituto de la turba, teniéndose referencia de otros materiales como cascarilla de arroz, fibra de coco y bagazo de caña.

En este experimento se evaluó el efecto del uso de las mezclas de residuos de *Hydrilla verticillata* degradados y perlita en distintas proporciones como sustrato en la germinación y crecimiento de semillas de chile pimiento var. Tropical Irazú Mejorado, en bandejas de poliestireno, bajo condiciones de invernadero.



Materiales y métodos

Este experimento se desarrolló en dos lugares, la degradación y la caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos se llevó a cabo en el Centro Experimental Docente de Agronomía y en el laboratorio de análisis de suelo y agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (14°35'6" Latitud Norte 90°33'9" Longitud Oeste) con una altitud de 1.502 msnm, con una precipitación media anual de 1.216,2 mm., temperatura media de 18,3 °C y humedad relativa del 79% (Cordón, 1991) durante el periodo de octubre a diciembre de 2007.

El experimento a nivel de invernadero se llevó a cabo en los invernaderos de la empresa Pílon Plus dedicada a la producción comercial de pilones. Ubicada en la aldea San Lorenzo en el municipio de San Miguel el Tejar departamento de Chimaltenango, Guatemala (Latitud Norte 14°38, 45", Longitud Oeste 90°47,30") a una altitud de 1.700 msnm, con temperatura promedio anual de 16°C, (Dominguez, 2000) durante el periodo de Febrero, a Abril de 2008.

El desarrollo del experimento se realizó en tres etapas, iniciando con una etapa de campo, para la colecta y tratamiento de los residuos de *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle, posteriormente una etapa de laboratorio para la caracterización de las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de las proporciones de perlita y residuos de *Hydrilla verticillata* sometida a diferentes tiempos de compostaje, consecutivamente la etapa en invernadero donde se evaluó el efecto de los sustratos en la producción de plántulas en pilón del cultivo de chile pimienta *Capsicum annum* L.

Se utilizaron dieciséis sustratos elaborados a base de residuos de *Hydrilla* y perlita y la turba comercial KLASMANN TS1 como sustrato testigo o control. Los dieciséis sustratos estuvieron conformados por mezclas volumétricas con proporciones de *Hydrilla* y perlita.

Tabla 1. Composición volumétrica de las mezclas (sustratos) ensayadas para la producción de plántula en pilón de chile pimienta (*C. annum* L.)

Evaluación agronómica de Hydrilla verticillata (L.F.) Royle como sustrato alternativo a la turba de sphagnum para la producción de plántulas en pilón de chile pimienta

Tratamiento	Nomenclatura	Mezcla (% en volumen)
1A	H0-100	Testigo absoluto Hydrilla sin compostaje 100%
2	H0-95-5	Hydrilla sin compostaje 95% - Perlita 5%
3	H0-90-10	Hydrilla sin compostaje 90% - Perlita 10%
4	H0-85-15	Hydrilla sin compostaje 85% - Perlita 15%
5	H15-100	Hydrilla con 15 días de compostaje 100%
6	H15-95-5	Hydrilla con 15 días de compostaje 95% - Perlita 5%
7	H15-90-10	Hydrilla con 15 días de compostaje 90% - Perlita 10%
8	H15-85-15	Hydrilla con 15 días de compostaje 85% - Perlita 15%
9	H30-100	Hydrilla con 30 días de descomposición 100%
10	H30-95-5	Hydrilla con 30 días de compostaje 95% - Perlita 5%
11	H30-90-10	Hydrilla con 30 días de compostaje 90% - Perlita 10%
12	H30-85-15	Hydrilla con 30 días de compostaje 85% - Perlita 15%
13	H45-100	Hydrilla con 45 días de descomposición 100%
14	H45-95-5	Hydrilla con 45 días de compostaje 95% - Perlita 5%
15	H45-90-10	Hydrilla con 45 días de compostaje 90% - Perlita 10%
16	H45-85-15	Hydrilla con 45 días de compostaje 85% - Perlita 15%
17C	TS-100	(Control) Turba de Sphagnum

La caracterización física se realizó para todas las mezclas, mientras que la caracterización química y biológica únicamente para los sustratos sin mezcla con perlita. Según Bunt, 1998 la perlita es un material inerte, que no se descompone biológica ni químicamente. La caracterización física se realizó en base seca y en relación al volumen, utilizando una probeta graduada de 100 ml por lo que los datos se presentan en % vol. para las principales propiedades. Se hizo uso de balanzas analíticas, probetas, embudos, erlenmeyers, beakers y varillas de vidrio, así como de hornos de convección y un cronometro.

La propiedad química disponibilidad de nutrientes se llevo a cabo por los siguientes métodos, para los elementos primarios N Micro-Kjeldahl P Calorimetria y K Espectrofotometría de absorción atómica. Los elementos secundarios Ca, Mg y los micro elementos Fe, Cu, Zn, Mn por Espectrofotometría de absorción atómica.



El pH se determinó mediante un potenciómetro utilizando una relación 1:2.5, (sustrato agua) mientras que la Conductividad Eléctrica mediante un conductímetro utilizando una relación 1:2 sustrato-agua.

La medición de contenido de carbono orgánico se realizó por el método Walkley-Black de oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio. El nitrógeno total (N) se midió por el método Micro-Kjeldahl (digestión, destilación, titulación). La medición de contenido de materia orgánica se realizó por el método Walkley-Black de oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio.

Para la caracterización biológica se obtuvo un extracto acuoso mezclando sustrato y agua destilada en proporción 1:10, se agitó durante 30 minutos y luego se centrifugó a 5.000 rpm por 15 minutos, finalmente se filtró el sobrenadante (Emino E., Warman P. 2004).

En una placa Petri se colocó un disco de papel filtro, sobre éste se distribuyeron 20 semillas de chile pimiento variedad Tropical Irazú y se adicionaron 10 ml del extracto acuoso filtrado. Las placas permanecieron durante 96 horas en cámara de germinación oscura; finalmente se calculó el índice de germinación mediante las siguientes fórmulas, $GR = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el extracto}}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el testigo}} * 100$; $ER = \frac{\text{Elongación (mm) de radículas en el extracto}}{\text{Elongación (mm) de radículas en el testigo}} * 100$ Donde: GR: porcentaje de germinación relativo; ER: crecimiento de radícula relativo; IG: índice de germinación (Tiquia, S.M. 2000).

En la etapa de invernadero se dispuso de bandejas de poliestireno especiales para producción de plántulas con capacidad de 242 celdas y dimensiones de 0.66 x 0.66 x 0.33 m (alto, largo y ancho). Se llenaron 51 bandejas una por cada repetición. De las 242 celdas de una bandeja se llenaron 100 celdas con cada sustrato elaborado, se sembró una semilla de chile por celda, se regaron y se introdujeron en una cámara de pre germinación oscura por cuatro días a una temperatura de 25 °C después las semillas fueron cubiertas con una ligera capa del mismo sustrato, posteriormente trasladadas al invernadero. Se ubicaron 12 bandejas

por cada estructura de soporte, las cuales están construidas con marcos de metal con distancia de separación entre cada uno equivalente a la longitud de las bandejas. Simultáneamente se sembró un tratamiento testigo o control, constituido por turba de *Sphagnum*. Se realizaron 2 riegos diarios (8:00 y 13:00 horas) durante todo el ensayo. A partir del día 12 de realizada la siembra y hasta el día 24 se cuantificó cada dos días el número de plántulas con las dos hojas cotiledonales totalmente desplegadas. El total de plantas con las dos hojas cotiledonales desplegadas se utilizó para calcular el porcentaje de germinación para lo cual se utilizó la siguiente fórmula: $PG = (PHCD) 100 / NSS$ Donde: PG: porcentaje de germinación; PHCD: plántulas con las dos hojas cotiledonales totalmente desplegadas; NSS: número de semillas sembradas (Tiquia, S.M. 2000).

A los 50 días después de la siembra se determinó la altura de plántula, diámetro en la base del tallo, peso fresco de la parte aérea y sistema radicular, contenido de materia seca de la parte aérea y sistema radicular, para lo cual se utilizó una muestra de 30 plántulas por repetición de las 100 plántulas que conformaron cada unidad experimental. También se midió el grado de compactación y resistencia al golpe del pilón utilizando la siguiente escala: **Buena**: si al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer no se desmorona (se mantiene el 100% del sistema sustrato raíz); **Regular**: si al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer se mantiene un 75% del sistema sustrato raíz; **Mala**: si al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer se mantiene menos del 75% del sistema sustrato raíz.

El análisis de varianza de los datos obtenidos se realizó utilizando un diseño completamente al azar, donde se analizaron todos los tratamientos independientemente con un 95% de confiabilidad y un 5% de significancia para las pruebas múltiple de medias Tukey. Todos los datos obtenidos en la etapa de invernadero con excepción del grado de compactación y resistencia se procesaron en el paquete computacional para análisis estadísticos SAS® (SAS Institute Inc. Raleigh, NC) versión 6.0 utilizándose el procedimiento LSMEANS para las pruebas de medias. Las variables índice de germinación, grado de compactación de pilón, y grado de resistencia de pilón fueron analizadas únicamente mediante gráficas debido a la poca variabilidad de los datos obtenidos. Las variables correspon-

dientes a la caracterización física y química de los sustratos se analizaron comparativamente con los rangos medios recomendados por la literatura, los cuales son considerados los niveles estándar óptimos.

Resultados y discusión

Los valores que recoge la tabla 2, muestra que la mezcla volumétrica de *Hydrilla* sin compostaje y perlita, definida como T4 (H0-85-15) destaca por tener una alta capacidad de aireación. Esto puede atribuirse a que tiene mayor porcentaje de perlita en su composición, asociado también a que ésta por sí sola posee valores de aireación elevados (58%) debido a su origen silicatado y al proceso de expansión que sufre al evaporar el agua contenida, lo cual le proporciona alta aireación y una baja densidad aparente 0.1 gr/cm^3 valor al que se acerca también el de T4 (H0-85-15).

Obviamente el tratamiento control presentó los valores más elevados en cuanto al espacio poroso total y agua fácilmente disponible lo cual demuestra que es un material físicamente más estable debido a que el agua fácilmente disponible (AFD) mantiene la humedad del sustrato por periodos más prolongados, viéndose afectado únicamente su valor de capacidad de aireación por no contener perlita.

Cabe notar que los valores de capacidad de aireación (CDA) se encuentran dentro de los niveles óptimos, haciéndose notorio el valor del T8 (H15-85-15) el cual es levemente más alto (31%), confirmando con ello que la capacidad de aireación en los materiales está muy relacionado con el porcentaje de perlita presente en la mezcla, así como un valor mayor de AFD (48.8%) para el tratamientos con menor contenido de perlita T5 (H15-100).

Según los valores de las propiedades AFD y CDA las cuales dependen del EPT ambas están muy relacionadas, por lo que si la capacidad de aireación CDA aumenta el agua disponible AFD disminuye esto por efecto de la perlita en el sustrato.

Los valores de AFD en todos los tratamientos sometidos a compostaje superan los niveles óptimos ya sea con o sin presencia de perlita en la mezcla, mientras que los valores de CDA normalmente están dentro de los niveles óptimos, presentándose mejores cuando el contenido de perlita en la mezcla es mayor.

Esto lleva a percibir que si se requiere aireación, debe de usarse el mayor porcentaje de perlita sin importar el tiempo de compostaje, ahora bien si se quiere que el agua disponible sea mayor debe de usarse el menor o cero porcentaje de perlita en la mezcla. Esto puede definirse según la respuesta del cultivo. Por lo que las propiedades físicas son apenas uno de los factores que definen el éxito de un sustrato.

Todos los tratamientos se comportaron de manera similar en sus propiedades físicas, por lo que puede utilizarse cualquiera, esto no garantiza que se observen resultados iguales o parecidos cuando sean sometidos como medio de cultivo, debido a que un buen sustrato varía en cada caso de acuerdo con numerosos factores como la especie cultivada, condiciones climáticas, tamaño y forma de la bandeja, programas de riego y fertilización etc. Asumiendo al sustrato y sus propiedades físicas como un elemento más del complejo agroecosistema hortícola.

Para materiales que presentan densidad alta al sufrir descomposición como *Hydrilla* debe de priorizarse la capacidad de aireación (recurriendo a mezclas con otros materiales), esto conllevaría a realizar riegos con mayor frecuencia, pero garantizando un buen desarrollo radicular mejorándose muchas de las características del pilón.

Tabla 2. Propiedades físicas de los sustratos evaluados en el ensayo de *C. annum* con proporciones mezcladas de perlita: Materia seca (Ms, %), Contenido de agua en base humedad (CAh, %), Humedad volumétrica (Hvol, %), Densidad aparente seca (Da, gr/cm³), Espacio poroso total (EPT, %vol), Agua fácilmente disponible (AFD, %vol), Capacidad de aireación (CDA, %vol), Mojabilidad (M, minutos)

<i>Tratamiento</i>	<i>Ms</i> (%)	<i>CAh</i> (%)	<i>Hvol</i> (%)	<i>Da</i> (g/cm ³)	<i>EPT</i> (% vol.)	<i>AFD</i> (% vol.)	<i>CDA</i> (% vol.)	<i>M</i> (Minutos)
T1	59.4	40.6	49.9	0.3	78	49.9	28.1	1.94
T2	62	38	37.9	0.2	80	37.9	42.1	1.78
T3	58.9	41.1	40.7	0.2	80	35.7	44.3	1.8
T4	49.3	50.7	30	0.2	77	30	47	1.56
T5	74.9	25.1	45.8	0.3	75	48.8	26.2	2.55
T6	65	35	47.4.9	0.3	74	47.4	26.6	2.48
T7	71	29	48.5	0.3	73	45.1	27.9	2.51
T8	77	23	45.3	0.3	77	45.3	31.7	2.32
T9	75.8	24.2	45.9	0.4	72	45.9	26.3	2.91
T10	80.3	19.7	37.1	0.3	72	37.1	34.9	2.87
T11	72.5	27.5	54.2	0.4	74	36.2	37.8	2.55
T12	71.1	28.9	64.8	0.3	70	31.8	38.2	2.58
T13	65.8	34.2	50.7	0.4	73	50.7	22.3	3.25
T14	76.4	23.6	55.6	0.4	72	45.6	26.4	3.2
T15	72.6	27.4	42.9	0.3	70	42.9	27.1	3.16
T16	61.4	38.6	37	0.3	72	37	35	3.05
T17Control	30.1	69.9	67.2	0.2	90	67.2	22.8	4.51
Niveles óptimos*	20-30	55-65	24-40	0.15-0.5	>85	20-30	20-30	<5

*Fuentes: Koranski, DS, 2004, Cadahia, I., 2005

Con relación al pH todos los tratamientos presentan valores superiores a 7.0. Esto es importante, ya que la mayoría de los nutrientes mantiene su máximo nivel de asimilabilidad en pH entre 5.0 y 6.5 (Cadahia C, 2000). Este comportamiento puede deberse al origen calcáreo de los sedimentos acuáticos donde crece *Hydrilla* y a la presencia en el material extraído de restos de fauna (caracoles y peces muertos) conformada en su estructura principalmente por calcio. Puede notarse que los

valores de pH van aumentando conforme se da el proceso de descomposición donde los nutrientes pasan de forma orgánica a mineral. El pH del tratamiento control se encuentra en los rangos adecuados, sin embargo los pH alcalinos del resto de tratamientos no tienen efecto negativo sobre la germinación y desarrollo de las plantas, esto puede corresponder a la naturaleza orgánica de los sustratos presentando una mayor capacidad tampón.

