

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

APOYO TÉCNICO A LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN AGROCYT 017-2006 “EVALUACIÓN AGROTÉCNICA Y ECONÓMICA DE *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle COMO UN SUSTRATO ALTERNATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS EN PILÓN Y CULTIVOS HORTÍCOLAS EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADEROS”

CÉSAR AMÍLCAR MARTÍNEZ TORRES

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

APOYO TÉCNICO A LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN AGROCYT 017-2006 “EVALUACIÓN AGROTÉCNICA Y ECONÓMICA DE *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle COMO UN SUSTRATO ALTERNATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS EN PILÓN Y CULTIVOS HORTÍCOLAS EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADEROS”

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR:

CÉSAR AMÍLCAR MARTÍNEZ TORRES

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

RECTOR MAGNÍFICO

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Armando Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL CUARTO	Br. Rigoberto Morales Ventura
VOCAL QUINTO	Br. Elmer Salazar
SECRETARIO	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, noviembre de 2008

Guatemala, noviembre de 2008

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el Trabajo de Graduación: **APOYO TÉCNICO A LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN AGROCYT 017-2006 “EVALUACIÓN AGROTÉCNICA Y ECONÓMICA DE *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle COMO UN SUSTRATO ALTERNATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS EN PILÓN Y CULTIVOS HORTÍCOLAS EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADEROS”**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

CÉSAR AMÍLCAR MARTÍNEZ TORRES

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Nuestro Señor, por darme la vida y estar siempre conmigo, darme la fortaleza, sabiduría y ser guía de mi vida.

MIS PADRES:

Manuel Martínez Palacios y Maura Consuelo Torres Palacios, con cariño por ser una bendición en mi vida, por sus sabios consejos, sus múltiples esfuerzos y apoyo incondicional, los llevo siempre en mi mente y mi corazón.

MIS HERMANOS:

Alejandra, Adelina, Esvin, Consuelo, Liliana, Rafaela, René, Araceli, Elizabeth, en especial a Iván, gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí y por ayudarme en todo momento, que Dios los bendiga siempre.

MIS SOBRINOS:

Omar, Jeannette, Anabela, Yohan, Adalí, Gabriela, Adiel, Natalí, Emanuel, Alberto, Adolfo, Daniel, Melina, Daniela, Jazmín, René, Consuelo, Lucia, Josué, Paola, por su apoyo y cariño.

MI FAMILIA:

Por su incondicional apoyo, afecto y cariño.

MIS AMIGOS:

Luis Méndez, Diana Galindo, Julia Camel, Justo Pérez, Iván Pinto, José López, Edwin Orellana, Arnoldo Juchuña, Humberto Canux, Osvin Ruyan, por su afecto y apoyo en los momentos de mi vida estudiantil.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

DIOS

Ser supremo que guió mis pasos me dio fuerza y fortalezas para luchar contra las adversidades y alcanzar mis metas, sueños y anhelos.

MI PAÍS

Guatemala, que mi éxito sirva de engrandecimiento y para contribuir a tu desarrollo.

**UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA**

Centro de estudios distinguido, lugar de formación de los responsables de lograr un desarrollo integral para nuestra sociedad.

**FACULTAD DE
AGRONOMÍA**

Unidad académica fundamental, al ser este gran país sustentado por sus suelos, su clima y sus productos vegetales para el alimento y prosperidad de nosotros sus hijos.

AGRADECIMIENTOS

A:

MIS HERMANOS

Ing. Agr. Arturo Iván Martínez Torres
Elizabeth Martínez Torres
Consuelo Martínez Torres
por su incomparable apoyo y por estar siempre dispuestos a brindarme su ayuda.

MIS ASESORES

Ing. Agr. MSc. Iván Santos Castillo
Ing. Agr. MSc. Ezequiel López
por ser consejeros en mi formación académica, por su asesoría y su valiosa colaboración para la realización de este documento.

AL PROYECTO

AGROCYT 017-2006 por ser el medio para contribuir en mi formación profesional.

INGENIEROS AGRÓNOMOS

Aníbal Sacbaja Galindo
Domingo Amador
por sus valiosas sugerencias y colaboración para la realización de este documento.

LA FAMILIA

Artola Gómez, por brindarme su amistad, cariño y afecto durante mi carrera universitaria.

MIS AMIGOS

Luis Méndez, Julia Camel, José López, Edwin Orellana, Cándida Tacam, Macario Pérez, Yefrin Chávez, Nery Azurdía, Cristina Barillas, Paola Gámez, Flor Calderón, Diego Sazo, por su amistad.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN GENERAL	xv
CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO GENERAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	
AGROCYT 017-2006	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	2
1.2 MARCO REFERENCIAL.....	3
1.2.1 Ubicación del proyecto de investigación	3
1.2.2 Vías de acceso	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 General	4
1.3.2 Específicos.....	4
1.4 METODOLOGÍA	5
1.4.1 Revisión de protocolo del proyecto de investigación	5
1.4.2 Revisión de literatura sobre <i>Hydrilla verticillata</i> y sustratos de cultivo	5
1.4.3 Conferencias y giras de campo.....	5
1.4.4 Entrevistas personales.....	6
1.4.5 Visitas de campo.....	6
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
1.5.1 Identificación y descripción de las principales etapas del proyecto de investigación	7
A. Etapa preliminar de campo	7
B. Etapa de laboratorio.....	9
C. Etapa experimental de campo	10

1.5.2	Recursos humanos, físicos y económicos del proyecto de investigación	12
A.	Humano.....	12
B.	Físicos.....	12
C.	Financieros	13
1.5.3	Estructura organizacional e instituciones involucradas en la ejecución del proyecto de investigación.....	13
A.	CONCYT	13
B.	SENACYT	13
C.	AGROCYT	14
D.	FAUSAC	14
E.	ENCA	14
F.	FUNDIT	14
1.5.4	Priorización de problemas	17
A.	Problemas planteados.....	18
1.6	CONCLUSIONES	19
1.7	RECOMENDACIONES	20
1.8	BIBLIOGRAFÍA	21

CAPÍTULO II. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE <i>Hydrilla verticillata</i> (L.F.) Royle COMO SUSTRATO ALTERNATIVO A LA TURBA DE SPHAGNUM PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS EN PILÓN DE CHILE PIMIENTO (<i>Capsicum annum</i> L.)	23	
2.1	PRESENTACIÓN.....	24
2.2	MARCO CONCEPTUAL.....	26
2.2.1	Características generales de <i>Hydrilla verticillata</i> (L.F.) Royle	26
2.2.2	Métodos de reproducción de <i>Hydrilla verticillata</i>	26
2.2.3	Hábitat.....	26
2.2.4	Manejo y control	27
2.2.5	Impacto ambiental.....	28
2.2.6	Situación actual	28
2.2.7	Sustratos en horticultura	29

2.2.8 Sustrato.....	29
2.2.9 Propiedades del sustrato de cultivo.....	30
A. Propiedades físicas.....	30
B. Propiedades químicas.....	32
C. Propiedades biológicas.....	35
2.2.10 Propiedades óptimas de los sustratos.....	36
2.2.11 La turba como componente principal de sustratos.....	37
2.2.12 Problemática del uso exclusivo de turba.....	39
2.2.13 Materiales alternativos a la turba.....	39
2.2.14 Materiales orgánicos.....	39
2.2.15 Materiales inorgánicos.....	42
2.3 MARCO REFERENCIAL.....	45
2.3.1 Ubicación geográfica del sitio experimental.....	45
2.3.2 Instalaciones.....	46
2.3.3 Antecedentes de utilización de sustratos.....	47
2.4 OBJETIVOS.....	49
2.4.1 General.....	49
2.4.2 Específicos.....	49
2.5 HIPÓTESIS.....	50
2.6 METODOLOGÍA.....	51
2.6.1 Etapa de campo.....	51
2.6.2 Etapa de laboratorio.....	52
2.6.3 Etapa en invernadero.....	58
a. Tratamientos evaluados.....	58
b. Unidad experimental.....	59
c. Diseño experimental.....	59
d. Modelo Estadístico.....	61
2.6.4 Etapa de análisis económico.....	61
2.6.5 Variables respuesta del ensayo.....	62
2.6.6 Manejo agronómico del experimento.....	65
2.6.7 Análisis de la información.....	67

2.7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
2.7.1.	Caracterización de las principales propiedades físicas de diesisies combinaciones de residuos de <i>Hydrilla verticillata</i> y perlita	68
2.7.2	Caracterización de las principales propiedades químicas de los residuos de <i>Hydrilla verticillata</i> sometidos a cuatro tiempos de degradación	76
2.7.3	Caracterización biológica de los residuos de <i>Hydrilla verticillata</i> sometidos a cuatro tiempos de degradación.	80
2.7.4.	Evaluación del efecto de dieciséis combinaciones de perlita y residuos de <i>Hydrilla verticillata</i> sometidos a cuatro tiempos de degradacion en la producción de plántulas de <i>C. annum</i> en pilón en:.....	82
A.	Porcentaje de germinación (%).....	82
B.	Altura de plántula (cm).....	88
C.	Diámetro en la base del tallo (cm)	89
D.	Peso fresco de tallo y raíz (g)	91
E.	Contenido de materia seca parte aérea y radicular (%).....	94
F.	Relación tallo/raíz (%)	95
2.7.5	Análisis económico.....	99
2.8	CONCLUSIONES	103
2.9	RECOMENDACIONES.....	104
2.10	BIBLIOGRAFÍA.....	105

CAPÍTULO III. SERVICIOS REALIZADOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN AGROCYT 017-2006	127
3.1 PRESENTACIÓN.....	128
3.2 SERVICIO 1: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FERTIRRIEGO	130
3.2.1 Objetivos.....	130
3.2.2 Metodología	130
3.2.3 Resultados	131
3.2.4 Evaluación	133
3.3 SERVICIO 2: MANEJO TÉCNICO DE LA FASE DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE EN HIDROPONIA.....	134

3.3.1	Objetivos.....	134
3.3.2	Metodología.....	134
3.3.3	Resultados.....	136
3.3.4	Evaluación.....	139
3.4	SERVICIO 3: RENOVACIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PILONES DE LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA.....	140
3.4.1	Objetivos.....	140
3.4.2	Metodología.....	140
3.4.3	Resultados.....	141
3.4.4	Evaluación.....	143
3.5	SERVICIO 4: MANEJO ADMINISTRATIVO DEL PROYECTO AGROCYT 017-2006 DURANTE SU PERIODO DE EJECUCIÓN.....	144
3.5.1	Objetivos.....	144
3.5.2	Metodología.....	144
3.5.3	Resultados.....	145
3.5.4	Evaluación.....	145
3.6	SERVICIO 5: IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DE LABORATORIO Y EQUIPO DE PRODUCCIÓN.....	146
3.6.1	Objetivos.....	146
3.6.2	Metodología.....	146
3.6.3	Resultados.....	147
3.6.4	Evaluación.....	148
3.7	SERVICIO 6. ACTIVIDADES NO PLANIFICADAS.....	149
3.7	BIBLIOGRAFÍA.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.1	Extracción de <i>Hydrilla verticillata</i> en el municipio de El Estor departamento de Izabal.	8
1.2	Secado y molienda de residuos de <i>Hydrilla verticillata</i> .	9
1.3	Degradación de residuos de <i>Hydrilla verticillata</i> .	9
1.4	Determinación de propiedades físicas de residuos de <i>Hydrilla verticillata</i> .	10
1.5	Establecimiento de la investigación en la fase de producción de plántulas en pilón.	11
1.6	Interior del invernadero para producción de pilones de la ENCA.	12
1.7	Estructura organizacional que intervino en la ejecución del proyecto AGROCYT 017-2006.	15
1.8	Estructura de coordinación en la ejecución de actividades del proyecto AGROCYT 017-2006.	16
1.9	Estructura de gestión y oficios administrativos del proyecto AGROCYT 017-2006.	16
2.1	Índices de germinación para los dieciséis sustratos elaborados y para el sustrato control.	80
2.2	Efecto de los sustratos sin degradar, comparado con turba de <i>Sphagnum</i> sobre la germinación acumulada de <i>C. annum</i> .	84
2.3	Efecto de los sustratos con 15 días de degradación, comparado con turba de <i>Sphagnum</i> sobre la germinación acumulada de <i>C. annum</i> .	85
2.4	Efecto de los sustratos con 30 días de degradación, comparado con turba de <i>Sphagnum</i> sobre la germinación acumulada de <i>C. annum</i> .	85
2.5	Efecto de los sustratos con 45 días de degradación, comparado con turba de <i>Sphagnum</i> sobre la germinación acumulada de <i>C. annum</i> .	86
2.6	Efecto de los sustratos, sobre el porcentaje de germinación acumulada de <i>C. annum</i> .	87
2.7	Efecto de los sustratos, sobre la altura de plántulas de <i>C. annum</i> .	89

2.8	Efecto de los sustratos, sobre el diámetro en la base del tallo de plántulas de <i>C. annum</i> .	90
2.9	Efecto de los sustratos, sobre el peso fresco del sistema radicular en plántulas de <i>C. annum</i> .	92
2.10	Efecto de los sustratos, sobre el peso fresco de la parte aérea completa de plántulas de <i>C. annum</i> .	93
2.11	Efecto de los sustratos, sobre el contenido de materia seca de parte aérea y radicular en plántulas de <i>C. annum</i> .	96
2.12	Efecto de los sustratos, sobre la relación tallo raíz de plántulas de <i>C. annum</i> .	96
2.13	Efecto del sistema sustrato raíz, en el grado de compactación y resistencia al golpe en pilones de <i>C. annum</i> .	98
2.14A	Croquis de campo, distribución de los tratamientos y unidades experimentales (completamente al azar).	108
2.15A	Ubicación geográfica del sitio experimental.	109
2.16A	Puntos de muestreo de <i>Hydrilla verticillata</i> en el lago de Izabal.	109
2.17A	Características para la identificación de <i>Hydrilla verticillata</i> .	110
2.18A	Comparación entre <i>Hydrilla verticillata</i> y otras especies similares que normalmente pueden confundirse con <i>Hydrilla</i> .	110
2.19A	Determinación del grado de compactación y resistencia al golpe de los pilones, al momento de extraerlos de la bandeja.	111
2.20A	Pilones de chile pimiento, producidos en turba T17 (TS-100) comparados con pilones de chile pimiento, producidos en sustrato elaborado T12 (H30-85-15).	111
3.1	Materiales para la instalación del sistema de riego por goteo.	130
3.2	Distribución de la tubería lateral, para la instalación del sistema de riego por goteo.	130
3.3	Instalación de laterales del sistema de riego por goteo.	130
3.4	Equipo de fertirrigación automatizado (fertikit PB).	131

3.5	Supervisión del funcionamiento del sistema de riego por goteo.	131
3.6	Acondicionamiento de bolsas con sustrato a base de <i>Hydrilla verticillata</i> y arena pómez dentro del invernadero.	135
3.7	Transplante y tutoreo de plántulas de tomate variedad Titán.	135
3.8	Desarrollo de las plantas y cuajado de los primeros frutos de tomate.	136
3.9	Cuajado y desarrollo de frutos de tomate.	136
3.10	Pesado de frutos correspondientes a los primeros dos racimos.	136
3.11	Estado anterior del área de producción de pilones de la ENCA.	140
3.12	Cementado de espacios entre bancales.	140
3.13	Colocación de marcos galvanizados, para la construcción de bancales.	140
3.14	Estado actual del área de producción de pilones.	141
3.15	Potenciómetro y conductivímetro portátil.	145
3.16	Implementación de equipo de aplicación de insecticidas, herbicidas y fertilizantes foliares.	145
3.17	Estudiantes de Prácticas Agronómicas, aplicando fertilizante granulado a plantas de tomate.	147
3.18	Comité organizador del curso “Diseño de riego por goteo y requerimientos hídricos de los cultivos bajo invernaderos”.	147

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.1	Matriz de priorización de problemas, encontrados en el proyecto AGROCYT 017-2006.	17
2.1	Clasificación básica de los materiales usados como sustratos.	28
2.2	Niveles óptimos de los nutrientes asimilables en un sustrato orgánico.	32
2.3	Interpretación de los niveles de salinidad de un sustrato de cultivo.	33
2.4	Valores óptimos de las propiedades físicas para sustratos hortícolas.	35
2.5	Valores óptimos para las propiedades químicas de los sustratos.	36
2.6	Propiedades físicas de las turbas.	37
2.7	Propiedades químicas de las turbas.	37
2.8	Composición elemental de la perlita.	42
2.9	Propiedades físicas de distintos tipos de perlita.	43
2.10	Métodos utilizados en el laboratorio, para determinar la disponibilidad de nutrientes y pH de los sustratos.	55
2.11	Costo estimado de producción en quetzales, para la elaboración de los sustratos.	99
2.12	Cantidad total en kilogramos de sustrato, elaborado para los tratamientos evaluados.	99
2.13	Costo en quetzales estimado por kilogramo de sustrato elaborado.	99
2.14	Ingreso bruto estimado por la venta de los sustratos elaborados.	100
2.15	Estimación de los indicadores, rentabilidad y relación beneficio costo, para los sustratos elaborados.	100
3.1	Tratamientos evaluados en la fase de rendimiento del cultivo de tomate en hidroponía.	133
3.2	Rendimiento por tratamiento, obtenido en la primera y segunda cosecha de frutos de tomate, en la fase de cultivo en hidroponía.	137

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
2.1	Características de la bandeja utilizada en la evaluación.	58
2.2	Composición volumétrica de las combinaciones evaluadas, para la producción de plántulas en pilón de <i>C. annuum</i> .	59
2.3	Escala descrita para estimación del grado de compactación y resistencia del pilón.	63
2.4	Propiedades físicas de los sustratos sin degradar, con proporciones mezcladas de perlita.	68
2.5	Propiedades físicas de los sustratos con 15 días de degradación, con proporciones mezcladas de perlita.	70
2.6	Propiedades físicas de los sustratos con 30 días de degradación, con proporciones mezcladas de perlita.	71
2.7	Propiedades físicas de los sustratos con 45 días de degradación, con proporciones mezcladas de perlita.	72
2.8	Propiedades físicas del tratamiento control turba de <i>Sphagnum</i> rubia.	73
2.9	Propiedades físicas de la perlita, usada en las combinaciones.	74
2.10	Valores de pH y conductividad eléctrica de los sustratos con y sin degradar.	76
2.11	Concentración de nutrientes mayores disponibles en los sustratos.	77
2.12	Concentración de nutrientes menores disponibles en los sustratos.	78
2.13	Porcentaje de materia orgánica, nitrógeno total, y relación carbono nitrógeno de los sustratos.	79
2.14	Índices de germinación de semillas de <i>C. annuum</i> en la determinación de efectos fitotóxicos de los sustratos.	80
2.15	Efecto de los sustratos, sobre el porcentaje de germinación acumulada.	83
2.16	Efecto de los sustratos, sobre la altura y el diámetro en la base del tallo en plántulas de <i>C. annuum</i> .	89

2.17	Efecto de los sustratos, sobre el peso fresco de la parte aérea completa y de la raíz en plántulas de <i>C. annuum</i> .	91
2.18	Efecto de los sustratos, en el contenido de materia seca de la parte aérea completa, de la raíz y de la relación tallo raíz, en plántulas de <i>C. annuum</i> .	95
2.19	Efecto del sistema sustrato raíz, en el grado de compactación y resistencia al golpe del pilón de <i>C. annuum</i> .	97

TRABAJO DE GRADUACIÓN

APOYO TÉCNICO A LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN AGROCYT 017-2006 “EVALUACIÓN AGROTÉCNICA Y ECONÓMICA DE *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle COMO UN SUSTRATO ALTERNATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS EN PILÓN Y CULTIVOS HORTÍCOLAS EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADEROS”

RESUMEN

Este trabajo es el resultado del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA) realizado durante la ejecución del proyecto de investigación AGROCYT 017-2006 en la Facultad de Agronomía y la Escuela Nacional Central de Agricultura, durante el período de agosto 2007 a mayo 2008. En el mismo se presenta un informe sobre cada una de las actividades que lo conforman: diagnóstico, investigación y servicios.

Como apoyo gubernamental a las ciencias del agro, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del Fondo Competitivo de Desarrollo Tecnológico Agroalimentario, contribuye con el financiamiento de proyectos de investigación que buscan fortalecer el desarrollo agroalimentario del país. El proyecto AGROCYT 017-2006, es un esfuerzo por implementar el uso de la planta acuática *Hydrilla verticillata*, como un sustrato alternativo para la producción de plántulas en pilón y cultivos hortícolas en hidroponía bajo invernadero.

En el diagnóstico se exponen las tres principales etapas que conforman el proyecto de investigación, contemplando la ubicación de las áreas de desarrollo y la metodología de campo y laboratorio de cada una de ellas. Se describen los recursos humanos, físicos y financieros utilizados en la ejecución del proyecto, así como las principales instituciones involucradas en el cumplimiento del mismo.

La investigación se desarrolló con el objetivo principal de evaluar el efecto del uso de la combinación de residuos de *Hydrilla verticilla* y perlita en distintas proporciones, como sustrato en la germinación y desarrollo de plántulas en pilón de chile pimiento

(*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero, caracterizando previamente las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de estas combinaciones.