Tabla 3. Valores de pH, y conductividad eléctrica (CE, dS/m) de los sustratos sometidos a compostaje y sin mezcla con perlita evaluados en el ensayo de (*C. annuum* L.)

<i>Tratamiento</i>	<i>pH</i>	<i>CE</i> <i>dS/m</i>
T1	7.8	0.96
T5	9.1	1
T9	9.2	0.25
T13	9.2	0.15
T17C	5.9	0.3
Valores óptimos*	5.2-6.3	0.75-3.49

*Fuente: Masaguer, A. 2006

4. Concentración de nutrientes disponibles expresada en ppm de los sustratos en el ensayo de (*C. annuum* L.)

<i>Tratamiento</i>	P (ppm)	K (ppm)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)
T1	116	410	1410.4	455.62
T5	18.79	9100	7380	3721.54
T9	97	2250	9026.15	1036.39
T13	74	5400	9026.15	761.8
T17C	117.65	1440	14192.15	1909.98
Rango medio*	06-10	150-249	>200	>70

*Fuente: Masaguer, A. 2006

Los niveles de nutrientes menores se encuentran en los rangos óptimos principalmente Cu y Fe excepto el tratamiento control que sus concentraciones en todos los nutrientes están muy por encima de los niveles óptimos. Se distinguen los altos valores de manganeso con concentraciones de hasta 130 ppm, esto puede estar relacionado al origen del material debido a que proviene de aguas cuyos fondos marinos son de origen calcáreo por lo mismo los niveles de calcio se encuentran para la mayoría de tratamientos en forma elevada.

Tabla 5. Concentración de nutrientes menores disponibles expresada en ppm de los sustratos en el ensayo de (*C. annum* L.)

<i>Tratamiento</i>	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
T1	0.5	1.5	3	17.5
T5	0.1	0.1	1	130
T9	0.1	0.1	1	52.5
T13	0.1	0.1	3	62
T17C	1.5	24	115.5	58.5
Niveles óptimos*	0.001-0.5	0.3-3.0	0.3-3.0	0.02-3.0

*Fuente: Abad et al. (1993)

La relación carbono nitrógeno se encuentra adecuada para los tratamientos sin compostaje, reduciéndose considerablemente en los tratamientos sometidos a compostaje, lo cual es indicativo de la degradación y de una mayor estabilidad del material, debido a su origen el carbono está presente en formas no resistentes a la degradación.

Se destaca la relación C/N del sustrato control, influida igual que la materia orgánica, por la naturaleza del material presentando en ambas propiedades los valores más altos.

Tabla 6. Porcentaje de materia orgánica (MO, %), nitrógeno total (N, %) y relación C/N de los sustratos en el ensayo de (*C. annum* L.)

Tratamiento	M.O. (%)	N (%)	C/N
T1	13.18	0.8	26:1
T5	22.41	0.9	14:1
T9	14.5	2.59	3.2:1
T13	19.11	1.48	7.5:1
T17C	63.92	0.73	68:1
Rango medio*	50-60	1-2	20-40

*Fuente: Abad et al, (1993)

En la caracterización biológica los bioensayos según Emino y Warman (2004) valores de IG inferiores a 50% indican una alta fitotoxicidad del material; IG entre 50% y 80% indican fitotoxicidad moderada y valores superiores a 80% el material no presenta fitotoxicidad. Si se consideran los IG de *Capsicum annum* L. obtenidos en el extracto de saturación 1:10, los tratamientos con 0, 15, 30 y 45 días de compostaje no presentaron compuestos fitotóxicos.

Tabla 7. Índice de germinación (IG%) para determinar efectos fitotóxicos en los residuos sometidos a diferentes tiempos de compostaje

Tratamiento	No. Semillas germinadas	Elongación de radículas (mm)	GR %	ER %	IG
T1	20/20	8	100	80	80
T5	19/20	9	95.0	90	85.5
T9	19/20	10	95.0	100	95
T13	18/20	9	90.0	90	81
T17C	20/20	10	100	100	100



La germinación se presentó en forma variable con respecto al control. En la primera evaluación 12 DDS la turba presentó el porcentaje de germinación, mas alto siendo diferente estadísticamente al obtenido en los demás tratamientos, lo cual podría atribuirse a sus características físico-químicas dentro de las que destacan su alta retención de humedad, porosidad total alta y reducida conductividad eléctrica. A medida que avanzó el experimento la diferencia entre el porcentaje de germinación obtenido en la turba y los demás sustratos utilizados, se redujo considerablemente de manera que 24 DDS la turba y todos los tratamientos no presentan diferencias estadísticas. El retraso del inicio de la germinación parece estar relacionado a la mayor densidad aparente presentada en los sustratos con 15, 30, y 45 días de compostaje, debido a que la mayoría de tratamientos que tienen un retraso en la germinación fueron sometidos a compostaje mientras que la CF y otras propiedades químicas no tuvieron un efecto significativo en este retraso. Más aun propiedades físicas como baja capacidad de aireación pudieron estar asociadas a este retraso. La turba presentó la germinación más uniforme lo cual se reflejó como un pico muy pronunciado a los 12 DDS con una base muy estrecha.

Cuadro 1. Efecto de los sustratos de producción sobre el porcentaje de germinación acumulada en plántulas en pilón de (*C. annuum* L.)

Sustrato	Días después de la siembra						
	12	14	16	18	20	22	24
T17	46 ^a	85 ^a	88 ^a	89 ^a	90 ^a	90 ^a	90 ^a
T2	40 ^{ab}	82 ^a	88 ^a	90 ^a	90 ^a	90 ^a	92 ^a
T7	17 ^{cd}	80 ^a	86 ^a	88 ^a	90 ^a	90 ^a	92 ^a
T12	13 ^{cd}	82 ^a	89 ^a	92 ^a	93 ^a	93 ^a	93 ^a
T8	13 ^{cd}	77 ^a	86 ^a	89 ^a	89 ^a	90 ^a	90 ^a
T3	23 ^{bc}	72 ^{bc}	83 ^a	86 ^{ab}	86 ^a	86 ^a	87 ^a
T4	14 ^{cd}	59 ^{bc}	80 ^a	84 ^{ab}	85 ^a	85 ^a	86 ^a
T5	12 ^{cd}	67 ^{bc}	77 ^a	81 ^{ab}	83 ^a	84 ^a	85 ^a
T1	15 ^{cd}	76 ^{bc}	83 ^a	85 ^{ab}	86 ^a	88 ^a	90 ^a
T10	4 ^d	60 ^{ab}	77 ^a	82 ^{ab}	85 ^a	87 ^a	87 ^a
T15	4 ^d	70 ^{ac}	81 ^a	85 ^{ab}	88 ^a	89 ^a	89 ^a
T6	1 ^d	68 ^{bc}	83 ^a	84 ^{ab}	86 ^a	89 ^a	89 ^a
T11	1 ^d	66 ^{bc}	81 ^a	84 ^{ab}	86 ^a	88 ^a	88 ^a
T16	1 ^d	68 ^{bc}	81 ^a	86 ^{ab}	88 ^a	88 ^a	89 ^a
T14	2 ^d	53 ^{bc}	73 ^{ab}	81 ^{ab}	85 ^a	86 ^a	87 ^a
T13	1 ^d	48 ^{bc}	73 ^{ab}	80 ^{ab}	86 ^a	87 ^a	87 ^a
T9	0 ^d	22 ^c	52 ^b	67 ^b	73 ^a	75 ^a	77 ^a

El tratamiento T9 (H30-100) fue el que menor porcentaje de germinación reportó, esto se vio marcado por una velocidad inicial de germinación muy lenta mantenida en el tiempo, esto puede apreciarse en la figura 1 de las curvas de germinación, puede atribuirse a la alta densidad del sustrato, a la baja capacidad de aireación o al alto contenido de humedad del sustrato. Esto se ve respaldado por los resultados similares que tuvo T13 (H45-100) el cual es un sustrato con densidad de 0.4 gr/cm³ y baja capacidad de aireación por no contener perlita.

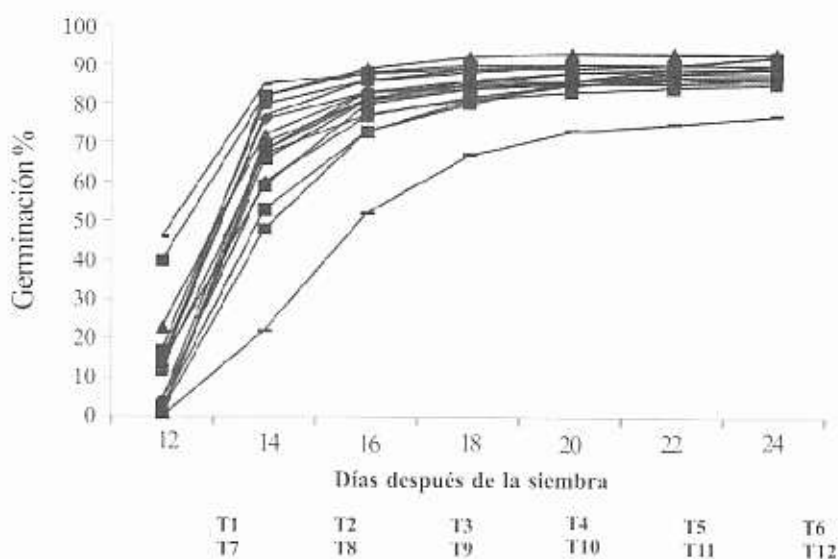


Figura 1. Efecto de los sustratos de producción sobre el porcentaje de germinación acumulada en plántulas de Chile pimienta (*Capsicum annuum* L.)

En el comportamiento de la longitud y el diámetro de tallo puede notarse que existen estadísticamente mejores tratamientos que el control, siendo superiores a este los tratamientos T7 (H15-90-10), T8 (H15-85-15), T13 (H45-100), T14 (H45-95-5) seguidamente el T12 (H30-85-15), mientras que el control se encuentra entre los peores tratamientos precedido únicamente por los tratamientos sin compostaje, esto pudo deberse a que en el control la germinación fue más pronunciada y



precoz iniciando el desarrollo vegetativo antes que el resto de tratamientos con compostaje. Esta anticipación provocó desuniformidad en el ensayo y debido a que la fertilización no podía realizarse únicamente para el control.

Para el diámetro los mejores tratamientos fueron T7(H15-90-10), T8(H15-85-15), T12 (H30-85-15), T13(H45-100), T14(H45-95-5), seguidos por T6 (H15-95-5), T10 (H30-95-5), y T16 (H45-85-15), siendo valores muy cercanos a los primeros.

Cuadro 2. Efecto de los sustratos sobre la altura (centímetros) y el diámetro de tallo en la base (centímetros) de las plántulas de *C. annuum* L. 50 días después de la siembra (transplante).

Tratamiento	Altura de plántula (cm)	Diámetro de tallo (cm)
T7	12.66 ^a	0.31 ^a
T13	13.03 ^a	0.31 ^a
T14	13.25 ^a	0.31 ^a
T8	13.00 ^a	0.30 ^{ab}
T5	10.66 ^{ab}	0.29 ^{ab}
T6	11.97 ^{ab}	0.30 ^{ab}
T9	10.54 ^{ab}	0.28 ^{ab}
T10	11.21 ^{ab}	0.30 ^{ab}
T11	11.77 ^{ab}	0.29 ^{ab}
T12	12.39 ^{ab}	0.30 ^{ab}
T15	11.29 ^{ab}	0.30 ^{ab}
T16	11.77 ^{ab}	0.30 ^{ab}
T17 C	8.46 ^{bc}	0.26 ^b
T1	5.50 ^c	0.20 ^c
T2	5.66 ^c	0.20 ^c
T3	5.74 ^c	0.20 ^c
T4	6.06 ^c	0.20 ^c

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales ($P < 0.05$)

El comportamiento de los pesos frescos de la parte aérea y radicular se manifiesta de manera similar a la altura y diámetro de tallo ubicando al tratamiento control como uno de los peores precedido únicamente por los tratamientos sin compostaje. El peso fresco del sistema radicular presenta mejores resultados en los tratamientos con mayor tiempo de compostaje y con los mayores porcentajes de perlita, esto puede deberse a que están mayormente mineralizados y contienen más aireación permitiendo un mejor desarrollo.

Cuadro 3. Efecto de los sustratos sobre el peso fresco de la parte aérea completa (g) y de la raíz (g) en plántulas de *C. annuum* L. 50 días después de la siembra (transplante).

Tratamiento	Parte aérea	Sistema Radicular
	Peso fresco (g)	Peso fresco (g)
T14	41.11 ^a	13.23 ^{ab}
T6	36.38 ^a	12.22 ^{ab}
T12	35.91 ^a	12.75 ^{ab}
T15	34.49 ^a	14.64 ^a
T5	33.54 ^a	8.95 ^{abc}
T7	33.55 ^a	10.87 ^{abc}
T8	34.49 ^a	10.87 ^{abc}
T9	32.60 ^a	8.03 ^{abc}
T11	33.07 ^a	11.81 ^{abc}
T13	37.33 ^a	10.39 ^{abc}
T10	30.24 ^{ab}	12.28 ^{abc}
T16	27.88 ^{ab}	12.28 ^{abc}
T17	17.96 ^{bc}	10.87 ^{abc}
T2	8.50 ^c	7.56 ^{abc}
T4	11.81 ^c	9.45 ^{abc}
T1	9.92 ^c	6.62 ^{bc}
T3	8.97 ^c	5.20 ^c

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales ($P < 0.05$)

Estadísticamente y según la prueba múltiple de medias todos los tratamientos son iguales no existiendo diferencia significativa para el contenido de materia seca radicular. Esto puede estar relacionado a que plántulas con menor desarrollo foliar concentraron el tiempo del ensayo en lignificarse, mientras que las plantas con mayor desarrollo foliar compensaron el contenido de materia seca con más biomasa. Esto puede observarse con los tratamientos T2 (H0-95-5), T3 (H0-90-10) y T17 (TS-100) que fueron más precoces en su germinación y por lo tanto estuvieron mayor tiempo en el ensayo.