Se evaluaron dieciséis combinaciones de residuos de *Hydrilla* sin degradar y degradados en 15, 30 y 45 días, mezclados con cuatro proporciones de perlita 0, 5, 10 y 15%, utilizando como comparador la turba de *Sphagnum*. Los resultados muestran que según los tratamientos evaluados y bajo las condiciones y metodologías utilizadas, el mejor sustrato para sustituir a la turba comercial en la producción de plántulas en pilón de chile pimienta, fue la combinación de: *Hydrilla verticillata* degradada en 30 días (85%) y perlita (15%), combinación que presentó propiedades físicas, químicas y biológicas, y características de plántula, similares a las presentadas en la turba comercial y con un costo menor que ésta.

Con los servicios realizados se contribuyó a la implementación de un sistema de riego por goteo y un equipo de fertirrigación para los tres invernaderos, ubicados en el área de investigación del Centro Experimental Docente de Agronomía. Un segundo servicio consistió, en proporcionar el manejo técnico durante la fase de evaluación del cultivo de tomate en hidroponía, comprendida desde la preparación del sustrato hasta la cosecha de 51 unidades experimentales. En el tercer servicio, se efectuó la renovación del área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura, logrando reestructurar el sistema de 4 bancales, adecuar las calles entre estos y reducir la acumulación de agua en el suelo del invernadero.

En el cuarto servicio, se contribuyó con el manejo administrativo del proyecto durante su periodo de ejecución, consistiendo principalmente en liquidaciones quincenales de planillas para trabajadores de campo, liquidaciones de viáticos, y trámites de reembolsos mediante liquidación de facturas por compra de insumos. Como un quinto servicio, se implementó el uso de equipo portátil de laboratorio para el monitoreo de propiedades del sustrato de cultivo y del agua de riego (pH y conductividad eléctrica), así mismo se implementó el uso de bombas de mochila motorizadas para facilitar el control de plagas y enfermedades y reducir el agotamiento físico de los trabajadores de campo.



1.1 PRESENTACIÓN

Una alternativa para la producción de plántulas en pilón y cultivos hortícolas en sustratos que contribuya a reducir costos, es la utilización de materiales locales de alta disponibilidad.

Debido a ello en el año 2006 con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONCYT y bajo la convocatoria AGROCYT 2006 se planteó el proyecto de investigación, titulado “Evaluación agrotécnica y económica de *Hydrilla verticillata* como un sustrato alternativo para la producción de plántulas en pilón y cultivos hortícola en hidroponía bajo invernaderos”. Con este proyecto se buscó un uso alternativo a los residuos de *Hydrilla verticillata*, planta acuática que actualmente se encuentra infestando y causando problemas, principalmente ambientales en las aguas de la cuenca del lago de Izabal y Rio Dulce, en el departamento de Izabal (3).

En este diagnóstico se expone la propuesta del proyecto, contemplando las tres principales etapas, la ubicación de las áreas de desarrollo, y la metodología de campo y laboratorio de cada una de éstas.

El proyecto de investigación fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología y el Fondo Competitivo de Desarrollo Tecnológico Agroalimentario, con el aval de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Escuela Nacional Central de Agricultura, estas instituciones se involucraron directamente en el desarrollo de ésta investigación, tanto en el área administrativo, financiero y legal como en la ejecución técnica de campo.

Para el desarrollo del proyecto, se contempló un periodo de ejecución de 2 años, iniciando en septiembre de 2006, finalizando en septiembre de 2008.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Ubicación del proyecto de investigación

El proyecto de investigación se ejecutó en dos lugares debido a sus diferentes etapas, estas áreas de trabajo fueron: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Escuela Nacional Central de Agricultura.

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, geográficamente está ubicada en las coordenadas 14°35'6" Latitud Norte 90°33'9" Longitud Oeste, a una altitud de 1,502 msnm, en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical templado (Bh-st), con una precipitación media anual de 1,216.2 mm., temperatura media de 18.3 °C y humedad relativa del 79% (2).

La Escuela Nacional Central de Agricultura, está ubicada en la finca Bárcena, aldea del mismo nombre, en el municipio de Villa Nueva del departamento de Guatemala, geográficamente está ubicada en las coordenadas 14°32'48" Latitud Norte, y 90°37'21" Longitud Oeste. Se encuentra a 24 km de la ciudad capital y a 3 km del municipio de Villa Nueva, a una altitud de 1,437 msnm; con una extensión de 11.5 caballerías.

Bárcena en general presenta clima templado, la temperatura oscila entre 20°C mínima y 26°C máxima. La precipitación media anual de 945 mm y una humedad relativa del 75%, se encuentra en la zona de vida; Bosque Húmedo Subtropical (Bh-s) (6).

1.2.2 Vías de acceso

El Centro Experimental Docente de Agronomía y el laboratorio de análisis de suelo, planta y agua "Salvador Castillo Orellana" están ubicados dentro del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se tiene acceso mediante el circuito periférico que rodea la Ciudad Universitaria en la zona 12 de la Ciudad Capital de Guatemala.

La Escuela Nacional Central de Agricultura, es accesible por carretera totalmente asfaltada, a través del desvío ubicado en el kilómetro 17.5 de la carretera que conduce hacia el municipio de Amatitlán Guatemala.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Determinar la situación actual del proyecto de investigación “Evaluación agrotécnica y económica de *Hydrilla verticillata* como un sustrato alternativo para la producción de plántulas en pilón y cultivos hidropónicos bajo invernadero”.

1.3.2 Específicos

1. Describir las principales etapas contempladas en el proyecto de investigación.
2. Indagar sobre los recursos humanos, físicos y económicos con que cuenta el proyecto de investigación.
3. Describir la estructura organizacional y las instituciones involucradas en la ejecución del proyecto de investigación.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Revisión de protocolo del proyecto de investigación

Se revisó el protocolo del proyecto presentado, según la convocatoria realizada por CONCYT, para identificar las principales etapas de la investigación e indagar específicamente sobre cada una de sus actividades y metodologías, así como para conocer los recursos físicos y económicos con los que se contaba para con ello tener una perspectiva del proyecto y de sus objetivos.

1.4.2 Revisión de literatura sobre *Hydrilla verticillata* y sustratos de cultivo

Se recopiló información sobre la planta acuática *Hydrilla verticillata*, así como del uso de sustratos como medios de cultivo a nivel regional en los diferentes centros de documentación, entre ellos CEDIA de la Facultad de Agronomía, biblioteca de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

1.4.3 Conferencias y giras de campo

Se participó en la conferencia sobre reproducción y métodos de control de *Hydrilla verticillata*, impartida por el Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez, a estudiantes de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencia Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos.

Se realizaron visitas de campo a las principales empresas productoras de plántulas, entre ellas, Popoyán, Pegón Piloncito y Pilonos de Antigua S.A., para conocer sobre el proceso de producción de plántulas en pilón e infraestructura de invernaderos, así mismo se realizaron visitas al área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura y a las instalaciones del Centro Experimental Docente de Agronomía.

1.4.4 Entrevistas personales

Se realizaron entrevistas personales con el investigador principal del proyecto MSc. Iván Santos Castillo, quien formuló el proyecto de investigación según normas de la convocatoria AGROCYT 2006. También se realizó una entrevista con el Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez, profesor titular de la Facultad de Agronomía quien cuenta con amplia experiencia en el control de malezas y conocimiento sobre la situación actual de *Hydrilla verticillata* en el departamento de Izabal.

1.4.5 Visitas de campo

Se determinó la situación actual del proyecto de investigación mediante visitas de campo, en compañía del investigador principal a las áreas y a las personas encargadas de ejecutar las actividades. Mediante estas visitas se determinó el grado de avance en la ejecución, tomando en cuenta el tiempo planificado y estimando las actividades pendientes, para realizarse en el periodo restante de ejecución.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagnóstico se realizó para las actividades ejecutadas en el primer año de desarrollo del proyecto, el cual estuvo comprendido de septiembre 2006 a septiembre de 2007. En esta última fecha se asumió la continuidad del proyecto, debido a la coincidencia con la fecha de inicio del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA). Debido a esto, el diagnóstico realizado se orientó en la apreciación y determinación del avance obtenido en el primer año de ejecución.

El proyecto se identificó con el código AGROCYT 017-2006, éste en su primer año de ejecución, tuvo un avance correspondiente al 60% de sus actividades totales, habiéndose concluido dos de las tres etapas principales que lo conformaron, siendo estas: la determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas, y la segunda, el desarrollo de la fase de pilones, quedando pendiente la etapa de desarrollo de cultivo en hidroponía y la presentación final de resultados. Debido al avance obtenido, se consideró que la etapa de cultivo en hidroponía se concluiría satisfactoriamente en el año restante de ejecución, cumpliendo al final con los objetivos planteados.

De acuerdo a la metodología y su desarrollo, para efectuar el diagnóstico del proyecto de investigación AGROCYT 017-2006 “Evaluación agrotécnica y económica de *Hydrilla verticillata* como un sustrato alternativo para la producción de plántulas en pilón y cultivos hidropónicos bajo invernadero” en su parte técnico-científica contempló cuatro etapas.

1.5.1 Identificación y descripción de las principales etapas del proyecto de investigación

A. Etapa preliminar de campo

Descripción: ésta etapa contempló, desde la colecta de *Hydrilla* hasta obtener el material degradado, tuvo una duración de 60 días. Se inició con el reconocimiento e identificación de las áreas infestadas con la planta en el lago de Izabal, posteriormente su colecta, su tratamiento y su degradación. Dentro de ésta se realizaron varias actividades (7).

a. Colecta y recepción de residuos de *Hydrilla verticillata*

La colecta de este material, se realizó en el municipio de El Estor en el departamento de Izabal, tuvo una duración de 5 días, durante el primero se identificaron los puntos de extracción, mientras que durante los siguientes días se procedió a la colecta. La colecta se realizó con una barcaza (maquinaria especializada para esta actividad).

Los restos de *Hydrilla* se transportaron en vehículo desde el departamento de Izabal hasta la ciudad capital al área de invernaderos y laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Figura 1.1 Extracción de *Hydrilla verticillata* en el municipio de El Estor, departamento de Izabal.

b. Preparación y acondicionamiento de residuos de *Hydrilla*

Esta actividad incluyó el secado y molienda del material, ambas se realizaron en el área de invernaderos del Centro Experimental de Agronomía, durante un periodo de 15 días. El secado se realizó a temperatura ambiente hasta que el material presentó un porcentaje de humedad constante (15%). La molienda se realizó por trituración, con un molino de martillos, a manera de obtener una granulometría adecuada (6 mm, grado fino).