Para el contenido de materia seca foliar si existe diferencia entre tratamientos presentando los valores más altos T17(TS-100), T(H0-100)I, T2(H0-95-5), y T3(H0-90-10).

La relación tallo raíz confirma que los tratamientos con mayor contenido de materia seca son aquellos que iniciaron una germinación inicial rápida permitiendo la maduración del tejido vegetal.

Cuadro 4. Efecto de los sustratos sobre el contenido de materia seca de la parte aérea completa (%), de la raíz (%), y la relación tallo/raíz (%) de las plántulas de *C. annuum* L. 50 días después de la siembra (transplante).

Tratamiento	Contenido de Materia seca (%)	Contenido de Materia seca (%)	Relación Tallo/Raíz (%)
T17	19,06 ^a	11,06 ^d	1,72 ^{ab}
T3	18,32 ^{ab}	14,80 ^b	1,24 ^{abc}
T2	17,62 ^{abc}	9,05 ^e	1,95 ^a
T6	15,12 ^{abc}	14,39 ^c	1,05 ^{abc}
T7	15,85 ^{abc}	14,56 ^c	1,09 ^{abc}
T10	17,23 ^{abc}	14,02 ^c	1,23 ^{abc}
T11	15,19 ^{abc}	14,89 ^c	1,02 ^{abc}
T12	15,22 ^{abc}	14,51 ^c	1,05 ^{abc}
T1	16,49 ^{abc}	10,28 ^d	1,60 ^{abc}
T15	15,26 ^{abc}	10,45 ^d	1,46 ^{abc}
T16	17,07 ^{abc}	12,24 ^d	1,39 ^{abc}
T8	16,31 ^{abc}	15,92 ^d	1,02 ^{bc}
T4	14,47 ^{bc}	11,35 ^d	1,27 ^{abc}
T9	14,51 ^{bc}	15,61 ^d	0,93 ^{bc}
T13	14,94 ^{bc}	15,42 ^d	0,97 ^{bc}
T5	14,82 ^{bc}	14,27 ^d	1,04 ^c
T14	14,19 ^c	12,22 ^d	1,16 ^{abc}

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0,05)

El grado de compactación se presentó de forma más uniforme para todos los tratamientos, se puede distinguir que los tratamientos correspondientes a los sustrato sin compostaje presentan el menor grado de compactación debido al poco sistema radicular desarrollado.

Los valores de resistencia al golpe son más variables, siendo los mismos tratamientos sin compostaje los que menos resisten, desintegrándose casi en su totalidad el sistema sustrato-raíz.

Los sustratos con mayor descomposición presentaron el grado de resistencia más alto esto debido a que se desarrolló un sistema radicular más fuerte el cual se distribuyó por todo el sustrato estableciendo una especie de red para mantener el sustrato fijo.

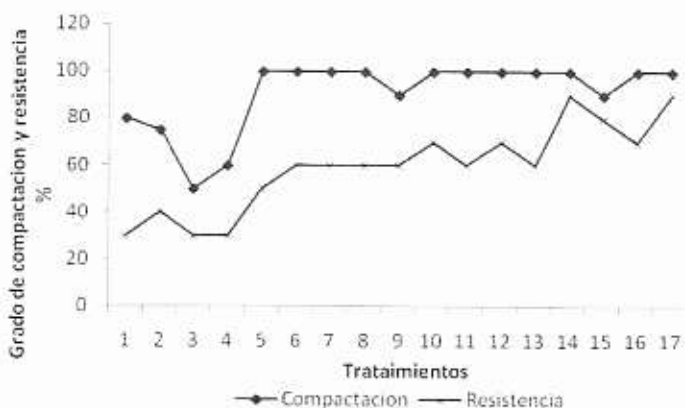


Figura 2. Efecto del sistema sustrato-raíz en el grado de compactación y resistencia al golpe en pilones de plántulas de (*Capsicum annum L.*)



Conclusiones y recomendaciones

El mejor sustrato para sustituir a la turba fue la mezcla de *Hydrilla verticillata* degradada en 30 días y perlita en proporción 85% *Hydrilla* y 15% perlita T12 (H30-85-15).

Se recomienda evaluar porcentajes mayores al 15% de perlita para determinar el efecto en la disminución de la densidad de los sustratos.

Literatura citada

1. Abad, M. 1993. Sustratos. Características y Propiedades. In: Cultivo sin suelo. F. Cánovas y J. Díaz. (Ed.) Instituto de Estudios Almerienses.
2. Arrivillaga, A. 2002. Evaluación de la presencia de *Hydrilla verticillata* en la región de Río Dulce y Lago de Izabal: Diagnóstico general e identificación de medidas de control. Concejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP; Oficina Técnica de Biodiversidad OTECBIO; Fondo Nacional para la Conservación de la Naturaleza FONACON 74 pp.
3. Bunt, A.C. (1998). Media and Mixes for Container-Grown Plants, 2.^a ed. Unwin Hyman Ltd., London, 309 pp.
4. Cadahia C. 2000. Fertirrigación; cultivos hortícolas y ornamentales, 2.a ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp 301-344
5. Cordón Sosa, EN. 1991. Levantamiento detallado de suelos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 137 p.
6. Domínguez Barco, SJ. 2000. Diagnóstico del nivel tecnológico empleado en la producción de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) en la finca Labor Elisa, San Miguel El Tejar, Chimaltenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 38 p.
7. Emino E., Warman P. 2004. Biological Assay for Compost Quality. *Compost Science & Utilization*, Vol 12, No. 4, 342-348.
8. Masaguer A.; López M.; Ruiz J. 2006. Producción de planta ornamental en contenedor con sustratos alternativos a la turba. Consejería de economía e innovación tecnológica, Madrid 169 pp.
9. Rojas A., Orellana R., Sotomayor F., Varnero M. 2005. Fitotoxicidad de extractos de residuos orgánicos y su efecto sobre el índice de germinación de rabanito y pepino. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* ISSN0718-2791 *versión on-line*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004, Santiago, Chile.
10. Tiquia, S.M. 2000. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig on litter system. En: P.R. Warman y B.R. Taylor, Ed., *Proceedings of the International Composting Symposium*, CBA Press Inc. Truro, NS, p: 625-647.

**Evaluación técnico-económica de dos
sistemas de riego aspersion en caña de
azúcar (*Saccharum spp.*) Ingenio Magdalena,
S. A., La Democracia, Escuintla**

Ing. Agr. Rolando Lara Alecio (Asesor Especifico),

Ing. Agr. Marco Vinicio Fernández (Sup. EPSA),

Bach. Julio Francisco Barneond (Tesisista USAC).



INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es uno de los cultivos más tecnificados que existen en nuestro país lo cual se ratifica al observar que Guatemala se sitúa dentro de los 10 exportadores más grandes del mundo, esto se ha logrado debido a que año tras año, se han implementado nuevas tecnologías utilizando más eficientemente los recursos disponibles.

En nuestro país el riego juega un papel determinante en el aumento de la producción, ya que a través del riego, se logra proveer de agua al cultivo para realizar sus procesos fisiológicos en la época de déficit hídrico, por ello la práctica del mismo es común, en todas las empresas que componen la agroindustria azucarera nacional, porque al no aplicar el agua requerida, la productividad del cultivo disminuye drásticamente, lo que convierte al riego en una de las labores más importantes en el manejo de una plantación de caña de azúcar.

Actualmente se opera una gran variedad de sistemas de riego, todos con el objetivo primordial de satisfacer las necesidades hídricas del cultivo en cada una de sus etapas fenológicas, de una manera técnica y económica. Algunas de estas técnicas ya presentan mejoras considerables en cuanto a calidad de riego, y disminución de los costos de operación. El método de aspersión con cañón es el más difundido y en él se invierte anualmente el 70% de los recursos financieros destinados a prácticas de riego, por lo que es de suma importancia la búsqueda de sistemas alternativos más eficientes y económicos, que contemplen el uso más eficiente del recurso hídrico.

En la finca Marias Mapan, de Ingenio Magdalena S.A. se ha instalado un sistema de mini aspersión, con la finalidad de evaluar su desempeño y poder compararlo con el sistema tradicional de cañones o aspersión móvil, analizando sus características técnicas y económicas. Se pretende con esta comparación demostrar si existe o no, una mejora considerable en la calidad de la práctica del riego en caña de azúcar, manejando de diferente manera aspectos como: Frecuencia de riego, tiempo de riego, uniformidad de mojado, y precipitación por hora de riego. Todo esto enmarcado en una disminución del costo energético por hora, y en el costo de mano de obra. Ya que al combinar el incremento de la productividad con la aplicación del riego a menores costos se obtienen bajos costos de producción, mayores utilidades y mejores índices financieros, tales como: Valor neto actual y Tasa interna de retorno, por ello la búsqueda continúa en alternativas como la mini aspersión.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGOS

La investigación se realizó en la finca Marías Mapan que se encuentra a una distancia de 121 Km., de la ciudad capital en las coordenadas 14° 19' 44.1" Latitud Norte y 91° 12' 7.2" Longitud Oeste, a una altura de 95 msnm. Colinda al norte con la finca Mixqueño, al Sur con la finca Peralta, al Este con la finca San Roque, y al Oeste con la finca Recreo Cocales. Posee una extensión de 204.07 hectáreas, cultivadas en su totalidad con caña de azúcar, dividida en 10 lotes como centros de costo, agrupados en 2 sectores.

CONDICIONES CLIMÁTICAS

La precipitación media anual en la zona es de 1,500 a 1,600 mm., anuales, concentrados durante la época lluviosa que comprende los meses de mayo a octubre, con una distribución bimodal ya por lo general se presenta una canícula en agosto, la temperatura promedio anual es de 27 a 28 grados Centígrados y la humedad anual es 60 a 80%. Basado en el sistema de clasificación de Holdridge, el área se encuentra en la zona de vida bosque muy húmedo subtropical cálido, donde las biotemperaturas oscilan entre 21 y 25 grados centígrados y la evapotranspiración potencial puede estimarse en 4.5 mm/día en promedio.

OBJETIVOS

El objetivo general de la investigación es analizar técnica y económicamente la operación de los dos sistemas de aspersión móvil con fines de mejora en la eficiencia de riego. Además de comparar el costo de riego por hectárea y evaluar los indicadores financieros de los sistemas de riego en cuestión.

METODOLOGÍA

ASPECTOS AGRONÓMICOS

Se definió el requerimiento de riego del cultivo de la caña de azúcar en función del balance hídrico, el cual se calculó con las siguientes variables: edad del cultivo,

evapotranspiración potencial de la zona, evapotranspiración máxima del cultivo y precipitación pluvial, el resultado final represento el requerimiento de riego por el cultivo expresado en mm., el cual se expreso en cantidad de riegos requeridos para cubrir el déficit hídrico con los sistemas aspersión cañón y mini aspersión.

Se determinaron las condiciones de operación de los sistemas en estudio para lo cual se analizaron las siguientes variables: componentes de cada sistema para regar un área de 100 hectáreas (área piloto de cada sistema), tiempo de operación por día, lámina bruta de riego (mm/riego), eficiencia del sistema, lámina neta de riego (mm/riego), lámina bruta de riego (mm/día), frecuencia de riego (días), días de operación al año, área regada por día, rendimiento del equipo (has/hr) y rendimiento del equipo (hr/ha).

Diseño y descripción de los sistemas de riego: Se describieron los componentes del sistema aspersión móvil y mini aspersión.

Aspersores: Se determinaron las condiciones de operación, Caudal, presión de operación, diámetro de mojado, diámetro de boquilla, distanciamiento, intensidad de riego, distanciamientos y coeficiente de uniformidad.

Unidad de bombeo: Se describieron los componentes de la unidad de bombeo, cálculo de la Carga Dinámica Total, elección de la bomba y potencia del motor, características de la bomba, características del motor.

Tubería de conducción y distribución de agua: Se detalló el diámetro y largo de tubería, disposición de la tubería en el campo, marcas de tubería utilizadas, cálculo de perdidas de carga para tuberías principales y laterales, carga requerida en la entrada del lateral. Y se describieron los siguientes accesorios: válvulas hidrantes, codo abre válvula, válvula en línea, tee de control con dos válvulas, cuello de ganso del aspersor, tapones finales, y cruces.

Operación del sistema de aspersión cañón: Se detalló la operación del sistema de aspersión cañón y mini aspersión en cuanto, tiempos de riego, frecuencias y logística de operación.

Balance hídrico y programación de riegos: Se determinaron las características físicas y constantes de humedad del suelo, y se calculó la lámina de humedad rápidamente aprovechable a una profundidad radicular de 60 centímetros, aplicando un déficit Permitido de Manejo del 60%. Para posteriormente relacionar estos datos con la evaporación y el Kc del cultivo según la etapa fonológica en la que se encuentra.

ASPECTOS ECONÓMICOS

Se analizaron los costos de la aplicación del riego aspersión cañón: Se calculó a) costo de inversión, b) costo de depreciación de la inversión y c) costo de operación que incluyen mano de obra directa e indirecta, tarifa hora motobomba y costo traslados, para la aspersión cañón.

Costo de inversión de los módulos de riego aspersión cañón: Se cuantificó la inversión realizada para el establecimiento de cada uno de los sistemas, a través de la deducción de los costos: a) abastecimiento de agua al sistema, b) equipo de riego, c) valor total de la inversión y d) área a cubrir con el sistema. Se calculó la depreciación del equipo tomando en cuenta a) valor de inversión del equipo, b) vida útil esperada en horas y c) rendimiento del sistema de riego en horas/hectárea.

Costos de operación de los sistemas de riego: Se determinó el costo de los rubros más importantes que constituyen el costo total. a) mano de obra directa, b) costo de bombeo, c) costo mano obra indirecta y d) costo de traslados de equipo.