Figura 1.2 Secado y molienda de residuos de *Hydrilla verticillata*.

c. Degradación de los residuos

Incluyó la degradación de los residuos de *Hydrilla* y la depuración o tamizado. El material se degradó durante 15, 30 y 45 días por el método de degradación al aire libre en pilas o montones. La depuración se realizó tamizando los restos de *Hydrilla* degradados en una malla de 12.5 mm y un segundo tamizado con una malla de 6.0 mm.



Figura 1.3 Degradación de residuos de *Hydrilla verticillata*.

B. Etapa de laboratorio

Descripción: ésta etapa tuvo una duración de 30 días. Se inició con la toma de muestras de residuos sin degradar y degradados en los diferentes tiempos, posteriormente el

ingreso de estas al laboratorio de análisis de suelo y agua de la Facultad de Agronomía (7).

a. Determinación de las propiedades físicas

Se determinó el contenido de materia seca, contenido de agua, densidad aparente, porosidad, agua fácilmente disponible, capacidad de aireación y mojabilidad. Estas propiedades se realizaron con los residuos degradados en base seca y todas referidas en volumen. Para ello se utilizó una probeta de 250 y 100 ml, embudos, beacker y picetas.

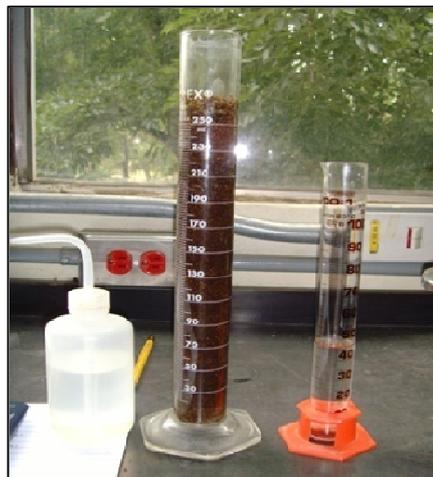


Figura 1.4 Equipo utilizado para la determinación de propiedades físicas de residuos de *Hydrilla verticillata*.

b. Determinación de propiedades químicas

Se determinó la disponibilidad de nutrientes, pH, salinidad, relación carbono/nitrógeno y contenido de materia orgánica. Estos análisis se realizaron con el equipo y reactivos del laboratorio de análisis de suelo y agua.

C. Etapa experimental de campo

Descripción: ésta etapa tuvo una duración de 70 días. Se inició con establecer la evaluación en su fase de plántulas en pilón bajo invernadero, en el área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura (7).

a. Evaluación de residuos de *Hydrilla verticillata* en la respuesta agronómica de plántulas de tomate en pilón

En ésta fase se utilizó el cultivo de tomate variedad Titán y un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones y 17 tratamientos, los cuales fueron producto de la combinación del material degradado a tres tiempos (15, 30, 45 días) y mezclado con tres proporciones de arena pómez (10, 20, 30%).

El experimento consistió de 51 unidades experimentales, cada unidad experimental de 100 plántulas de tomate sembradas en bandejas de 242 celdas. El manejo agronómico consistió en el llenado de bandejas, siembra y transplante, riego, fertilización y control fitosanitario. Se midieron variables respuesta siendo: altura promedio de plántulas en centímetros, producción de materia seca en gramos, días a la germinación, relación tallo raíz y materia seca del sistema radicular, analizándose estadísticamente mediante análisis de varianza y pruebas de comparación múltiples de medias con 5% de significancia.



Figura 1.5 Establecimiento de la investigación en la fase de producción de plántulas de tomate en pilón.

El diagnóstico realizado concluyó en esta fase del proyecto, quedando pendiente de establecerse la fase de cultivo en hidroponía en el área de invernaderos del Centro Experimental Docente de Agronomía.

1.5.2 Recursos humanos, físicos y económicos del proyecto de investigación

A. Humano

El recurso humano con el que contó el proyecto, estuvo conformado por el investigador principal, quien es la persona que presentó la propuesta del proyecto ante las instituciones correspondientes, el investigador asociado, persona representante de la o las instituciones ejecutoras de la parte técnica del proyecto, el auxiliar de investigación, persona encargada de supervisar directamente las actividades de cada etapa del proyecto y cuatro jornales, quienes ejecutaron directamente cada actividad (7).

B. Físicos

Los recursos físicos con los que se contó para la ejecución del el proyecto, estuvieron distribuidos entre la Escuela Nacional de Agricultura y la Facultad de Agronomía. Se contó con áreas abiertas para la recepción y degradación de los residuos de *Hydrilla verticillata*, invernaderos para producción de pilones y laboratorios (7).

Cabe mencionar que entre los recursos físicos, el área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA) no contaba con un sistema de bancales apropiados, siendo éstos de madera y poco estables para el soporte de todas las bandejas.



Figura 1.6 Interior del invernadero para producción de pilones de la ENCA.

C. Financieros

Los recursos financieros con que contó fueron desembolsados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Estos recursos fueron distribuidos en diferentes rubros con una cantidad monetaria específica según los materiales utilizados. Se contó con un presupuesto adecuado para la ejecución del proyecto durante el periodo de dos años, comprendidos de septiembre del año 2006 a septiembre del año 2008 (7).

1.5.3 Estructura organizacional e instituciones involucradas en la ejecución del proyecto de investigación

Las principales instituciones involucradas fueron del sector gubernamental, siendo éstas las que promueven la generación de ciencia y tecnología en las ciencias del agro en Guatemala.

A. CONCYT

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), es el órgano rector en el campo del desarrollo científico y tecnológico del país, y le corresponde la promoción y coordinación de las actividades científicas y tecnológicas.

El CONCYT puede gestionar a través de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología SENACYT, ante cualquier entidad nacional e internacional, toda clase de cooperación financiera y técnica para la realización de sus actividades, proyectos y programas, a ser ejecutados por las instituciones integrantes del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (1).

B. SENACYT

La Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), es la responsable de apoyar y ejecutar las decisiones que emanen del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, (CONCYT) y de dar seguimiento a sus respectivas acciones; constituye el vínculo entre las instituciones que integran el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (1).

Tiene la función de someter a consideración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, las propuestas de actividades, planes, proyectos, programas o eventos de desarrollo científico tecnológico nacional, así como darle seguimiento a las actividades, proyectos y programas aprobados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a efecto de mantener un informe actualizado para su adecuada coordinación (1).

C. AGROCYT

El Fondo Competitivo de Desarrollo Tecnológico Agroalimentario (AGROCYT) es un esfuerzo del Gobierno de Guatemala, a través del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por implementar un mecanismo competitivo de financiamiento de proyectos de investigación agroalimentaria (1).

D. FAUSAC

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es la encargada de formar profesionales líderes y de calidad a nivel de técnico universitario. Contribuye con el desarrollo nacional y regional, generando servicios por medio de programas de investigación y extensión, lo cual propicia el avance de los procesos de producción agrícola y forestal, el desarrollo rural, las ciencias de la tierra, los recursos naturales renovables y el ambiente (5).

E. ENCA

La Escuela Nacional Central de Agricultura, es la encargada de formar a peritos agrónomos y forestales que contribuyan al desarrollo de las ciencias agronómicas del país. Es la rectora de la educación media agrícola en Guatemala y propicia el desarrollo y educación de agricultores provenientes de todo el país (6).

F. FUNDIT

La Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria y Forestal, es una asociación civil con fines de lucro. Su objetivo es contribuir en el fortalecimiento del sistema de

innovación tecnológica agrícola para mejorar la calidad de vida de las familias rurales a través de la gestión y administración de proyectos de investigación, transferencia de tecnología y formación de recursos humanos (4).

La FUNDIT es la intermediaria entre las instituciones de ejecución técnica del proyecto y las instituciones financiadoras, a través de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (4).

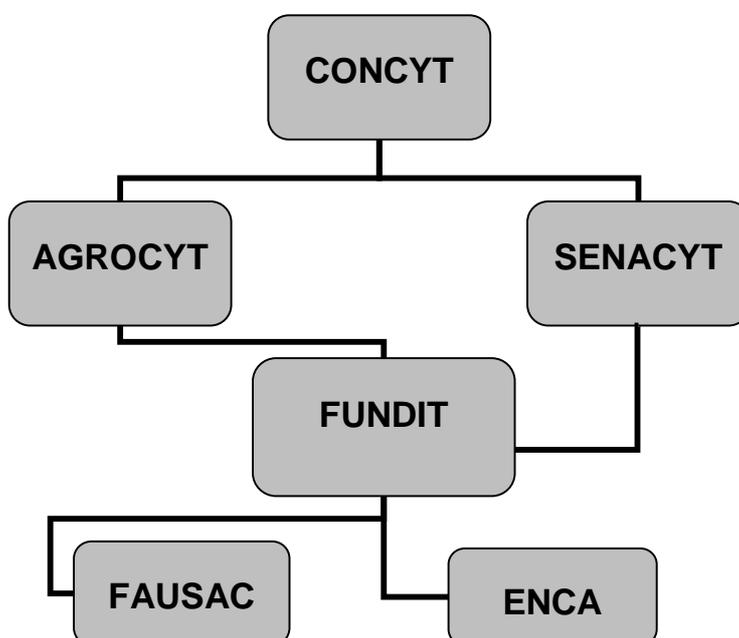


Figura 1.7 Estructura organizacional que intervino en la ejecución del proyecto AGROCYT 017-2006.



Figura 1.8 Estructura de coordinación en la ejecución de actividades del proyecto AGROCYT 017-2006.

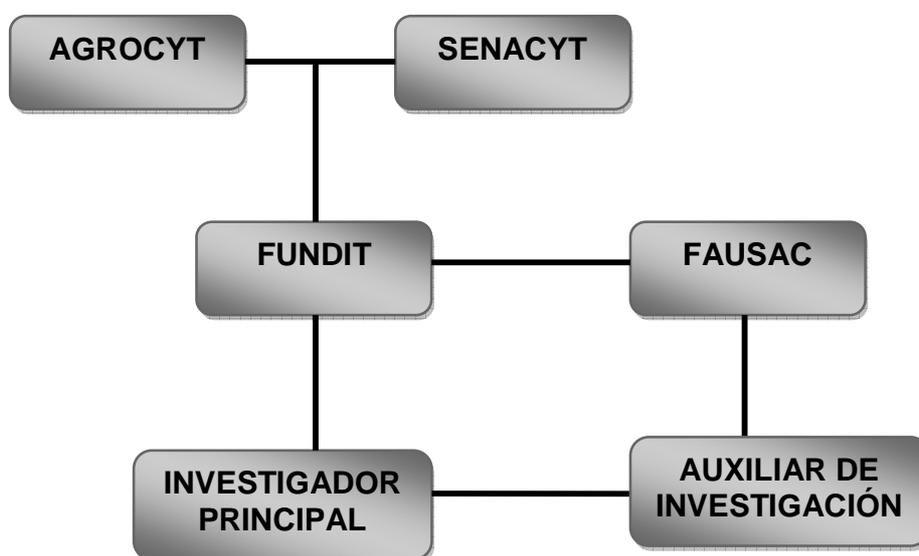


Figura 1.9 Estructura de gestión y oficios administrativos del proyecto AGROCYT 017-2006.

1.5.4 Priorización de problemas

Dentro del diagnóstico realizado, se evaluó el desarrollo que hasta la fecha ha tenido el proyecto AGROCYT 017-2006, encontrándose un avance significativo (60%) y en términos generales en acuerdo con el tiempo planificado para cada actividad, sin embargo la última fase perteneciente a la etapa experimental de campo aún no se ha desarrollado por diversos factores, principalmente un adecuado sistema de riego en los invernaderos de producción del Centro Experimental de Agronomía. La implementación a brevedad de un correcto sistema de riego, permitirá que ésta última fase se lleve a cabo satisfactoriamente y que el proyecto pueda concluir en el tiempo estipulado.

Como este contratiempo se pudieron detectar otros problemas, que en cierta medida influyeron en la correcta ejecución de las diferentes etapas del proyecto. Estos problemas se resumen en la siguiente matriz.

Cuadro 1.1 Matriz de priorización de problemas encontrados en el proyecto AGROCYT 017-2006

PROBLEMA	CORRECTA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES EN EL PROYECTO	CULMINACIÓN DEL PROYECTO EN EL TIEMPO ESTIPULADO	SUMATORIA
Sistema de bancales para bandejas	7	4	11
Sistema de riego	9	8	17
Equipo de monitoreo de pH y C.E.	6	2	8
Manejo administrativo del proyecto	3	6	9

Los principales problemas encontrados, se presentan en forma ordenada según su sumatoria de mayor a menor, siendo el problema con mayor puntuación el más importante y el que requiere de prioridad.

A. Problemas planteados

- a. Sistema de riego
- b. Sistema de bancales para bandejas
- c. Manejo administrativo del proyecto
- d. Equipo de monitoreo de pH y C.E.

1.6 CONCLUSIONES

1. El proyecto de investigación AGROCYT 017-2006, está estructurado bajo tres etapas fundamentales: etapa preliminar de campo, en la que se incluye la colecta y degradación de los residuos de *Hydrilla*; etapa de laboratorio, en la que se realizó la caracterización física y química de los residuos; etapa experimental de campo, donde se evaluó la respuesta agronómica de plántulas de tomate en pilón al sustrato elaborado con residuos de *Hydrilla*.
2. El proyecto contó con recurso humano dentro del cual destaca el investigador principal, el auxiliar de investigación y la mano de obra, quienes se involucraron directamente en la ejecución de las actividades, el recursos físico estuvo limitado por un deficiente sistema de bancales para la colocación de las bandejas y un deficiente sistema de riego para desarrollar la fase de producción en hidroponía, mientras que el recurso financiero no fue limitante, contando con un presupuesto adecuado para ejecutar el proyecto.
3. Las instituciones gubernamentales involucradas en la ejecución del proyecto son: el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología, Fondo Competitivo de Desarrollo Tecnológico Agroalimentario, la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos y la Escuela Nacional Central de Agricultura, mientras que la Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria y Forestal fue la institución no gubernamental encargada de administrar los fondos financieros del proyecto.
4. El proyecto de investigación durante su primer año de ejecución alcanzó un avance del 60% del total de las actividades que lo conformaron, quedando únicamente la fase de evaluación en cultivos hidropónicos para el segundo año, fase que depende de un adecuado sistema de riego, factor que constituye el principal problema de este proyecto.

1.7 RECOMENDACIONES

1. Es indispensable priorizar la ejecución de la fase de producción de cultivo hidropónico, debido a que requiere como mínimo de 6 meses para culminarlo.
2. Se recomienda la implementación de un sistema de riego en los invernaderos de producción del Centro Experimental Docente de Agronomía, que permita brindarle un riego adecuado a los cultivos, principalmente al correspondiente a este proyecto de investigación.
3. Darle seguimiento y en la medida de lo posible solucionar los problemas detectados en este proyecto, principalmente adecuar el área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura.

1.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, GT. 2008. Ciencia, tecnología e innovación bases fundamentales del desarrollo económico y social del país (en línea). Guatemala, GT. Consultado 8 may 2008. Disponible en <http://www.concyt.gob.gt>
2. 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.
3. FIPA (Proyecto de Fortalecimiento en Políticas Ambientales, GT). 2003. Estudio de impacto ambiental para la aplicación de medidas de control y mitigación de la especie invasora *Hydrilla verticillata* en Izabal. Guatemala. 113 p.
4. Mazariegos, DE. 2008. Información de fundaciones (entrevista). Guatemala, Fundación para la Innovación Tecnológica y Agropecuaria, Director Administrativo.
5. Peláez Reyes, P. 2007. Normativo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, USAC. 173 p.
6. Samayoa Fernández, RD. 1992. Informe general de servicios prestados a la Escuela Nacional Central de Agricultura y a la comunidad Bárcena, Villa Nueva del departamento de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 37 p.
7. Santos, ID. 2007. Proyecto AGROCYT 017-2006 (entrevista). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Área Tecnológica, Subarea de Manejo de Suelo y Agua.

The seal of the University of Carolina at Matanzas is a circular emblem. It features a central shield with a golden crown on top, a lion on the right, and a figure on the left. The shield is set against a background of a globe. The Latin motto "CAETERIS CONSPICUA" is written along the top arc, and "MATANZENSIS INTER" along the bottom arc. The words "CAROLINA ACADEMIA" are partially visible on the right side.

CAPÍTULO II

**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.)**

**AGRONOMIC EVALUATION OF *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle AS
SUBSTRATE ALTERNATIVE TO THE SPHAGNUM PEAT FOR THE
PRODUCTION OF SEEDLINGS IN PYLON OF CHILI PEPPER
(*Capsicum annum* L.)**

2.1 PRESENTACIÓN

En Guatemala uno de los principales cultivos hortícolas es el chile pimiento (*Capsicum annum* L.). El incremento en la demanda de este cultivo ha promovido el crecimiento en la industria de producción principalmente de plántulas en pilón, y como consecuencia el aumento en la importación de sustratos, lo que para Guatemala según datos del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación representó en el primer trimestre del año 2006 un volumen de importación de 272,812 kg de turba.

La turba de *Sphagnum* 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, pero su elevado costo y explotación no sostenible ha comenzado a restringir su uso. Debido a ello se ha motivado la búsqueda de otros materiales locales tanto orgánicos como inorgánicos o la mezcla de ellos como una alternativa para la reducción de costos.

Dentro de estos materiales está *Hydrilla verticillata*, una planta acuática sumergida con gran adaptabilidad y crecimiento agresivo que favorece el proceso de eutrofización. 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.

La elevada y frecuente deposición de residuos de esta planta a orillas del lago, la hace el medio favorito para la reproducción de moscas y zancudos, así como de la emanación de malos olores, contaminando en gran medida el ambiente.

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar el efecto del uso de la combinación de residuos de *Hydrilla verticillata* y perlita en distintas proporciones como sustrato en la germinación y desarrollo de plántulas en pilón de chile pimiento bajo condiciones de invernadero, caracterizando previamente las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de estas combinaciones.

Se evaluaron dieciséis combinaciones de residuos de *Hydrilla* sin degradar y degradados en 15, 30 y 45 días, mezclados con cuatro proporciones de perlita 0, 5, 10, y 15% utilizando como comparador o control la turba de *Sphagnum*.

Los resultados muestran, según los tratamientos evaluados y bajo las condiciones y metodologías utilizadas que el mejor sustrato para sustituir a la turba en la producción de plántulas de chile pimienta fue la combinación de: *Hydrilla verticillata* degradada en 30 días y perlita en proporciones 85% *Hydrilla* y 15% perlita, combinación que presentó propiedades físicas, químicas y biológicas similares a la turba comercial y con un costo menor que esta.

Con estos resultados se contribuye a la búsqueda de materiales locales y de alta disponibilidad que permitan desarrollar sustratos alternativos a la turba, favoreciendo además a reducir el impacto social y ambiental que plantas invasoras como *Hydrilla verticillata* están causando en la actualidad.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Características generales de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle

Hydrilla verticillata (L.F.) Royle es una planta acuática sumergida, perteneciente a la familia Hydrocharitaceae. Es nativa de regiones templadas de Asia pero actualmente se encuentra también en América, Europa, África y Australia. Debido a sus características fisiológicas, variedad de modos de reproducción, rápido crecimiento y gran adaptabilidad es considerada la maleza perfecta (Langeland, 1996). Las hojas presentan márgenes aserrados y muchas veces presentan espinas a lo largo de la vena central. Los tallos pueden alcanzar entre 7 y 9 metros de largo, presentando numerosas ramificaciones cuando alcanza la superficie del agua (FIPA, 2003).

2.2.2 Métodos de reproducción de *Hydrilla verticillata*

Hydrilla puede reproducirse por cuatro métodos, fragmentos (vástagos), tubérculos, turiones y semillas, lo que la hace muy agresiva y eficiente especie invasora. Los turiones son yemas producidas en las axilas de las hojas, y parecen espinas. Los tubérculos son turiones de fondo y se forman a partir de los rizomas. La latencia de los tubérculos en los sedimentos puede durar varios años, particularmente aquellos de plantas dioicas. Otra forma de reproducción es por vástagos tan pequeños como un fragmento de tallo conteniendo 2 nudos con hojas. Los fragmentos de los rizomas y raíces también pueden producir nuevas plantas.

El mayor problema de manejo lo constituyen los turiones y tubérculos, y se ha reportado que un tubérculo puede originar hasta 5,000 nuevos tubérculos por metro cuadrado y puede permanecer viable fuera del agua por varios días y en sedimentos intactos por cuatro años (FIPA, 2003).

2.2.3 Hábitat

Hydrilla habita cuerpos de agua dulce. Puede establecerse en gran variedad de ambientes acuáticos incluyendo lagos, lagunas, estanques, ríos y charcos temporales. Debido a su competitividad puede llegar a desplazar a otras plantas nativas como *Potamogeton* spp. y *Vallisneria americana*. Puede llegar a crecer hasta 2 – 4 pulgadas por día y al alcanzar la

superficie empieza a ramificarse profusamente creando matas vegetativas que bloquean el paso de la luz a las otras plantas sumergidas. Además, *Hydrilla* puede crecer a mayores profundidades que otras plantas y aprovechar la luz durante más tiempo, debido a que puede fotosintetizar a bajas intensidades de luz (1% incidencia solar o menos) (FIPA, 2003).