Costo total de la aplicación del riego en ambos sistemas: Se integraron los costos siguientes: a) costos de depreciación, b) costos de operación. Y se obtuvo el costo de efectuar un riego.

ASPECTOS FINANCIEROS

Estos indicadores se calcularon utilizando un periodo de 5 años, tiempo promedio al cual son renovadas las plantaciones de caña de azúcar. Se calculó para cada sistema el Valor Neto Actual (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para lo cual se utilizó una tasa de descuento del 15%.

RESULTADOS

- Se determinó que del 15 de noviembre al 30 de abril, hay un déficit hídrico de 280 mm. de lluvia, cantidad que deberá ser suministrada por cada uno de los sistemas en su bloque respectivo. Llegando a determinar que la aspersión cañón deberá ejecutar seis riegos mientras que la mini aspersión cinco.
- Las dos motobombas están compuestas por un motor JOHN DEERE 4045 TF 250 y bomba BERKELEY B4EYQRMBM
- Ambos sistemas de riego se abastecieron del río Marias Mapan que atraviesa la finca. Dicho río contó con un caudal aproximado de 3,000 gpm.
- La prueba de infiltración demostró que para un suelo franco arenoso como el de la finca Marias Mapan, la infiltración básica es de 33.8 mm por hora.
- La cantidad de aspersores utilizados a la vez en la aspersión cañón, fue de 4, mientras que para la mini aspersión fue de 200. El área regada por cada aspersor fue de 0.20 has., para la aspersión cañón, y de 0.0216 has., para la mini aspersión. Algunos aspectos de su operación se pueden observar a continuación:

SISTEMA	ASERSOR	PRESION OP. (psi)	CAUDAL (m ³ /h)	Ø mojado (m)	IR (mm/h)
ASPERSION	NELSON F-100	50	46.56	45.00	22.96
MINI ASPERSION	VYR 36	45	1.00	16.00	4.63

- La boquilla utilizada para el aspersor Nelson F-100 fue la de 0.025 m., mientras que la boquilla del VYR 36 fue de 0.00396 m.
- La prueba de Coeficiente de Humedad de Christiansen, determinó que el CU para la aspersión cañón es de 76.98%, mientras que para la mini aspersión es de 85.08%.

- La Carga Dinámica Total (CDT) de cada sistema, la potencia requerida y las pérdidas por fricción de cada sistema se presentan en el siguiente cuadro.

SISTEMA	CDT (m)	Hp MOTOR	Hf (m)		
			LATERAL	ENTRADA LAT.	PRINCIPAL
ASPERSION	74.11	92.50	3.30	40.33	28.00
MINI ASPERSION	51.00	68.75	5.45	38.89	12.86

- En la operación del sistema de aspersión se realizaron en promedio 7 cambios o posiciones de laterales por día, mientras que para la mini aspersión únicamente 2. También se determinó que la eficiencia de operación (horas por temporada), fue de 53.12% para aspersión cañón y de 69.78% para la mini aspersión. Otros parámetros de operación se mencionan a continuación en el siguiente cuadro.

SISTEMA	H.TRAB. POR DIA	TR (h)	TURNOS/DIA	AREA REG./DIA/ha.	LAMINA (mm)
ASPERSION	16	2	2	5.6	47
MINI ASPERSION	24	12	2	8.64	55

- Los costos de inversión por hectárea bajo riego, para cada uno de los sistemas se pueden apreciar en el siguiente cuadro.

	INVERSION EN DOLARES AMERICANOS	
	ASPERSION CAÑON	MINI ASPERSION
EQUIPO DE RIEGO USD \$	58,000.00	56,000.00
VALOR TOTAL DE LA INVERSION USD \$	58,000.00	56,000.00
AREA A CUBRIR (has)	100	103
VALOR DE LA INVERSION (USD \$ /ha)	580	543

- Depreciación del equipo en función de su vida útil pactada para ambos sistemas a 10 años, se presenta a continuación.

DESCRIPCION	EQUIPO A DEPRECIAR	
	SISTEMA ASPERSION CAÑON	SISTEMA MINI ASPERSION
COSTO DE LA INVERSION USD \$	58.000,00	56.000,00
VIDA UTIL (horas)	16.800,00	30.700,00
AÑOS VIDA UTIL	10,00	10,00
COSTO UNITARIO USD \$ /hr	3,45	1,82
RENDIMIENTO hr/ha.	2.85	2.77
COSTO UNITARIO USD \$ /ha	9.83	5.05

- El costo total de la aplicación del riego que integra el costo de inversión, el costo de depreciación, costo de la mano de obra y el costo de la maquinaria se presenta en el siguiente cuadro.

CONCEPTO	COSTOS USD \$/ha	
	SISTEMA ASPERSION CAÑON	SISTEMA MINI ASPERSION
COSTOS DE DEPRECIACION		
DEPRECIACION DEL EQUIPO DE RIEGO	9.83	5.05
TOTAL DEPRECIACION	9.83	5.05
COSTOS DE OPERACIÓN		
MANO DE OBRA	17.03	7.13
MAQUINARIA	33.23	30.22
TOTAL OPERACIÓN	50.26	37.35
COSTO POR EFECTUAR UN RIEGO	60.09	42.4
NUMERO DE RIEGOS ESTIMADOS POR AÑO	6	5
COSTO ANUAL RIEGO	360.54	212.00
LAMINA BRUTA APLICADA (mm)	47	55,00
COSTO UNITARIO USD/mm., APLICADO	1.27	0.77

- El análisis financiero arrojó los siguientes resultados para un periodo de 5 años con una tasa de descuento del 15%.

ASPERSION CAÑON		MINI ASPERSION	
TIR	VAN	TIR	VAN
34%	367,740.44	53%	773,852.64

CONCLUSIONES

Al comparar los dos sistemas de riego se concluye que la mini aspersión:

- Mejora la eficiencia horas/día trabajadas (Menos horas perdidas). Aumenta el área regada por día de operación (54,28 %). Aplica un 17% más de lámina de riego por evento. Mejora la relación hectáreas regadas por hora de operación. Presenta un mayor coeficiente de uniformidad, esto aunado a la baja Intensidad de riego, mejora la distribución de la lámina de riego en el suelo. Demanda menor potencia, al requerir una menor presión de operación, por lo tanto el consumo de combustible por hora de operación disminuye considerablemente (46%).Facilita la logística de la operación del riego. Logró aplicar una mayor cantidad de milímetros de riego en la temporada de déficit hídrico (142 mm).
- En cuanto a costos la mini aspersión disminuyó el costo de la hectárea regada en un 30.8%. Ya que el costo de inversión por hectárea regada es un 48.6% menor, el costo de mano de obra disminuye en 58.5%, y el costo de maquinaria también disminuye en un 9%. La reducción en costo de estos rubros trae como consecuencia que el milímetro aplicado de riego disminuya al final en un 40.6%.
- La Tasa Interna de Retorno de ambos sistemas supera la tasa de descuento, pero la mini aspersión presenta mayores ventajas.
- Por cada USD \$ 100.00 invertidos en un sistema de mini aspersión se generan USD \$ 53.00., adicionales sobre la utilidad que se obtiene si no se aplica riego. Mientras que la aspersión tradicional genera USD \$ 34.00.

**RECOMENDACIONES**

- En función de las ventajas que presenta la mini aspersión, por los bajos costos de operación y mejora en calidad de riego, se recomienda para el riego en caña de azúcar, bajo las condiciones operativas de Ingenio Magdalena S. A.
- Tomar en cuenta la posibilidad de cambiar los equipos ya existentes de aspersión cañón, a mini aspersión, ya que así se podrá aprovechar en su totalidad el equipo existente y la inversión adicional en que se deberá incurrir es mínima, logrando de esta manera eficientar los equipos ya existentes de aspersión cañón.

Uso de aceites esenciales para el control del ácaro *varroa* destructor en abejas

*Tesista: Carlos A. Franco G
Ing. Agr. Marco V. Fernández
Ing. Agr. Samuel Córdova
Lic. Enrique B. Flores*



RESUMEN

Ante a la necesidad de encontrar tratamientos que se constituyan como una alternativa a los tratamientos químicos tradicionales en el control de *Varroa destructor*; debido a su elevado costo o a la necesidad de efectuar aplicaciones con escasos días de diferencia: se evaluaron tres productos naturales aplicados a través de un sustrato de gel que permitiera su lenta liberación en el interior de las colmenas. Se utilizaron diseños experimentales completamente al azar, con una confiabilidad del 95%. Se determinó que es factible usar aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus sp*) y extractos comerciales de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss), en el control de las poblaciones del ácaro *Varroa* ya que no existió diferencia significativa de acuerdo a las pruebas de Tukey entre los resultados de los tratamientos químicos tradicionales que son el Bayvarol¹ y el ácido oxálico; y el aceite esencial de Eucalipto y el extracto de Nim aplicados en un sustrato de gel que permite al menos igualar el tiempo de las aplicaciones de ácido oxálico que normalmente se efectúan cada cuatro días. Se determinó una eficacia de 80% y 54% para el Eucalipto y el Nim respectivamente, en comparación al 89% correspondiente al ácido oxálico y 100% del Bayvarol.

ABSTRACT

Due to the need to find treatments that are constituted as an alternative to the chemical traditional treatments in the control of *Varroa destructor*, and due to its high cost, or the need to effect applications with scanty days of difference there were evaluated three natural products applied in a gel substratum that was allowing its slow liberation inside the beehives. There was used a completely randomized design with a 95 % reliability. It was determined that it is feasible to use essential oil of Eucalyptus (*Eucalyptus sp*) and Nim's commercial extracts (*Azadirachta indica* A. Juss), in the control of the populations of the Varroa mite since significant difference in Tukey's tests wasn't found between the results of the chemical traditional treatments that are the Bayvarol¹ and the oxalic acid and the essential oil of Eucalyptus and Nim's extract, applied in a substratum of gel that allows to equalize at least the time of the applications of oxalic acid that normally are effected every 4 days. It was determined an efficiency of 80 % and 54 % for the Eucalyptus and the Nim respectively, in comparison to 89% corresponding to the oxalic acid and 100 % of the Bayvarol²

Palabras clave

Varroa destructor, ácaro, varroosis, abeja, colmena, flumetrina, fluvalinato, aceites esenciales, eucalipto, nim.

INTRODUCCIÓN

La varroosis es una enfermedad causada por un ácaro parásito que afecta a las abejas en todos sus estados de desarrollo alimentándose de su hemolinfa; actualmente representa un grave problema en la apicultura mundial, en la que provoca masivas pérdidas, ya sea por mermas en los rendimientos individuales, o por mortalidad de colmenas (1).

El ácaro *V. destructor* Anderson & Trueman, se considera como la plaga más importante de la abeja común (*Apis mellifera* L.) en el mundo (1). Hasta el año 2007, el control de *Varroa* se basaba principalmente en métodos químicos, siendo los más efectivos los piretroides sintéticos fluvalinato y flumetrina; pero el uso de estos productos presentó un historial de aparición de resistencia en los ácaros y el creciente rechazo a la miel con residuos de estos plaguicidas en el mercado internacional, por ello los fabricantes de dichos plaguicidas, han centrado su investigación en el desarrollo de productos a base de aceites esenciales como es el caso del producto comercial Apiguard®, que tiene como principio activo el aceite esencial de tomillo y es fabricado por Novartis® (3).

Los productos botánicos para el manejo de plagas tienen gran importancia en la actualidad; del árbol de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) (Meliaceae) se extraen diversos compuestos secundarios; la azadiractina es el de mayor importancia, pues actúa como repelente, antialimentario y retarda el crecimiento de los insectos (1).

El principal problema a resolver consiste en desarrollar tratamientos que puedan ser utilizados para el control de la varroosis, sin dejar residuos en la miel y que tengan bajo costo; esto junto con un adecuado programa de rotación de tratamientos para combatir la aparición de resistencia, es la clave para la resolución del problema ocasionado por el ácaro *Varroa*; sobre esta línea de acción se desarrolló esta investigación en el apiario de la finca Sabana Grande ubicada en la aldea El Rodeo, al Noroeste de la cabecera departamental de Escuintla; el clima de la zona es cálido y la temperatura media anual es de 23.78 grados centígrados siendo la zona de vida Bosque muy Húmedo Sub-Tropical cálido (2).

Materiales y Métodos

La investigación se dividió en una fase de laboratorio y una de campo; en la primera fase se evaluó la toxicidad que los productos naturales presentan sobre *A. mellifera* y al haberse obtenido resultados negativos se procedió a evaluar los productos naturales directamente en las colmenas para conocer el control ejercido por ellos en las poblaciones de *V. destructor*. Se hizo un censo inicial para determinar los niveles de infestación del ácaro *V. destructor* en cada una de las colmenas, y así poder escoger las más infestadas para llevar a cabo el estudio; así también se hicieron 5 muestreos a intervalos de 12 días, para conocer la evolución de las poblaciones de ácaros en cada una de las colmenas tratadas. También se hicieron pruebas para determinar el efecto tóxico o repelente de las sustancias en estudio en los ácaros. Para realizar el análisis estadístico del experimento, se utilizó el paquete para análisis de diseños experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 2.5 (4).

Fase de Laboratorio

Preparación de geles

El gel utilizado como sustrato para la aplicación de los aceites esenciales se obtuvo en el comercio local, en las que se comercializa con el nombre de: "Base de gelatina para el cabello sin color", los aceites esenciales de Eucalipto y Clavo, también se obtuvieron en los mismos comercios, en los que se comercializan bajo el nombre de "aceite esencial de Eucalipto" y "aceite esencial de Clavo", la fuente de extracto de Nim usada fue el producto comercial ACT BOTANICO, una suspensión concentrada conteniendo 0.003% de azadiractina. Las proporciones utilizadas entre el gel y los aceites esenciales, para cada una de las sustancias es de:

- Gel + aceite esencial de Eucalipto = 5% P/P
- Gel + aceite esencial de Clavo = 25% P/P
- Gel + extracto de Nim = 15% P/P

P/P = peso sobre peso

Prueba de toxicidad en abejas melíferas

Se evaluaron 3 geles cuyas sustancias activas fueron: extracto de Nim, aceite esencial de Eucalipto y aceite esencial de Clavo, además se contó con un testigo, constituido por gel sin ingrediente activo, y un testigo absoluto, en el cual no hubo tratamiento de gel, en cuyo lugar se usó agua destilada. Se capturó un grupo de abejas obreras adultas y se procedió a introducir grupos de 10 abejas vivas en jaulas de madera, en las que había un pequeño recipiente metálico con miel para que les sirviera de alimento, y una caja petri conteniendo 50 gramos de gel, la caja petri tenía un orificio recubierto con tamiz plástico para permitir el flujo de gases y evitar que las abejas entraran en contacto directo con la gel.