La dificultad en la identificación de *Hydrilla verticillata* y la facilidad con que puede ser confundida con otras especies como *Elodea* sp. y *Egeria densa*, pueden haber provocado identificaciones erróneas (Arrivillaga, 2002).

2.2.4 Manejo y control

Después de 40 años de experiencia en el control de la planta por parte de las agencias ambientales de Estados Unidos se sabe que la erradicación de ésta es imposible desde el punto de vista práctico, pero que se puede controlar mediante un manejo integral, en donde se combinen diversos métodos de control (FIPA, 2003).

A. Control mecánico

Este método se basa en la eliminación física de la planta en un cuerpo de agua a través del corte y remoción. Este método es recomendable principalmente cuando todos los nichos disponibles en el cuerpo de agua ya han sido ocupados. De otra manera, la utilización de este tipo de control tiende a incrementar la tasa de dispersión.

El control mecánico artesanal incluye el corte, rastrillado y remoción a mano de *Hydrilla*. Este método es laborioso y es usado únicamente en áreas con profundidades menores a 1.5 metros. Es un método que puede ser muy eficiente en los primeros estadios de invasión, si esta es detectada a tiempo (FIPA, 2003).

B. Control químico

Existe una serie de productos químicos que están autorizados (registrados) por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) de los Estados Unidos para su uso en cuerpos de agua como método de control de *Hydrilla*. Los ingredientes activos son cobre, diquat, endothall y fluridona (Arrivillaga, 2002).

C. Control biológico

Ésta es una opción de manejo a largo plazo basada en la utilización de, organismos herbívoros y otros enemigos naturales de *Hydrilla*. La carpa herbívora *Ctenopharyngodon idella*, ha sido evaluada exitosamente en el control de *Hydrilla*. Sin embargo, por tratarse de una especie exótica, al igual que *Hydrilla*, su introducción en cuerpos de agua naturales presenta ciertos riesgos que deben ser evaluados (FIPA, 2003).

2.2.5 Impacto ambiental

La invasión de dicha especie se ha convertido en un problema no sólo regional, sino nacional. Debido a esto, diversas organizaciones y personalidades han alertado sobre las consecuencias que la misma tendrá, tanto en el aspecto ambiental como socio-económico y de salud de la región. Es importante resaltar que debido a su rápido crecimiento y expansión, *Hydrilla* se convierte en una plaga que puede causar cambios y desequilibrios en el ecosistema impidiendo la circulación del oxígeno disuelto por su alta densidad contribuyendo al proceso de eutrofización, lo cual reduce la presencia de otras especies acuáticas, incluyendo plantas y animales, con un impacto negativo (FIPA, 2003).

2.2.6 Situación actual

El estudio de impacto ambiental para la aplicación de medidas de control y mitigación de la especie invasora *Hydrilla verticillata* en Izabal realizado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas en el año 2006, ofrece una perspectiva de la situación actual de esta planta en Guatemala (CONAP, 2006).

El primer reporte escrito sobre la presencia de *Hydrilla* en el lago de Izabal indica que la planta fue observada e identificada en el área de bocas del Polochic en enero del 2001. En la costa sur del país *Hydrilla* ha sido colectada en estanques de potreros de ganado desde 1990. El total del área invadida por *Hydrilla* en el lago de Izabal y Río Dulce fue cuantificada en 2,189 hectáreas equivalente al 3.22% de la extensión del lago de Izabal y Río Dulce. Además existen áreas infestadas en el lago de Atitlán y las Pozas de Semuc Champey en Alta Verapaz (Estrada, 2003).

2.2.7 Sustratos en horticultura

La necesidad de cultivar las plantas fuera de su medio natural crea la obligación de utilizar contenedores y por lo tanto sustratos. Esto ha provocado que haya una gran demanda de nuevos medios de cultivo, pues la mayor parte de la producción de plantas hortícolas tiene lugar en contenedores y bajo invernadero (Masaguer, 2006).

2.2.8 Sustrato

El término “sustrato” se aplica en horticultura a todo material solido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor, puro o en forma de mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto un papel de soporte para la planta (Masaguer, 2006).

El sustrato puede o no intervenir en el proceso de nutrición de la planta, por lo que se puede clasificar como químicamente activos u orgánicos (turbas, corteza de pino, etc.) o químicamente inertes o inorgánicos (perlita, roca volcánica etc.). A continuación se muestra una clasificación básica siguiendo el criterio de (Abad; Noguera, 2000) y que coincide en lo esencial con otros autores como (Bures, 1997).

Cuadro 2.1 Clasificación básica de los materiales usados como sustratos.

Clasificación		Ejemplo	
I.	Materiales Inorgánicos (Minerales)	I.1. De origen natural	Arenas, roca volcánica, grava, etc.
		I.2. Transformados o tratados	Arcilla expandida, perlita, lana de roca, vermiculita etc.
		I.3. Residuos industriales	Escorias de carbón, ladrillo molido etc.
II.	Materiales orgánicos	II.1. De origen natural	Turbas
		II.2. De síntesis	Espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.
		II.3. Residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo	Residuos sólidos urbanos, cascarilla de arroz, fibra de coco, etc.

Fuente: Abad y Noguera (2000).

Un sustrato es un sistema de tres fracciones cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua y por interacción con la fracción sólida los nutrientes necesarios, y la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO₂ del entorno radicular. Esto hace necesario conocer las propiedades, físicas, químicas y biológicas, de los sustratos, condicionando en mayor medida los cultivos en contenedor. Se plantea frecuentemente si: ¿Existe el *sustrato ideal* para el cultivo sin suelo, en cuanto a composición o constituyentes? La respuesta obvia es *no*, ya que el sustrato es un elemento más del complejo agro ecosistema hortícola (Masaguer, 2006).

2.2.9 Propiedades del sustrato de cultivo

La primera etapa de la aplicación de un sustrato de cultivo sin suelo es la caracterización del mismo con objeto de conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas las propiedades de los materiales son factores limitantes que determinan el manejo posterior del sustrato (contenedor, riego y fertilización) (Cadahia, 2000).

A. Propiedades físicas

Al seleccionar un sustrato para un cultivo se asumen propiedades físicas concretas, aunque hay que tener en cuenta, que durante el desarrollo del mismo suele haber una degradación física de los componentes y un crecimiento de raíz que ocupan espacio poroso. Por ello, es prioritario conocer los requerimientos concretos del cultivo y los sistemas de manejo como el riego, pudiendo así demandar previamente unas propiedades físicas de los sustratos concretas y adecuadas. Ningún sustrato que cumpla unos requerimientos mínimos, puede considerarse inadecuado para el cultivo. Ya que las plantas responden a las características o propiedades de los sustratos más bien que a sus materiales constituyentes (Cadahia, 2000).

a. Espacio poroso total

Es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas ni minerales. Su nivel óptimo se sitúa por encima del 85% del volumen de sustrato (Abad, 1991).

El total de poros existentes en un sustrato se divide entre: 1) Poros capilares, de pequeño tamaño (<30 μm), que son los que retienen el agua, y 2) Poros no capilares o macroporos, de tamaño mayor (>30 μm), que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Raviv, 1986) y (Bunt, 1988).

b. Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar, y el volumen de agua presente en dicho sustrato (2).

Se requiere una tensión mínima de 10 cm (equivalente a 10 cm de altura del contenedor) para obtener un contenido mínimo de aire. El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20% y el 30% del volumen (Abad, 1993).

Un sustrato puede tener una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible porque 1) Su porosidad total es baja; 2) Los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad; 3) Los poros son muy pequeños y la planta es incapaz de extraer una parte importante del agua antes de marchitarse, y 4) Una combinación de las situaciones anteriores (Bunt, 1998).

c. Capacidad de aireación

Se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre el 20% y el 30% en volumen (Abad, 1993).

La distribución del tamaño de los poros es el factor clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos (Cadañia, 2000).

d. Densidad aparente

Se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir incluyendo el espacio poroso entre las partículas.

La densidad aparente juega un papel importante ya que los sustratos y los contenedores se transportan durante su manejo y manipulación, y, consecuentemente, su peso ha de ser tenido en cuenta. En adición, el anclaje de las plantas debería ser también

considerado como un factor de importancia: cuanta más alta sea la planta, más fuerte deberá ser el sustrato (Cadahia, 2000).

e. Mojabilidad

Algunos materiales orgánicos pueden presentar dificultades tanto para ser humedecidos inicialmente como para ser rehumectados una vez que se han secado en el contenedor, lo que puede provocar un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta. Las dificultades para mojar un sustrato se atribuyen generalmente a dos causas: la hidrofobicidad del material y la contracción que experimenta al sacarse (Cadahia, 2000).

La mojabilidad se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que se absorban 10 ml de agua destilada, a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos (Abad, 1996).

f. Contracción de volumen

Se refiere al porcentaje de pérdida de volumen cuando el sustrato se seca (generalmente a 105°C), referido al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad. Informa sobre el grado de variación del volumen del sustrato bajo condiciones de cultivo, en ciclos de humectación-desección (Cadahia, 2000).

La contracción del volumen facilita la compactación del sustrato y la compresión de las raíces, si disminuye la eficiencia del riego. El nivel óptimo de la contracción, expresada como pérdida de volumen, se sitúa por debajo del 30% (Abad, 1993).

B. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los sustratos derivan de la interacción entre la fracción sólida y líquida de los mismos, por tanto son susceptibles de modificar la composición química de la disolución del sustrato, y más particularmente del contenido en elementos minerales necesarios para la nutrición vegetal (Cadahia, 2000).

Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen mayormente a la química de los sustratos, debido a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (Cadahia, 2000).

a. Disponibilidad de nutrientes

La mayoría de los sustratos minerales no se descomponen química ni biológicamente y, desde un punto de vista práctico, se pueden considerar desprovistos de nutrientes. Por otro lado los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en el contenido en nutrientes asimilables. Así algunos (turba *Sphagnum* rubia, etc.) posee un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (compost por ejemplo) presentan niveles elevados, dependiendo dicho nivel del origen del compost y del proceso de compostaje (Cadahia, 2000).

Cuadro 2.2 Niveles óptimos de los nutrientes asimilables en un sustrato orgánico. Nutrientes determinados en el extracto de saturación del sustrato.

Nutriente	Nivel óptimo (ppm en el extracto de saturación)
N-NO ₃ ⁻	100-199
N-NH ₄ ⁺	0-20
P	6-10
K ⁺	150-249
Ca ²⁺	>200
Mg ²⁺	>70
Fe	0.3-3.0
Mn	0.02-3.0
Mo	0.01-0.1
Zn	0.3-3.0
Cu	0.001-0.5
B	0.05-0.5

Fuente: Abad *et al.* (1993)

b. Salinidad

Se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato (Cadahia, 2000). Las fases de germinación y crecimiento inicial son más sensibles a las sales que las fases de crecimiento posterior y desarrollo. Algunos ejemplos de especies con distinto grado de tolerancia a las sales, son: 1) Muy Sensibles: fresa, rosa, etc.; 2) Sensibles: lechuga, pimiento etc. 3) Tolerantes: melón, pepino, tomate etc.; 4) Muy

tolerantes: Yuca etc. (Bunt, 1988) y (Handreck; Black, 1991). En el cultivo sin suelo de hortalizas, el nivel óptimo de la salinidad, determinada en la disolución del sustrato, oscila entre 3 dS/m y 5 dS/m (Escudero, 1993).

Cuadro 2.3 Interpretación de los niveles de la salinidad de un sustrato de cultivo, expresada como la conductividad eléctrica del extracto de saturación.

Salinidad (extracto de saturación; dS/m)	Interpretación
< 0.74	Muy Baja
0.75-1.99	Adecuada para plántulas y sustratos ricos en materia orgánica. Demasiado baja si el sustrato es pobre en materia orgánica.
2.00-3.49	Satisfactoria para la mayoría de las plantas. Reducción del crecimiento de algunas especies sensibles.
3.5-5.0	Ligeramente elevada para la mayoría de las plantas. Adecuada únicamente para especies vigorosas.
>5	Reducción del crecimiento, plantas enanas, marchitamiento y quemadura de los bordes de la hoja

Fuente: Bunt (1988).

c. pH

Las plantas pueden sobrevivir en un amplio intervalo de pH del sustrato sin sufrir desórdenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren en forma asimilable. No obstante, el crecimiento y desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez y de alcalinidad extremas. El pH ejerce sus aspectos principales sobre la asimilabilidad de elementos nutritivos, la capacidad de intercambio catiónico y actividad biológica (Cadahia, 2000).

Los requerimientos de la planta y la disponibilidad de nutrientes marcan la necesidad de pH para el medio de cultivo, con tendencia mayoritaria a valores ligeramente ácidos. (Masaguer, 2006). El nivel óptimo en el cultivo sin suelo de hortalizas: pH (disolución del sustrato) = 5, 5-6, 8 (Escudero, 1993).

d. Relación carbono/nitrógeno C/N

La relación C/N se usa tradicionalmente como un indicio del origen de la materia orgánica, de su madurez y de su estabilidad; es decir esta relación permite conocer el grado de estabilización de las mezclas compostadas. Los daños que aparecen sobre las plantas cultivadas en materiales orgánicos inmaduros, son debidos tanto a una inmovilización del nitrógeno como a una baja disponibilidad del oxígeno en la rizósfera.

Esta situación está provocada por la actividad de los microorganismos, que descomponen los materiales orgánicos frescos y utilizan el nitrógeno para la síntesis de sus proteínas celulares. El oxígeno es también consumido por la población microbiana (Cadahia, 2000). Una relación C/N entre 20 y 40 es considerada como óptima para el cultivo en sustrato, y es un indicio de un material orgánico maduro y estable (Abad, 1993).

C. Propiedades biológicas

La estabilidad biológica de los sustratos, esta entendida como la resistencia a la biodegradación de los componentes orgánicos del sustrato. Este problema se puede acentuar cuando se emplean subproductos orgánicos incompletamente compostados, provocando que las consecuencias de una falta de estabilidad biológica incidan sobre varios aspectos en el cultivo (Masaguer, 2006).

a. Fitotoxicidad latente

Los bioensayos de germinación de semillas son de gran utilidad en la caracterización de los materiales, ya que existe una estrecha relación entre los resultados obtenidos y la potencialidad de dichos materiales para ser utilizados como sustratos en el cultivo sin suelo (Abad, 1993) y (Ortega, 1996).

Los materiales inadecuados, con propiedades físicas y químicas desfavorables para el crecimiento vegetal (salinidad elevada, presencia de ácidos alifáticos de cadena corta, de compuestos fenólicos, etc.), inhiben o retrasan la germinación de las semillas y provocan una reducción en el crecimiento de las raíces (Cadahia, 2000).

El modo de operar de estos bioensayos de germinación consiste en incubar semillas de un cultivo sobre el extracto acuoso obtenido mediante filtración y evaluar el proceso de la germinación, controlando tres parámetros característicos: número de semillas germinadas, longitud de radícula e índice de germinación (Handreck; Black, 1991) y (Abad, 1993).

2.2.10 Propiedades óptimas de los sustratos

Para obtener buenos resultados durante la germinación como el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes propiedades (Raviv, 1986) y (Abad, 1995).

A. Propiedades físicas

- a. Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible;
- b. Suficiente suministro de aire;
- c. Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones antes mencionadas;
- d. Baja densidad aparente;
- e. Elevada porosidad total;
- f. Estructura estable que impida la contracción del sustrato (Cadahia, 2000).

Cuadro 2.4 Valores óptimos de las propiedades físicas para sustratos hortícolas.

Parámetro	Valores óptimos
Espacio poroso total	EPT > 85% vol.
Agua fácilmente disponible	AFD = 20-30% vol.
Agua de reserva	AR = 4-10% vol.
Capacidad de aireación	CA = 10-30% vol.

Fuente: Abad *et al.*, 1993

B. Propiedades químicas

- a. Baja capacidad de intercambio catiónico;
- b. Suficiente nivel de nutrientes asimilables;
- c. Salinidad reducida;
- d. pH ligeramente ácido y moderada capacidad tampón;
- e. Mínima velocidad de descomposición (Cadaña, 2000).

Cuadro 2.5 Valores óptimos para las propiedades químicas.

Parámetro	Valores óptimos
Disponibilidad de nutrientes en extracto de saturación (ppm)	
N-NO ₃	100-199
N-NH ₄	0-20
P	6-10
K	150-249
Ca	>200
Mg	>70
Salinidad (conductividad eléctrica en dS/m a 25°C)	0.75-3.49
Capacidad de intercambio catiónico en meq/100g	>20
pH	5.2-6.3

Fuente: Abad *et al.*, 1993

2.2.11 La turba como componente principal de sustratos

Las turbas son fundamentalmente vegetales fosilizados.

Penningsfeld y Kurzmann (1983) han definido la turba como la forma disgregada de la vegetación de un pantano, descompuesta de modo incompleto a causa del exceso de agua y la falta de oxígeno, que se va depositando con el transcurso del tiempo, lo que favorece la formación de estratos más o menos densos de materia orgánica.

Strasburger *et al.* (1986) han señalado que este material orgánico de origen natural está formado por restos de musgos y de otras plantas superiores, que se hallan en proceso de carbonización lenta, fuera del contacto con el oxígeno, por lo que se conserva largo tiempo su estructura anatómica.

Cuadro 2.6 Propiedades físicas de las turbas. Influencia de la composición botánica y el grado de descomposición.

<i>Propiedad</i>	<i>Turba</i>	
	<i>Sphagnum rubia</i>	<i>Sphagnum negra</i>
Índice de grosor (%)	46	42
Densidad aparente (g/cm ³)	0.07	0.14
Espacio poroso total (% vol.)	96	91
Capacidad de aireación (% vol.)	41	18
Agua fácilmente disponible (% vol.)	25	28
Agua de reserva (% vol.)	6	7
Agua total disponible (% vol.)	31	35
Agua difícilmente disponible (% vol.)	24	38
Capacidad de retención de agua (ml/l)	687	804
Mojabilidad (min.)	17	3
Contracción (% vol.)	22	34

Fuente: Abad *et al.* (1996)

Cuadro 2.7 Propiedades químicas de las turbas. Influencia de la composición botánica y el grado de descomposición.

<i>Propiedad</i>	<i>Turba</i>	
	<i>Sphagnum rubia</i>	<i>Sphagnum negra</i>
Conductividad eléctrica (extracto de saturación; dS/m)	0.4	0.6
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	99	139
Materia orgánica (%)	98	97
Cenizas (%)	2	3
<i>Nutrientes asimilables (extracto de saturación; ppm):</i>		
N-NO ₃ ⁻	4	14
P	0.5	0.6
K ⁺	17	36
Ca ²⁺	16	13
Mg ²⁺	9	16

Fuente: Abad *et al.* (1996)

2.2.12 Problemática del uso exclusivo de turba

En horticultura la turba es el medio de cultivo o sustrato predominante.

A nivel mundial la producción total de turba hortícola asciende a 35-40 millones m³ anuales. Esta necesidad de turba hace que el sistema sea estratégicamente frágil puesto que el incremento gradual del costo del transporte repercute directamente en el precio final del sustrato. Además, el agotamiento de recursos naturales o el consumo energético requerido durante el proceso de fabricación repercute de forma negativa sobre el medioambiente (Raviv, 1986).

En los últimos 30 años se ha emprendido, a nivel mundial, una búsqueda activa de materiales orgánicos alternativos a la turba. Según un estudio de impacto ambiental, en el que se comparan los efectos provocados por la explotación de una turbera y la construcción de una planta de compostaje de restos vegetales de cultivos hortícolas, se confirma que el uso de sustratos alternativos como sustitutos de la turba conlleva beneficios tanto económicos como medioambientales. Esto unido a la necesidad de gestionar de forma adecuada los residuos orgánicos generados en diferentes sectores de producción, hace que aparezcan gran cantidad de materiales susceptibles de ser utilizados con este fin (Masaguer, 2006).

2.2.13 Materiales alternativos a la turba

La aparición de nuevos materiales autóctonos que pueden sustituir parcialmente a los que vienen utilizándose de manera tradicional. Este aspecto recobra más importancia cuando, en algunos casos, la utilización de materiales autóctonos alternativos pueden presentar unos costos de adquisición más económicos y ayudar a resolver problemas de eliminación de residuos de diferentes sectores de producción (Urrestarazu; Salas, 2004).