La introducción de las abejas en las jaulas se hizo de forma manual, las jaulas se introdujeron en una incubadora, introduciendo únicamente 1 tratamiento a la vez; la temperatura utilizada fue de 37 °C, para simular las condiciones reales existentes en una colmena. Se hicieron lecturas a las 0.5, 1, 2, 4, 8, 24, 48, y 72 horas.

La prueba se realizó mediante un diseño completamente al azar, la variable de respuesta en la prueba, fue el número total de abejas muertas en las jaulas al momento de la toma de datos. Para conocer la diferencia entre tratamientos se trabajó con una confiabilidad del 95% ($\alpha = 0.05$)

El experimento estuvo formado por 5 tratamientos, con 4 repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron:

- T1 = gel con el 5% de aceite esencial de Eucalipto
- T2 = gel con el 15% de extracto comercial de Nim,
- T3 = gel con 25% de aceite esencial de Clavo,
- T4 = gel sin principio activo
- T5 = Agua destilada.

Se trabajó con la hipótesis nula que el aceite esencial de Eucalipto y el aceite esencial de Clavo, no serían tóxicos para las abejas; a la vez que se esperaba que por sus propiedades insecticidas y acaricidas plenamente conocidas el extracto de Nim presentara algún efecto tóxico.

Fase de Campo

Prueba de toxicidad en *V. destructor*

Los mismos tratamientos utilizados en la prueba de toxicidad para *Apis mellifera*, fueron utilizados para esta prueba. Las varroas se recolectaron en forma manual, directamente de celdas operculadas de zángano, los machos fueron desechados. Luego en cada una de las cajas petri, se colocó un recipiente metálico conteniendo gel, y grupos de 10 hembras adultas se colocaron en el fondo de la caja; así también en cada caja se colocaron 3 pupas de zángano para proveer a las varroas de alimento. Las 20 cajas de petri se introdujeron en igual número de colmenas, y se hicieron lecturas de varroas muertas a las 0.5, 1, 2, 4, 8, 24, 48 y 72 horas.

La prueba se realizó mediante un diseño completamente al azar, la variable de respuesta en la prueba, fue el número total de ácaros muertos en las cajas petri al momento de la toma de datos. Se esperaba que las geles con aceite esencial de Eucalipto y aceite esencial de Clavo no fueran tóxicas para *Varroa* pues se suponía que su posible forma de acción sería que debido a los olores emitidos por los aceites esenciales, los ácaros no pudieran detectar la hormona juvenil emitida por las larvas; a la vez que se esperaba que por sus propiedades insecticidas y acaricidas plenamente conocidas el extracto de Nim presentara toxicidad.

Prueba de repelencia a los productos naturales evaluados

Se utilizaron las sustancias puras aplicadas con pinceles directamente sobre 3 de las 6 pupas que se utilizaron en cada unidad experimental; para asegurar que las pupas quedaran impregnadas del olor característico de cada una de las sustancias de interés.

Se utilizaron cajas petri de plástico de 14 cm de diámetro, con tapa con orificio de ventilación. Cada caja estuvo dividida en dos zonas principales (A y B), y cada zona formada por tres subdivisiones (a, b y c). La zona cero (0) correspondió al centro de la caja, en la cual se colocaron diez hembras de *Varroa*, mientras que en los extremos de la caja (zonas Ac y Bc) se colocaron tres pupas de obrera en cada

una. Sólo las pupas colocadas en la zona Ac fueron tratadas previamente con cada ingrediente activo. En todas las pruebas se utilizaron pupas recolectadas 1 hora antes de realizar los bioensayos, siguiendo la metodología de Gonzáles et al.,(1).

Se hicieron cuatro repeticiones por tratamiento, colocándose una caja petri por colmena, y se tomaron lecturas de la ubicación de los ácaros a 0.5, 1, 2, 4, 8, 24, 48 y 72 horas; en ellas se cuantificó la tendencia de dichos ácaros a desplazarse de una zona a otra.

Para determinar numéricamente la atracción o repelencia presentada por los tratamientos, se usó la siguiente fórmula, la cual fue extraída del trabajo realizado por Gonzáles et al.,(1).

$$VR = 100 + \frac{(Ba + 2Bb + 3Bc + 4Pb) - (Aa + 2Ab + 3Ac + 4Pa)}{10/S}$$

Donde:

VR = valor de repelencia

Aa = número de ácaros sobre la zona Aa

Ab = número de ácaros sobre la zona Ab

Ac = número de ácaros sobre la zona Ac

Pa = número de ácaros sobre las pupas del lado A (tratadas)

Ba = número de ácaros sobre la zona Ba

Bb = número de ácaros sobre la zona Bb

Bc = número de ácaros sobre la zona Bc

Pb = número de ácaros sobre las pupas del lado B (no tratadas);

S = número de ácaros sobrevivientes al momento de la observación.

Control de *Varroa* en colmenas

El objetivo de esta prueba fue conocer la efectividad del extracto de Nim, y aceites esenciales de Clavo y Fucalípto, aplicado usando gel como sustrato, dentro de las colmenas, para el control del ácaro *Varroa*; y comparar esos resultados con los

controles obtenidos mediante tratamientos químicos tradicionales como lo son el Bayvarol® y el ácido oxálico.

El tratamiento que se aplicó a cada colmena, consistió en una caja petri con 50 gramos de gel con y sin principio activo, estas fueron colocadas en el piso de las cajas. El experimento tuvo una duración de 11 semanas, durante las cuales, cada 4 días se renovaron los tratamientos a base de gel y se hicieron aplicaciones de ácido oxálico; se hizo una única aplicación de tiras de Bayvarol® al inicio del experimento, después de la primera aplicación de tratamientos, se realizaron muestreos cada 12 días, debido a que por ser época de lluvia las reinas disminuyen la postura de huevos.

El censo y los muestreos se realizaron tomando de cada colmena, un trozo de panal con celdas de obrera, con un tamaño de 10 x 10 cm, y se desoperculó cuidadosamente cada una de ellas para buscar las varroas tanto en el fondo de la celda como encima de las pupas. Se determinó el porcentaje de infestación, para cada una de las unidades censales, para lo cual se utilizó la fórmula:

$$\% P = (TI / TE) \times 100$$

Donde:

% P = Porcentaje de parasitismo

TI = Total de celdas infestadas.

TE = Total de celdas examinadas

Esta prueba constó de 7 tratamientos, con 4 repeticiones. Se esperaba que la aplicación de aceites esenciales de Eucalipto y Clavo, así como del extracto de Nim, usando un gel como sustrato, produjera un control de las poblaciones de ácaros superior al 70 %. Los tratamientos evaluados fueron:

- T1 = gel con el 5% de aceite esencial de Eucalipto
- T2 = gel con el 15% de extracto comercial de Nim.
- T3 = gel con 25% de aceite esencial de Clavo.
- T4 = gel sin principio activo
- T5 = testigo absoluto (sin gel)
- T6 = Acido oxálico
- T7 = Bayvarol[®]

Análisis de datos experimentales

A las variables de respuesta; en todos los experimentos se les practicó análisis de varianza (ANDEVA), con el fin de realizar el correspondiente estudio del comportamiento de las poblaciones de ácaros por unidad experimental. Los factores de variación fueron sometidos a prueba múltiple de medias, utilizando el criterio de Tukey, ya que este permite conocer si existen diferencias entre tratamientos.

Análisis de la eficacia de los tratamientos a base de gel

La eficacia del gel en cada colonia, se determinó con base en la cantidad de varroas muertas por causa del principio activo de cada gel, y su relación con el número de varroas muertas por causa del Bayvarol[®], posterior al último muestreo. Para esta prueba se contabilizaron los ácaros muertos en el fondo de cada colmena, habiéndose colocado papel de color blanco en el fondo de las cajas y un tamiz de malla metálica para evitar que las abejas tuvieran acceso a los ácaros muertos y los sacaran de la caja.

$$E = (A/A+B) * 100$$

Donde:

E = Eficacia del tratamiento.

A = Número de varroas muertas, por causa del principio activo de la gel, localizadas en el piso de la caja al momento del último muestreo.

B = Número de varroas muertas por causa del Bayvarol[®], localizadas en el piso de la caja, luego de 1 intervalo de tiempo igual al utilizado entre cada muestreo.

Resultados y discusión

Resultados de la fase de laboratorio

Prueba de toxicidad de los aceites esenciales de Eucalipto y Clavo, y de extracto de Nim en abejas melíferas

Se determinó que ninguno de los tratamientos evaluados causaba mortalidad en las abejas por lo que se estableció la viabilidad de realizar las pruebas encaminadas a determinar si los tratamientos propuestos tienen potencial para ser utilizados en el control de la varroasis.

Resultados de la fase de campo

Prueba de toxicidad en *Varroa*

El objetivo de los tratamientos evaluados era causar la mayor mortalidad de varroas posible, de esta manera se obtuvo que el mejor tratamiento es el aceite esencial de Eucalipto, que transcurridas 72 horas había causado la muerte del 100% de los ácaros utilizados en la prueba. En segundo lugar se ubica el extracto de Nim con un 70% de mortalidad de ácaros; el aceite esencial de Clavo con un 25%; el sustrato de gel con un 7.5% y el testigo de agua destilada con un 5% de mortalidad de ácaros; la diferencia entre los dos últimos tratamientos no es significativa, por ello ambos tratamientos se ubican en la misma categoría Tukey, y se deduce que la mortalidad en ambos casos se debió a causas naturales.

Control de *Varroa* en colmenas

La prueba estuvo constituida por 7 tratamientos y 4 repeticiones, en esta prueba se incluyeron 2 tratamientos químicos tradicionales para poder hacer comparaciones con los resultados de las sustancias en estudio. La variable analizada fue: "Porcentaje de celdas infestadas"; se utilizó un nivel de significancia del 0.05%, habiéndose encontrado mediante el análisis de varianza que sí existe una diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se realizó una prueba múltiple de medias, en la que se determinó el control que las sustancias en estudio ejercen

sobre las poblaciones del ácaro *Varroa*, se establece que un tratamiento es más efectivo mientras menor sea el valor de la media de la variable "porcentaje de celdas infestadas" correspondiente al tratamiento.

Cuadro 1: Análisis de Tukey, para todos los tratamientos en la prueba de control de *Varroa* en colmenas, finca Sabana Grande, Escuintla, 2008.

Tratamiento	Media	Clase
Testigo absoluto	22.3525	A
Gel	19.1500	B
Gel + aceite esencial de Clavo	16.7750	B
Gel + extracto de Nim	1.6750	C
Gel + aceite esencial de Eucalipto	1.2900	C
Ácido oxálico	0.2975	C
Bayvarol*	0.0550	C

Prueba de repelencia a los productos naturales evaluados

Se determinó que tanto el aceite esencial de Eucalipto, aceite esencial de Clavo y el extracto de Nim presentan influencia sobre la conducta de los ácaros; la que se manifiesta en la tendencia a alejarse de las pupas tratadas con las sustancias en estudio, y ubicarse sobre las pupas sin tratar o en áreas cercanas a las mismas; el aceite esencial de Eucalipto presentó la mayor repelencia, ya que provocó que los ácaros prefirieran posarse y alimentarse de las pupas que no fueron tratadas con el aceite esencial, este efecto repelente puede incidir en la población de ácaros, ya que las varroas podrían optar por abandonar la colmena, aprovechando para esto su habilidad para la foresia. También se dedujo que la exposición a los vapores de los aceites esenciales parece ser la causa de la muerte de los ácaros, ya que la inanición quedaría descartada porque las pupas estaban en el mismo medio en el que se encontraban los ácaros, los que disponían así de alimento.

Análisis de la eficacia de los tratamientos con aceites esenciales, usando gel como sustrato portador

La mayor eficacia correspondió a la flumetrina (Bayvarol*) con un valor del 100% de eficacia, seguido por el ácido oxálico con una eficacia de 89.28%, seguido del

aceite esencial de Eucalipto con una eficacia del 80 %, y en último lugar el extracto de Nim, con una eficacia del 53.62%. No se hizo este análisis a los tratamientos testigo con gel ni al tratamiento de gel con aceite esencial de Clavo, puesto que en estos tratamientos las poblaciones de ácaros en todo momento estuvieron en constante aumento durante la duración de la prueba, por ello se les asigna una eficacia del 0%.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. Los tratamientos a base de extracto comercial de Nim, y de aceites esenciales de Clavo y Eucalipto no presentaron efecto tóxico en las abejas melíferas; por lo que se establece que las sustancias activas de estos tratamientos no presentan peligro para las abejas en las concentraciones evaluadas, por lo que es viable realizar pruebas encaminadas al control de *Varroa* utilizando estas sustancias.
2. El efecto tóxico de los tratamientos evaluados sobre las poblaciones de ácaros, se asocia directamente a la mortalidad provocada por los mismos en las unidades experimentales; de esta manera se obtuvo que el mayor efecto tóxico corresponde al aceite esencial de Eucalipto. El efecto repelente de los tratamientos se determinó con base en la tendencia de los ácaros a alejarse de las pupas tratadas y alimentarse de pupas sin tratar, con base en dicha tendencia, el mayor efecto repelente corresponde al aceite esencial de Eucalipto, el cual mantuvo su elevado nivel de repelencia por un periodo mayor de tiempo.
3. El aceite esencial de Eucalipto y el extracto comercial de Nim, no presentaron diferencia estadística al compararse sus resultados en el control de las poblaciones *Varroa*, con los resultados obtenidos mediante los tratamientos químicos tradicionales que son el ácido oxálico y la flumetrina. El uso de aceite esencial de Clavo aplicado en colmenas mediante una gel portadora no es viable ya que reacciona fuertemente con la gel formando una emulsión de comportamiento corrosivo.

Recomendaciones

1. El aceite esencial de Eucalipto aplicado mediante gel en las colmenas, presenta un efectivo control sobre las colonias del ácaro *Varroa*; por lo que se recomienda realizar estudios encaminados a determinar el tiempo óptimo necesario para la sustitución de la gel en las colmenas, tratando a la vez de prolongar el tiempo entre aplicaciones y disminuir así los costos derivados de los materiales utilizados en la preparación de las geles y de la mano de obra necesaria para las aplicaciones en el apiario.
2. El extracto de Nim presentó en este estudio propiedades para el control de *Varroa* evidentes, por ello se recomienda realizar investigaciones en las que se eleve la dosis de azadiractina a través de extractos comerciales con mayor contenido de la misma, o de la utilización del aceite de Nim puro; siempre realizando pruebas encaminadas a detectar las concentraciones de azadiractina que las abejas pudieran tolerar.
3. Este estudio se desarrolló en un clima cálido, con una temperatura promedio anual de 24 grados centígrados, dentro de la zona de vida denominada Bosque muy Húmedo Sub-Tropical cálido; y los resultados deben tomarse con precaución al momento de querer implementar tratamientos con aceites esenciales para el control de *Varroa* en zonas con climas diferentes, especialmente en zonas con clima frío ya que la evaporación de los aceites esenciales es crucial en los tratamientos en los que se utiliza gel como sustrato portador.

Agradecimientos

En la realización de esta investigación resultó de gran ayuda el apoyo de los asesores Ing. Agr. Msc. Samuel G. Córdova C., Ing. Agr. Msc. Marco V. Fernández M., y Lic. Enrique B. Flores, quienes colaboraron en el diseño de la investigación y en redacción de documentos. También se agradece a la finca Sabana Grande por el apoyo incondicional prestado en el desarrollo de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

1. González, R; Otero, G; Villanueva, A; Pérez, J; Soto, R. 2003. Toxicidad y repelencia de *Azadirachta indica* contra *V. destructor* (en línea). México. *Agrociencia* 40:741-751. Consultado 29 jul 2007. Disponible en: www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2006/nov-dic/art-6.pdf
2. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). s.f. Tarjetas de registro meteorológicas de la estación Sabana Grande. Escuintla, Guatemala. Sin publicar.
3. Novartis.com.mx. 2008. Salud animal, apiguard (en línea). México. Consultado 24 abr 2008. Disponible en: <https://s.p8.hostingprod.com/@www.nsamex.com/ssl/public/apiguard.html>
4. Olivares Sáenz, E. 1994. Paquete de diseños experimentales, FAUANL, versión 2.5. México, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. 1 CD.

**Crecimiento y producción de madera en
respuesta a raleos periódicos en una
plantación de Ciprés común (*Cupressus
lusitanica*) en el altiplano occidental de
Guatemala: lecciones aprendidas tras
diez años de registros**

Boris Augusto Méndez Paiz



INTRODUCCIÓN

Durante los últimos diez años la superficie plantada con especies forestales en Guatemala ha aumentado como resultado del apoyo del Estado a través del programa de incentivos forestales.

El altiplano occidental de Guatemala comprende las tierras más altas del país; los bosques naturales de esta región están dominados por coníferas, que incluye varias especies de pino (género *Pinus*), Ciprés común (*Cupressus lusitanica*) y Pinabete (*Abies guatemalensis*), regularmente asociadas con diferentes especies de Encinos (*Quercus spp.*) y Alisos (*Alnus spp.*).

Las plantaciones forestales se están convirtiendo en un elemento importante en el paisaje en el altiplano como producto de la Política de Incentivos Forestales que ejecuta el Servicio Forestal desde 1997. Las especies más extensamente plantadas con subsidios del Estado en los últimos diez años en esta zona incluyen a Pino candelillo (*Pinus maximinoi*) con 9,800 hectáreas, Pino de ocote (*Pinus oocarpa*) con 5,000 hectáreas, Pino triste (*Pinus pseudostrobus*) con alrededor de 1,000 hectáreas y Ciprés común (*Cupressus lusitanica*) con alrededor de 4,000 hectáreas (INAB 2008).

Los esfuerzos del Estado por hacer sostenible el manejo de las plantaciones forestales en el altiplano Guatemalteco se ven limitados por la escasa información sobre la silvicultura de las especies. Elementos básicos como las tasas de crecimiento y producción así como los tratamientos silvícolas requeridos por las plantaciones son frecuentemente desconocidos. En este artículo se presenta información acumulada lo largo de diez años de mediciones sucesivas realizadas en una Parcela Permanente de Muestreo –PPM– establecidas en una plantación de *Cupressus lusitanica*, localizadas en el municipio de Tecpán, en el departamento de Chimaltenango en un sitio de productividad intermedia, lo que hace de esta muestra algo representativo de las condiciones promedio del altiplano del país. El análisis de la información acumulada permitió la obtención de datos precisos de crecimiento y producción maderera para la especie y su relación con la aplicación de raleos, el tratamiento silvícola crítico para lograr una producción y manejo sostenible a largo plazo de las plantaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de muestreo consistió en una Parcela Permanente de Muestreo –PPM–, localizada en una plantación de *Cupressus lusitanica*, ubicada en Finca Miramar, Tecpán Chimaltenango, en el altiplano occidental de Guatemala.

La ubicación geográfica de la PPM es 14.76 grados Latitud Norte y 91.06 grados Longitud Oeste, a una altitud de 2,662 metros SNM y una inclinación de terreno de 55% (Méndez, 2009).

El área del estudio se ubica en la zona de vida Bosque Subtropical Montano Bajo Húmedo, caracterizado por altitudes superiores a los 2,000 metros SNM, con precipitación pluvial en torno a 1,200 milímetros por año y una estación seca bien marcada (De La Cruz, 1982).

La parcela fue de forma rectangular, con dimensiones de 20 x 20 m, es decir una superficie de 400 m². Las cuatro esquinas de las parcelas están delimitadas por zanjas de 40 cm, de profundidad y un metro de largo en dirección a las esquinas vecinas. Las plantaciones fueron establecidas en julio de 1991 mientras las PPM se montaron en abril de 1999, año en que fue realizada la primera medición; a partir de ese año las mediciones sucesivas se han realizado a intervalos de 2 o 3 años.

En cada medición se registró el Diámetro a la Altura del Pecho -DAP- de todos los árboles presentes en la parcela, tanto antes como después del raleo. Se registró además una o dos alturas por cada clase diamétrica. Información de manejo de la plantación como ocurrencia de plagas, u otro factor relevante al crecimiento también han sido registradas al momento de las mediciones. Los resultados de las mediciones constituyen una base de datos que se registra en Excel, la cual ha ido creciendo con la realización de mediciones sucesivas.

Para el cálculo del volumen por árbol se utilizó la fórmula: volumen = 0.7854 x Dap² x Altura total x Factor de forma uniforme de 0.4; este factor de forma se calculó con cubicación en campo en dos momentos en que se aplicó raleo. Este coeficiente podría variar a lo largo del tiempo y puede verse afectado por la densidad del rodal, sin embargo para efectos prácticos se supone que este factor permanece constante en el tiempo. Este dato del factor de forma varía ligeramente de los reportados para la especie por Peters (1977).

Para el análisis de crecimiento se usó Microsoft Excel para la realización de cálculos numéricos y graficas de la tasa de crecimiento para las variables DAP, Altura Media, Área Basal y Volumen. Los cálculos de crecimiento periódico –Incremento Periódico Anual- se realizan por diferencia entre los valores de dos mediciones sucesivas, el cálculo del Crecimiento Acumulado (Incremento Medio Anual –IMA) se realizó dividiendo los valores acumulados entre la edad de la plantación al momento de cada medición. Para el caso de volumen, para el cálculo del IMA se consideran además los volúmenes extraídos en los raleos.

RESULTADOS

Cronología y datos de la plantación y las mediciones

Las fechas de realización de las mediciones se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Mediciones realizadas en la Parcela Permanente de Muestreo en *Cupressus lusitanica*. Finca Miramar, Tecpán Chimaltenango, Guatemala.

Fecha	Edad Plantación		Medición	Silvicultura
	Meses	Años		
Julio 1991	0	0		Establecimiento de plantación
1997	--	6	--	Primer raleo
Abril 1999	93	7.7	Establecimiento de las PPM y primera medición	Segundo raleo
Mayo 2001	118	9.8	Segunda medición	Tercer raleo
Junio 2004	155	12.9	Tercera medición	Cuarto raleo
Septiembre 2006	182	15.1	Cuarta medición	Quinto raleo
Septiembre 2009	206	17.1	Quinta medición	Sexto raleo

El primer raleo aplicado a ambas plantaciones en algún momento entre 1991 y 1999, probablemente en 1997, antes del establecimiento de la PPM y del inicio de las

mediciones, no fue registrado, por lo que constituye un dato faltante. Los subsecuentes raleos han sido registrados.

El detalle de los datos de las mediciones realizadas en la PPM hasta 2009 en la PPM se presenta en el cuadro 9 del anexo. Para cada una de las mediciones efectuadas, se desglosa los datos para las distintas variables antes del raleo, el dato de la parte extraída al rodal y el remanente luego del raleo.

3.2. Reducción del número de árboles del rodal a lo largo del tiempo

En el cuadro dos se presenta la información de la variación en el número de árboles por hectárea a lo largo del tiempo expresado como número de árboles por hectárea.

Cuadro 2. Reducción del número de árboles por hectárea en el tiempo.

Fecha	Edad (años)	Árboles por hectárea	Intervención
1991	0	2000	Establecimiento plantación
1997	6	1425	Primer raleo: extracción 29% árboles.
1999	8	1000	Segundo raleo: extracción 30% árboles, 21% Área Basal y 20% Volumen
2001	10	700	Tercer raleo: extracción 32% árboles, 28% área basal y 27% volumen
2004	13	500	Cuarto raleo: extracción 28.5% árboles, 26% área basal y 26% volumen.
2006	15	300	Quinto raleo: extracción 40% árboles, 38% área basal, 38% volumen.
2009	18	250	Sexto raleo: extracción del 17% de árboles, 12.5% del área basal y 12% del volumen.

La situación típica observada frecuentemente en el altiplano de Guatemala con plantaciones forestales es la ausencia de aplicación de raleos oportunos, lo que conduce a una competencia excesiva entre árboles en los rodales, lo que resulta en una reducción sustancial del crecimiento diamétrico. En muchos casos se busca resolver esta situación con la aplicación de raleos fuertes, lo cual resulta contraproducente en términos de la estabilidad de los árboles del rodal por los embates del viento en árboles que no tienen una relación balanceada entre diámetro y altura y por otro lado este tratamiento severo conduce a la formación de capas de crecimiento en la madera de ancho muy variable lo que se traduce al final de la rotación en fuertes variaciones de densidad y por tanto madera de menor calidad para uso industrial.

En contraposición a lo planteado en el párrafo anterior, la plantación del experimento ha sido manejada buscando probar un modelo de aplicación de raleos de intensidad baja a intermedia que permitan una reducción gradual pero continua de la densidad del rodal, en los cuales por lo regular las extracciones realizadas están en torno a un 30% del número de árboles, entre 20 y 30% del área basal y del volumen. Únicamente el quinto raleo tuvo una intensidad que podría calificarse de fuerte aunque no excesivo.

La lógica para aplicar raleos moderados pero continuos consiste en que se busca lograr un ritmo de crecimiento diamétrico relativamente constante que conduzca a la formación de madera con anillos de grosor uniforme lo que se espera se traduzca en madera con densidad uniforme, lo que confiere calidad a la madera para aserrio (Punches, 2004).

Crecimiento e incrementos en altura

Datos del comportamiento de la altura se muestran en el cuadro tres. Se reporta el dato de altura promedio de los árboles de la PPM en cada medición.

Luego se calculan las tasa de crecimiento o incrementos; primero el Incremento Medio Anual –IMA- que es el resultado de dividir la altura media por la edad alcanzada al momento de la medición y luego el Incremento Periódico Anual –IPA- que es el resultado de la altura acumulado en los periodos entre mediciones dividido por el número de años entre mediciones sucesivas.

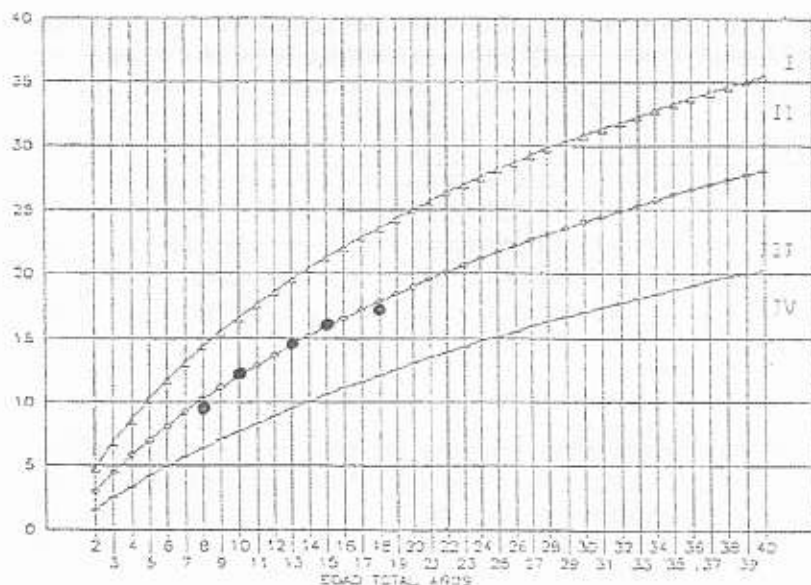
Cuadro 3. Crecimiento e incrementos en altura, árboles de *Cupressus lusitanica* en Parcela Permanente de Muestreo en Miramar, Tecpán, Guatemala.

Edad (años)	Altura Media (m)	IMA ¹ (m/año)	IPA ² (m/año)	Altura ³ Dominante (m)
8	9.25	1.15	1.15	10.5
10	12	1.37	1.20	12.5
13	13.72	0.57	1.05	14.5
15	15.30	0.79	1.02	16.0
18	16.70	0.46	0.92	17.8
Promedio		0.86	1.06	

Se calculó el dato de "altura dominante", definida como la altura promedio de los árboles más altos y mejor desarrollados del rodal a una edad específica. Este dato se utiliza para establecer el Índice de Sitio, es decir una forma cuantitativa de expresar el potencial productivo del lugar en comparación con otros sitios para la misma especie (adaptado de Smith 1986 y Husch et al 2003).

Para el caso de este trabajo, se utilizaron los datos de altura dominante calculados a partir de las mediciones efectuadas en la PPM y se ubicaron en la gráfica de Índices de Sitio para *Cupressus lusitanica* elaborada por Turtiainen et al (1999) para América Central, como se puede observar en la gráfica uno.

1. Incremento medio anual: el crecimiento acumulado dividido la edad a la que se realizó la medición.
2. Incremento periódico anual: el crecimiento para el periodo.
3. Altura dominante: la altura media de los cien árboles de mayor altura y mejor desarrollados por hectárea.



Gráfica 1. Ubicación del ensayo de Finca Miramar Teepean Chimaltenango en el esquema de curvas de Índice de Sitio para *Cupressus lusitanica* (Adaptado de Turtiainen y Barahona, 1999).

Al ubicar los datos de altura dominante en la gráfica de índices de sitio para la especie para Centroamérica (gráfico uno) se puede apreciar que el sitio donde se localiza el experimento en Finca Miramar en Teepeán Guatemala, se encuentra en el punto de convergencia entre sitio II y sitio III, es decir con un potencial productivo intermedio, no se ubica entre los sitios más productivos pero tampoco entre los más pobres para la especie. López Payes (1992) elaboró curvas parciales de Índice de Sitio para Ciprés común en tres localidades del departamento de Guatemala para una edad base de 20 años: los datos de este trabajo concuerdan con lo arriba expuesto, en el sentido de ubicar el sitio del experimento en Miramar como de productividad intermedia.

Esto permite extrapolar con alguna precaución, los datos derivados del experimento que se analiza en este artículo hacia sitios de características productivas similares. Para sitios más pobres o más productivos podrían hacerse ajustes de los datos incrementando los valores para sitios más ricos y reduciendo los valores para sitios más pobres. En todo caso, esto refleja los vacíos de información que pueden solventarse solamente con investigación sistemática para las especies forestales comerciales más relevantes de Centroamérica, tal el caso del Ciprés común.

Crecimiento e incrementos en Diámetro

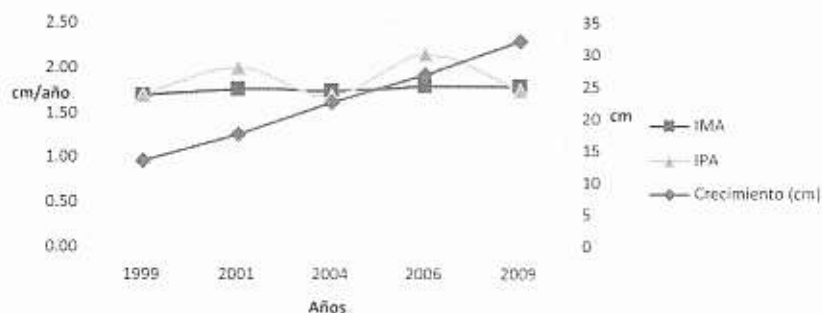
Cuadro 4. Crecimiento e incremento en Diámetro

Periodo	Crecimiento acumulado (cm)	IMA (cm/año)	IPA (cm/año)
1991-99	13.50	1.69	1.69
99 - 01	17.50	1.75	2.00
01 - 04	22.53	1.73	1.68
04 - 06	26.83	1.79	2.15
06 - 09	32.04	1.78	1.74
Promedio hasta la última medición		1.75	1.85

En el cuadro cuatro se presentan los datos de crecimiento e incremento para la variable Dap en centímetros y centímetros por año respectivamente. Nótese que los valores de IMA son superiores a los de IPA con excepción de los periodos 2001-04 y 2006-09 en los cuales el intervalo entre raleos fue de tres años. Cuando los raleos se aplicaron a intervalos de dos años el IMA fue inferior al IPA, lo cual se considera la situación deseable, es decir mantener una tasa de crecimiento diamétrica para el periodo superior a la media histórica.

En la grafica 2 pueden observarse las fluctuaciones de incrementos diametricos en respuesta a la aplicación de raleos, las caídas en las curvas de IPA son el resultado de raleos con un intervalo de tres años, mientras que los picos son el resultado de

raleos cada dos años. Esto sugiere que un intervalo de raleos de dos años es pertinente para mantener un ritmo de crecimiento continuo en diámetro.



Grafica 2. Crecimiento e Incrementos para DAP en PPM Ciprés Finca Miramar, Teepán Guatemala.

Es posible que el rodal pudiera haber logrado una tasa de crecimiento medio en Dap en torno de 2 cm/año de haberse regulado la densidad de mejor manera, partiendo de haber establecido la plantación con una densidad inicial menor, quizás con una densidad máxima de 1,600 árboles por hectárea. Con esa densidad se requerirían seis raleos de 30% de intensidad cada uno para llevar el rodal a la densidad final de entre 175 y 200 árboles por hectárea que pareciera ser el número de árboles ideal para cosecha final en un sitio de productividad intermedia como el del experimento para alcanzar diámetros comerciales de entre 45 y 50 cm de dap en rotaciones de duración entre 25 y 30 años. Como comparador, López Payes (1992) reporta incrementos diamétricos entre 1.09 y 1.25 cm/año para rodales entre 22 y 42 años de edad, es decir tasas de crecimiento diamétrico muy inferiores a las alcanzadas en el ensayo de finca Miramar.

Un indicador de la estabilidad estructural de la plantación es la relación entre altura y diámetro de los árboles, tal como se percibe en la información presentada en el cuadro cinco.

Cuadro 5. Relación Altura/Dap promedios a lo largo del tiempo. Datos de antes de aplicación de raleos.

Año	Edad plantación	Relación altura/dap ⁴ (adimensional)
1999	8	74
2001	10	70
2004	13	62
2006	15	59
2009	18	53

1. El diámetro de los árboles por convención se mide a 1.30 metros sobre el suelo y se conoce como diámetro a la altura del pecho.

La relación altura/dap promedio, expresada en la misma dimensional (centímetros) para ambas variables, es un indicador práctico de la estabilidad estructural de los árboles de un rodal y por tanto en una guía útil para evaluar la urgencia de la aplicación de raleo. Un valor inferior a 80 expresa que el rodal aun puede esperar para aplicar el raleo. Un valor en el intervalo de 80-100 muestra que el rodal requiere urgentemente de la aplicación de raleo y este raleo debiera ser moderado o suave para evitar que el viento derribe a los árboles remanentes luego del raleo. Finalmente un dato superior a 100 indica que el raleo se realizará de manera tardía y necesariamente debe ser de baja intensidad para evitar el colapso de los árboles remanentes por el embate del viento.

Con base en la información del cuadro 5, en ningún momento la plantación presentó una situación de inestabilidad estructural en los árboles que la conforman debido a que la relación altura/diámetro siempre se mantuvo en valores muy inferiores al límite de riesgo. Esto indica que el crecimiento diamétrico fue aceptable - como resultado de la aplicación frecuente de raleos- y mantuvo una buena relación con el crecimiento en altura, el cual por tratarse de un sitio de fertilidad media mantuvo una tasa de crecimiento relativamente lenta.

Un dap de entre 45 y 50 cm podría constituir el diámetro objetivo para corta final dada que por un lado con ese diámetro se logra una proporción suficientemente alta de madera para aserrio, tal como lo demuestran las experiencias de manejo intensivo de plantaciones de pino radiata en Nueva Zelanda y Chile y por otro lado debido a que se requieren árboles de mayor edad para aumentar la proporción de

madera madura en las trozas del fuste; árboles de menos de veinte años tienden a presentar una alta proporción de madera juvenil. Por tanto una rotación de entre 25 y 30 años podría ser la ideal considerando que el objetivo pueda ser producir madera de mejores características.

Si se fija el dap objetivo (dap promedio de los árboles del rodal para corta final) en 50 cm, es posible alcanzar bajo condiciones de sitio intermedio (como el del experimento) en un periodo entre 25 y 28 años, siempre que se aplique un programa bien estructurado de raleos, el cual dependiendo de la densidad inicial podría incluir entre cuatro y siete raleos. La guía de cuan frecuentes deben ser los raleos lo proporciona el incremento periódico anual en dap, el cual debiera mantenerse entre 1.75 y 2 cm/año.

La aplicación de raleos muy espaciados y severos como ya se explicó, es contra-productiva para alcanzar el objetivo de producir madera de calidad para aserrio. La aplicación de raleos moderados pero frecuentes (extracción de entre 20 y 30% del número de individuos y de área basal) permite lograr un crecimiento diamétrico sostenido en los árboles, lo que conduce a obtener trozas más cilíndricas, con menor presencia de nudos, aspectos que caracteriza la madera de calidad. Con base en esto, resulta más conveniente iniciar las plantaciones con densidades entre 1,300 y 1,600 árboles por hectárea y reducir gradualmente esta hasta alcanzar la densidad final de en torno a 200 árboles por hectárea, aplicando cinco o seis raleos moderados.

Para efectos de comparación, las plantaciones evaluadas por López Payes (1992) presentaban densidades muy altas para su edad, 640 árboles por hectárea para 22 años, 400 árboles para 32 años de edad y 210 árboles para 42 años. Esto refleja que dichas plantaciones no fueron manejadas apropiadamente, lo que extendió considerablemente el periodo de rotación, provocando una reducción de la rentabilidad de los proyectos.

Crecimiento en Área Basal

En el cuadro 5 se presenta la variación en el Área Basal como efecto del crecimiento y de las extracciones realizadas con los raleos. Parece ser que un primer raleo

Crecimiento y producción de madera en respuesta a raleos periódicos en una plantación de Ciprés común (Cupressus lusitanica) en el altiplano occidental de Guatemala: lecciones aprendidas tras diez años de registros

fue realizado a la plantación en torno del año 5, de lo cual no hay registros debido a que estos dieron inicio en 1999 con el establecimiento de la PPM. A la fecha, hay registro de cinco raleos, todos con un porcentaje de extracción en área basal entre 20 y 30%, a excepción de los últimos dos, el cuarto, efectuado en 2006 con una intensidad superior al promedio, cercana al 40% y el más reciente, en 2009 con una intensidad de 12.5%, por debajo del promedio de extracción.

Cuadro 6. Crecimiento y variación del área basal por aplicación de raleos en plantación experimental de *Cupressus lusitanica* en Miramar, Tecpán Guatemala.

Fecha	Edad (años)	Área basal (m ² /ha)		% extracción
		Antes de raleo	Después raleo	
1999	8	18.86	14.92	20.9
2001	10	22.16	16.03	27.7
2004	13	27.93	20.67	26.0
2006	15	26.65	16.44	38.3
2009	18	24.03	21.03	12.5

De acuerdo a los datos del cuadro 6, se aprecia que es posible aplicar raleos moderados con intensidades entre 20 y 30% del área basal cada dos años. Los primeros dos raleos se debieran realizar al final de la fase de establecimiento el primero (tomando el cierre del dosel por el contacto de copas como indicador) y un segundo raleo al inicio de la etapa de bosque joven en la cual la tasa de crecimiento se acelera.

Posteriormente, durante las etapas de bosque joven e intermedio debieran aplicarse otros 3 raleos con la misma intensidad, en este estadio de la plantación el área basal para esta condición de sitio podría permitirse que alcanzara valores entre 25 y 30 m²/ha antes de aplicar los raleos. Para la cosecha final se estima que podría

permitirse que el área basal del rodal alcanzara valores entre 30 y 35 m²/ha. Debe considerarse que los valores de área basal pueden proporcionar una guía útil para cuantificar la aplicación de raleos no por sí mismos sino en combinación con otras variables como los incrementos en dap y en volumen. Al final de la rotación interesa tener un número determinado de árboles con un dap objetivo que conduzca a definir una carga maderable expresada en volumen.

Crecimiento e Incrementos en Volumen

En el cuadro 7 se presenta la información sobre las variaciones en volumen del rodal como producto del crecimiento y de la aplicación de raleos. Hasta 2009 un total de seis raleos han sido aplicados a la plantación. El primer raleo se supone fue realizado en 1996 a la edad de cinco años y no fue registrado debido a que aun no había sido demarcada la PPM. A partir de 1999 se cuenta con registros precisos de la dinámica del rodal.

Cuadro 7. Variación volumétrica en el tiempo de rodal Ciprés común en PPM Finca Miramar, Tecpán Guatemala.

Año	Edad años	m ³ /ha				m ³ /ha/año	
		Pre-raleo	Post-Raleo	Extraído	Acumulado	IPA	IMA
1996	5	45	31	14	45	9.00	9.00
1999	8	72.84	58.28	14.56	86.84	13.94	10.86
2001	10	107.98	78.7	29.28	136.54	24.85	13.65
2004	13	154.29	114.49	39.8	212.13	25.20	16.32
2006	15	163.41	100.62	62.79	261.05	24.46	17.40
2009	18	163.63	144.6	19.03	324.06	21.00	18.00

Se observa que el valor del volumen por hectárea (la carga maderable del rodal) tiene una tendencia sostenida a ir aumentando con el tiempo aun cuando cierta porción del bosque es extraída con cada raleo.

El incremento periódico anual –IPA–, calculado para intervalos de 2 y 3 años, fluctúa entre 20 y 25 m³/ha/año a partir del año 10 como resultado del inicio de la

realización los raleos. La aplicación sistemática de los raleos permite mantener el IPA en valores superiores a 20 m³/ha/año, notándose valores un tanto más altos cuando los raleos se aplicaron en intervalos de dos años y cierto descenso cuando los raleos se espaciaron a 3 años. Es evidente que si los raleos se hubiesen espaciado más de tres años el descenso en la tasa de crecimiento en volumen habría sido mayor.

El incremento medio anual –IMA- en volumen, que resulta de dividir la carga volumétrica entre la edad del rodal, muestra una tendencia relativamente estable con valores en torno a los 10 m³/ha/año. La teoría silvícola (Smith, 1986, Husch et. al. 2003) plantea que el punto en que las curvas de IPA e IMA para volumen se cruzan es un indicador de la madurez biológica del rodal y por tanto marcaría el punto ideal para establecer la rotación desde el punto de vista biológico. Al observar la trayectoria de incrementos volumétricos de la plantación de ciprés en finca Miramar, este punto parece aun estar lejano y con base a la tendencia de crecimiento podría proyectarse en un punto probablemente superior a los 30 años de edad. Sin embargo, la duración de la rotación también debe considerar criterios financieros los cuales no han sido calculados en este trabajo y podrían hacer variar significativamente la definición de la duración de la rotación, es decir la duración del ciclo productivo de la plantación.

Proyectando el futuro manejo del rodal del ensayo, se requerirá la aplicación de un último raleo, con una intensidad nuevamente de 30%, lo que reduciría la densidad a 175 árboles/ha. Este último raleo deberá aplicarse durante los próximos tres años, estimándose que la plantación alcance un dap objetivo de 50 cm a una edad de 28 años, con una densidad para entonces de 175 árboles/ha, una altura media proyectada de 22 metros y un factor de forma de 0.4, reportaría un volumen de 302 m³/ha, calculándose que al menos un 80% del volumen total por árbol puede utilizarse para aserrio, lo que equivale a en torno de 242 m³/ha, es decir aproximadamente 102,000 pies de madera.

RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO Y LA APLICACIÓN DE RALEOS Y SUS IMPLICACIONES EN EL MANEJO DE LAS PLANTACIONES

El cuadro 8 muestra datos de crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitánica* en diversos sitios de Guatemala y el mundo, incluyendo la plantación del ensayo objeto de esta investigación en finca Miramar, Tecpán Guatemala.

Cuadro 8. Tasas de crecimiento para *Cupressus lusitánica* en distintas localidades de Guatemala y el mundo.

Nombre del sitio y país	Edad Años	Incremento Medio Anual (IMA)		Incrementos Volumétricos (m ³ /ha/año)	
		Dap cm/año	Altura m/año	IMA	IPA
Miramar, Tecpan Gua. (El Ensayo)	18	1.75	0.86	11	20 - 25
Las Nubes, Tecpan, Gua.	10	1.56	0.92	7.40	19
Patzicia, Gua.	20	0.98	0.93	n.d.	n.d.
Florencia, Sacatepéquez, Gua	10	1.27	1.27	22.97	n.d.
Fraijanes, Gua.	10	0.96	0.98	15.77	n.d.
San José Pinula, Gua.	22	1.09	0.85	11.35	n.d.
Palencia, Gua.	32	1.16	0.82	13.79	n.d.
Villa Canales, Gua.	42	1.25	0.70	11.87	n.d.
San Marcos, Gua	8	2.36	1.86	n.d.	n.d.
Sao Paulo, Bra.	n.d.	n.d.	n.d.	24.5	n.d.
Rhodesia, Afr.	n.d.	n.d.	n.d.	6.8 - 20	n.d.
Heredia, C.R.	n.d.	n.d.	n.d.	21 - 23	n.d.

Gua: Guatemala, Bra: Brasil, Afr: África, C.R.: Costa Rica.

Fuente: López P. (1992), Castillo C. (1993), González, J. (1990), Méndez (2001, Méndez (2009).

En el cuadro 8 se presentan los datos de distintas plantaciones con un rango amplio de edades que va desde 8 hasta 42 años de edad y un buen número de datos faltantes, lo que refleja la utilidad de contar con ensayos que permitan monitorear a largo plazo el crecimiento en respuesta a la aplicación de raleos e idealmente de podas en la producción de madera. Ninguna de las plantaciones referidas en el cuadro presenta datos de crecimiento por periodos, a excepción del ensayo en finca Miramar así como otro ensayo que existió en una localidad vecina en Tecpán Guatemala.

En general, las plantaciones de Ciprés común pueden crecer en promedio para el todo el ciclo productivo (la rotación) entre 12 y 20 m³/ha/año. La variación en la tasa de incremento volumétrico refleja la diversidad de condiciones de sitio bajo las cuales puede crecer la especie. Nuevamente resalta acá el hecho que para poder realizar comparaciones más precisas en las tasas de crecimiento entre sitios se requiere contar con datos más consistentes de las tendencias de las distintas variables de crecimiento en respuesta al manejo que se aplique a las plantaciones por periodos largos de tiempo por medio de mediciones secuenciales en los mismos sitios así como correlacionar el crecimiento con los factores del microclima y fertilidad de los suelos. Este tipo de ensayos de larga duración puede a su vez proporcionar información valiosa sobre la relación entre el crecimiento, el manejo de las plantaciones y su relación con la calidad de la madera y con la rentabilidad de los proyectos a largo plazo.

De los datos obtenidos de las referencias de crecimiento de la especie, se puede apreciar que el crecimiento diamétrico (IMA en dap) del ensayo es el más alto de todos los reportados, con excepción de una plantación joven de 8 años en San Marcos, Guatemala. Esta alta tasa de crecimiento diamétrico es el resultado de la aplicación sistemática de raleos a lo largo de la rotación a intervalos de entre 2 y 3 años.

La no aplicación oportuna de raleos conduce a una reducción drástica del crecimiento en diámetro y por tanto extiende la duración de la rotación, lo que se traduce en una rentabilidad menor de la inversión a largo plazo. Para ejemplificar como los raleos inciden en el crecimiento diamétrico y en la producción de madera, se puede verificar como los rodales reportados por López (1992) en tres localidades de Guatemala, alcanzaron tasas de crecimiento volumétrico entre 11 y 13 m³/ha/año, bastante inferiores a los del ensayo, producto de incrementos diamétricos bastante bajos, lo cual es el resultado de la ausencia o mala aplicación de raleos. Estos rodales alcanzaron diámetros comerciales para aserrio en periodos más largos en relación a los del ensayo. Por ejemplo, la plantación de 32 años localizada en Palencia Guatemala, apenas alcanzaba 37 CMS de Dap, por lo que seguramente le habrá tomado 43 años para llegar al dap objetivo de 50 CMS, es decir una rotación 55% más larga que la obtenida en el ensayo de finca Miramar, en donde se proyecta alcanzar el dap de 50 cm en solo 28 años.



CONCLUSIONES

— El rodal del ensayo en finca Miramar, Tecpan Guatemala ha alcanzado a los 18 años de edad una tasa de crecimiento diamétrico (IMA) de 1.75 cm/año, superando ampliamente al promedio de crecimiento diamétrico reportado para plantaciones sin manejo en otros sitios de Guatemala. Esto demuestra que aun en sitios de productividad intermedia o baja es posible lograr incrementos diamétricos que permitan reducir la duración de la rotación significativamente si se aplica un programa sistemático de raleos a lo largo de la rotación. La aplicación de raleos en combinación con podas permite además de acortar la rotación, producir madera de mejor calidad, lo que puede incidir en aumentar la rentabilidad de proyectos de cultivo de *Cupressus lusitánica* en plantación.

— La edad proyectada para aplicar la corta final a la plantación del ensayo -el cierre de la rotación- es de 28 años cuando se espera alcanzar un dap objetivo de 50 cm. Esta rotación puede ser un 55% más corta que el de plantaciones de la especie creciendo en sitios similares pero sin un programa adecuado de manejo.

— Con un adecuado programa de raleos en sitios con productividad intermedia es posible alcanzar un dap objetivo de 50 cm en un periodo de 28 años, es decir con un IMA en Dap de 1.75 cm/año, con una densidad final entre 150 y 200 árboles por hectárea, lo que permite obtener una cosecha final de 300 m³/ha, lo cual suponiendo un 80% del volumen pueda destinarse para aserrio se traduce en un volumen de trozas de 240 m³/ha que traducido en pies madereros equivale a aproximadamente 100,000 pies de madera.

RECOMENDACIONES

Esta investigación se ha orientado a documentar y comprender mejor la relación entre el crecimiento de los árboles y la aplicación de un programa sistemático de raleos a lo largo de una rotación partiendo del concepto que la aplicación de raleos constituyen la principal intervención silvícola para lograr la producción de madera industrial en rotaciones suficientemente cortas como para hacer competitivo el cultivo del Ciprés común en plantaciones.

La producción de madera industrial de calidad requiere investigar además del efecto de los raleos en el crecimiento de los árboles, otros factores silvícolas como

la aplicación de podas, el manejo de la fertilidad natural y el mejoramiento genético, así como determinar si hay correlación significativa entre la aplicación de un programa de raleos y podas de determinada intensidad y la densidad de la madera, todos ellos aspectos que requieren ser abordados en futuras investigaciones en plantaciones de Ciprés común. Asimismo se requiere investigar mejor la parte financiera del manejo de plantaciones de la especie a partir de los datos generados con este trabajo, aspecto que permitirá apoyar con fundamento las decisiones de inversión en proyectos de plantaciones con esta especie forestal.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible gracias a la colaboración brindada por los administradores y responsables técnicos del manejo forestal de la finca Miramar, en Tecpán Chimaltenango, Guatemala, particularmente al Ing. Daniel López quien tuvo la iniciativa para el establecimiento del experimento, así como al Ing. Luis Saucedo quien mantuvo el apoyo a lo largo del tiempo para continuar tomando datos y apoyando las intervenciones silvícolas en el experimento a lo largo de los últimos diez años, además de brindar valiosa información complementaria sobre el manejo de la plantación.

Diferentes grupos de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales de la Facultad de Agronomía, de los cursos de Silvicultura, Dasometría, Inventarios Forestales y Medición Forestal, quienes apoyaron a lo largo del tiempo en la toma de datos del experimento y en el procesamiento de los mismos.



REFERENCIAS

- CASTILLO CONTRERAS, D.A. 1993. Tablas de producción preliminares para *Cupressus lusitanica* Miller: estudio de caso Milpas Altas, Sacatepéquez y Fríjanes, Guatemala. Tesis Ing. Agr. FAUSAC. 88 p.
- CHAVES, F. (1987). Ensayo de aclareos en plantaciones de Ciprés (*Cupressus lusitanica*) en Cartago, Costa Rica. In Memoria del I y II Curso Centroamericano de Silvicultura de Plantaciones de Especies de Árboles de Uso Múltiple (MADELENA). CATIE-RO-CAP. Siguatepeque, Honduras.
- DE LA CRUZ, J.R. 1982. Clasificación de las zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
- GONZÁLEZ, J.H. 1990. *Cupressus lusitanica*, especie de propósito múltiple: producción y usos en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 47 p.
- GUATEMALA, INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. Base de datos de proyectos del Programa de Incentivos Forestales. 2008.
- HUSCH, B; BEERS, T.W; KERSHAW, J. 2003. Forest mensuration, 4 ed. New Jersey, US. Jhony Wiley. 443 p.
- LOPEZ PAYEZ, J.G. 1992. Determinación de índices de sitio y estudio de crecimiento de ciprés común (*Cupressus lusitanica* Miller) establecido en plantación en tres localidades del departamento de Guatemala. Tesis Ing. Agr. FAUSAC. 94 p.
- MENDEZ PAIZ, B.A. 2009. Base de datos de registros de crecimiento periodo 1999-2009 y aplicación de raleos en una parcela permanente de medición en Finca Machali, Tecpan Chimaltenango.
- MENDEZ, B. 2001. Growth and management of forest plantations in Guatemala. 10 p. Sin publicar.
- PETERS, R. et al. 1977. Tablas de volúmenes para las especies coníferas de Guatemala. Guatemala. INAFOR. 62 p. (Proyecto PNUD/FAO/GUA/72/006 - Doc de trabajo No. 17).
- PUNCHES, JOHN. 2004. Tree Growth, Forest Management, and their implications for wood quality. Oregon State University, Extension & Station Communications. 8p.
- SMITH, D. 1986. The practice of silviculture, 8 ed. New York, US, John Wiley. 525 p.
- TURTIAINEN, M., BARAHONA, G. 1999. Guías, tablas y curvas para la realización de inventarios forestales en planes de manejo y planes operativos, en Manual Técnico manejo, aprovechamiento y pequeña industria forestal. CEMAPIF-PROCAFOR.

Crecimiento y producción de madera en respuesta a raleos periódicos en una plantación de Ciprés común (Cupressus lusitanica) en el altiplano occidental de Guatemala: lecciones aprendidas tras diez años de registros

Anexo 1. Cuadro 8. Resumen de Mediciones realizadas en PPM *Cupressus lusitanica*, Finca Miramar, Tecpan Chimaltenango Guatemala.

Variable	1999			2001			2004			2006			2009		
	Pre-Raleo	Raleado	Post-Raleo	Pre-Raleo	Raleado	Post-Raleo	Pre-Raleo	Raleado	Post-Raleo	Pre-Raleo	Raleado	Post-Raleo	Pre-Raleo	Raleado	Post-Raleo
# árboles /ha	1425	425	100	100	300	700	700	200	500	200	300	300	300	50	250
Altura Media m.	9.09	8.3	9.5	11.0	11.0	12.0	14.2	13.0	14.0	15.0	15.0	15.0	16.0	17.0	16.0
DAP Medio cm	12.5	10.14	13.5	17.0	15.83	17.0	22.0	22.0	25.95	21.50	26.83	31.39	32.04	28.04	32.04
Área Basal m ² /ha	18.86	3.94	14.92	23.01	5.97	17.05	27.60	7.23	20.37	9.13	16.44	24.03	21.03	3.00	21.03
Volumen m ³ /ha	72.82	14.53	58.28	111.5	28.5	83.25	154.56	37.59	114.07	55.76	100.61	163.63	144.60	19.03	144.60

Revista **etikalia** se terminó de imprimir en el mes de junio del 2009, en los talleres de Litografías Modernas, con una tirada de 500 ejemplares en papel bond beige de 80 gramos.

Autores:

Iván Santos
Roberto Bran
Víctor Tahuico

César Torres
Iván Santos

Rolando Lara Alecio
Marco Vinicio Fernández
Julio Francisco Barneond

Marco V. Fernández
Samuel Córdova
Enrique B. Flores
Carlos Alberto Franco García

Boris Augusto Méndez Paiz

EDICIÓN:
Dennis Escobar Galicia

DISEÑO:
Hernán Guerra Sandoval



tikalía



Aportes Científico-Tecnológicos en Sistemas de Producción
Agrícola y Recursos Naturales Renovables

CONTENIDO

7 Evaluación de tres estructuras de protección (invernaderos) de baja tecnología con ventilación pasiva para la producción de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill

Iván Santos, Roberto Bran, Víctor Tahuico

29 Evaluación agronómica de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle como sustrato alternativo a la turba de sphagnum para la producción de plántulas en pilón de chile pimiento (*Capsicum annum* L.)

César Torres, Iván Santos

51 Evaluación técnico-económica de dos sistemas de riego aspersión en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) Ingenio Magdalena, S. A., La Democracia, Escuintla

**Rolando Lara Alecio, Marco Vinicio Fernández,
Julio Francisco Barneond**

61 Uso de aceites esenciales para el control del ácaro *varroa* destructor en abejas

**Tesista: Carlos A. Franco G.,
Marco V. Fernández, Samuel Córdova, Enrique B. Flores**

75 Crecimiento y producción de madera en respuesta a raleos periódicos en una plantación de Ciprés común (*Cupressus lusitanica*) en el altiplano occidental de Guatemala: lecciones aprendidas tras diez años de registros

Boris Augusto Méndez Paiz