2.2.14 Materiales orgánicos

A. Residuos

El término residuo se aplica a todo aquel material generado por las actividades de producción y consumo, el cual no alcanza ningún valor económico en las condiciones

particulares de tiempo y lugar en el que se ha producido y que es preciso recoger y tratar por razones de salud y de contaminación ambiental, para evitar ocupaciones innecesarias de espacio, o simplemente por motivaciones estéticas (Masaguer, 2006).

a. Residuos agrícolas

Los residuos orgánicos agrícolas son la fracción de un cultivo que no constituye la cosecha propiamente dicha. Existen gran cantidad de residuos que se ajustan a este concepto, entre estos están (Masaguer, 2006).

i. Cascarilla de arroz

Se trata de un material que pese a estar descrito su potencial uso como sustrato hortícola desde hace algunos años, hasta la actualidad no se ha mostrado un interés en utilizarlo como sustrato alternativo o simplemente como componente de sustratos hortícolas mediante mezclas. Entre las características físicas la más destacable negativa es la escasa capacidad de retención de agua fácilmente disponible, mientras que como ventaja más notable se podría destacar la escasa salinidad que presenta (Chinchilla, 1999).

ii. Fibra de coco

La apariencia de este material es similar a la turba y está compuesta básicamente por lignina y celulosa proveniente del mesocarpio del fruto del cocotero. Las ventajas de la fibra de coco se han enumerado por diversos autores, por ejemplo Meerow (1994), las enuncia como:

1. Alta capacidad de retención de agua, igual o superior a la de la turba
2. Excelente capacidad de drenaje
3. Más resistente físicamente que la turba
4. Es un recurso renovable
5. Descomposición más lenta que la turba
6. Niveles aceptables de pH, CIC, C.E. y relación C/N
7. Mayor mojabilidad que la turba

iii. Compost agotado de champiñón

El compost utilizado para el cultivo de champiñón (*Agaricus bisporus*) y de las setas (*Pleurotus ostreatus*) también es un residuo que puede utilizarse como sustrato para el cultivo de plantas hortícolas (Masaguer, 2006).

b. Residuos forestales

La madera es un residuo voluminoso. En la mayoría de países hay aserraderos en donde se obtiene gran cantidad de subproductos como cortezas y las fibras de la madera (Verdonck, 2004).

i. Corteza de Pino

La corteza es un término genérico que incluye la corteza interna y la corteza externa de los árboles. Representa usualmente del 6% al 16% del volumen total del árbol y existe una gran variabilidad debida a diversos factores como: la especie arbórea y la edad del árbol, tipo de madera de la cual procede (blanda o dura), la región donde se produce, tipo de suelo y la época del año en que se obtiene, entre otros. Se pueden utilizar corteza de muchas especies de árboles, pero la más utilizada es la corteza de pino (Koranski, 2004).

ii. Aserrín

El aserrín constituye un subproducto de la producción forestal. Está compuesto en un alto porcentaje por residuos de madera y muy poco por corteza. El aserrín posee buenas propiedades físicas, las cuales se mantienen durante largo tiempo, además al aumentar la cantidad de aserrín en la preparación de una mezcla incrementa el porcentaje de aireación. (9). El pH de aserrín fresco suele oscilar entre 4.5 y 5.5 y aumenta hasta 6.5 - 7.0 cuando se composta (Grez, 1990).

c. Residuos de origen marinos

Algunos autores como Urrestarazo Gavilán en su trabajo Sustratos Orgánicos menciona dentro del inventario de sustratos orgánicos clasificación y propiedades; el uso de residuos de origen marinos acumulados en las costas de algunas comarcas españolas, aludiendo a que en las zonas costeras se suelen acumular restos de algas arrastrados por

el oleaje, estos son susceptibles de ser utilizados como sustrato hortícolas, especialmente importante por su abundancia son los restos de las praderas de *Posidonia* constituidas esencialmente por fanerógamas marinas. Su uso como sustrato hortícola puede además resolver un problema ya que daña localmente al turismo. Por tanto podría constituir un buen ejemplo de sustrato alternativo en horticultura previamente compostado y reajustadas sus características (Orquin, 2001).

2.2.15 Materiales inorgánicos

A. Arena

Es un material de naturaleza silíceo ($\text{SiO}_2 > 50\%$) y de composición variable, que depende de los constituyentes de la roca silicatada original (Cadahia, 2000).

Las arenas incluyen típicamente las fracciones granulométricas comprendidas entre 0.02 mm y 2 mm. Desde el punto de vista hortícola, se prefieren aquellas con tamaño de partícula de medio a grueso (0.6 mm-2.0 mm.) (FAO, 1990).

Las propiedades físicas varían en función del tamaño de las partículas. La densidad aparente de las arenas es superior a 1.50 g/cm^3 , siendo el espacio poroso total inferior al 50% del volumen. Las arenas finas con tamaño de partícula inferior a 0.5 mm, presenta una buena capacidad de retención de agua, pero están poco aireadas, especialmente cuando la altura del sustrato en el contenedor es pequeña. Las arenas gruesas retienen menos agua fácilmente disponible y están mejor aireadas (Cadahia 2000).

Su pH varía entre 4 y 8. Son inertes desde el punto de vista químico, siempre y cuando estén exentas de limos, arcillas, carbonato cálcico etc. Su capacidad de intercambio catiónico es nula o muy baja (inferior a 5 meq/100 g) (Moinereau, 1987)

B. Perlita

Es básicamente un silicato aluminico de origen volcánico y de composición variable, que depende de las características de la roca volcánica original.

La perlita proviene de rocas volcánicas vítreas (grupo de las riolitas), las cuales se han formado por enfriamiento rápido, constituyendo un material amorfo, que contiene un 2% - 5% de agua combinada. En su tratamiento industrial, este material se fragmenta en partículas de pequeño tamaño, se precalienta a $300 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$ y se deposita en hornos a

1000 – 1100 °C durante un corto periodo de tiempo (5 minutos). El agua combinada se evapora rápidamente expandiéndose el producto (hasta 20 veces su volumen inicial) para formar un material particulado (agregados ligeros) con una densidad aproximada de 125 kg/m³, cuando la roca original pesaba 1500 kg/m³ (Moinereau, 1987).

Se comercializan distintos tipos de perlita, que se diferencian en la distribución del tamaño de sus partículas y en su densidad (Marfa, 1993).

1. Tipo A-13, constituido por la fracción gruesa (3-5 mm; densidad 100-120 kg/m³).
2. Tipo B-12, formado por las fracciones medias y gruesas, junto con las finas (0-5 m; densidad 105-125 kg/m³).
3. Tipo B-10, también de textura intermedia (0-3 mm; densidad 105-125 kg/m³).
4. Tipo B-9, constituido por las fracciones finas (0-1.5 mm; densidad 80-90 kg/m³).
5. Tipo B-6, también constituido por las fracciones finas, pero con una densidad inferior (0-1.5 mm; densidad 50-60 kg/m³).

Cuadro 2.8 Composición elemental de la perlita. Los elementos expresados como óxidos, se dan como intervalos de variación, en tanto por ciento.

Elemento	Intervalo
SiO ₂	73 – 75
Al ₂ O ₃	11 – 13
Fe ₂ O ₃	0.9 – 2.0
K ₂ O	2.3 – 4.4
Na ₂ O	3.3 – 5.0
CaO	0.7 – 1.0
MgO	0.20 – 0.35
TiO ₂	0.08 – 0.10

Fuente: Moinereau *et al* (1987)

a. Propiedades y características

La perlita conforma una estructura celular cerrada. Debido a esta estructura, el agua es retenida solamente en la superficie de las partículas o en los poros existentes entre dichas

partículas, siendo liberada a muy bajas tensiones. En consecuencia, las mezclas de materiales con elevada proporción de perlita están usualmente bien aireadas y no retienen cantidades elevadas de agua. Esta condición determina que la perlita se utilice ampliamente como componente de aireación en los sustratos de cultivo (Bunt, 1988).

La perlita es un material inerte, que no se descompone biológica ni químicamente (Bunt, 1988). Está compuesta por silicio y aluminio y desprovista de nutrientes. Su pH es neutro o ligeramente alcalino (7-7.5) y su salinidad es muy baja. Exhibe una bajísima capacidad de intercambio catiónico (1.5-2.5 meq/100 g) (Moinereau, 1987).

Cuadro 2.9 Propiedades físicas de distintos tipos de perlitas comerciales, con diferente granulometría.

Propiedad	Perlita tipo				
	A-13	B-12	B-10	B-9	B-6
Densidad aparente	0.127	0.143	0.128	0.086	0.053
Espacio poroso total (% vol.)	87.0	85.9	86.7	94.0	97.2
Porosidad ocluida (%vol.)	7.6	8.1	7.9	2.4	0.6
Capacidad de aireación (% vol.)	58.1	29.1	41.9	18.0	24.4
Agua fácilmente disponible (% vol.)	6.9	24.6	17.6	38.3	36.6
Agua de reserva (% vol.)	2.7	7.0	6.7	9.5	8.4
Agua total disponible (% vol.)	9.6	31.6	24.3	47.8	45.0
Agua difícilmente disponible (% vol.)	19.3	25.2	20.5	28.2	27.8

Fuente: Marfa *et al.* (1993)

2.3 MARCO REFERENCIAL

2.3.1 Ubicación geográfica del sitio experimental

La caracterización física, química y biológica de los sustratos se desarrolló durante el periodo de octubre a diciembre de 2007, en las instalaciones del laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, geográficamente está ubicada en las coordenadas 14°35'6" Latitud Norte 90°33'9" Longitud Oeste, a una altitud de 1,502 msnm, en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical templado (Bh-st), con una precipitación media anual de 1,216.2 mm., temperatura media de 18.3 °C y humedad relativa del 79% (Cordón, 1991).

La evaluación en invernadero se realizó durante el periodo de febrero a abril de 2008, en un invernadero propiedad de la empresa "Pilón Plus", dedicada a la producción comercial de pilones. Se encuentra ubicado en la aldea San Lorenzo en el municipio de San Miguel el Tejar departamento de Chimaltenango.

El Tejar Chimaltenango, geográficamente está ubicado en las coordenadas: Latitud Norte 14°38, 45", Longitud oeste entre 90°47,30" a 90°36,6.6". Se encuentra a 55 km de la ciudad capital y se accede por la carretera CA-1 (ruta Interamericana) (Domínguez, 2000).

Se encuentra a una altitud de 1,700 msnm. El clima en general presenta las siguientes características: es templado, húmedo con estación seca bien definida. La precipitación media anual esta en el rango de 1,388 milímetros, con 150 días anuales y los meses de mayor precipitación van de mayo a septiembre (mayor de 100 mm) (Domínguez, 2000).

La temperatura promedio anual es de 16°C, la temperatura máxima es de 29°C alcanzándose esta en los meses de marzo y abril y la mínima de -2.2 °C, alcanzándose esta en los meses de noviembre y diciembre. La humedad relativa puede variar entre 71% en los meses de marzo y abril y 80% en el mes de septiembre registrándose una humedad media anual de 76%. Se encuentra en la zona de vida; Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB), se caracteriza por precipitaciones que varían de 1,057 a 1,686 mm (Domínguez, 2000).

2.3.2 Instalaciones

A. Estructura del invernadero

El invernadero utilizado es estándar con orientación Nordeste-Sudeste. Es del tipo multitúnel con ventilación lateral, se usó una nave y de ésta, un área de 50 m² de los 300 m² que ocupa (dimensiones por nave: 10 m de ancho y 30 m de longitud). El invernadero posee una puerta frontal con marco de madera y recubierta con polietileno, es de una hoja corrediza de 1.5 m de ancho y 2 m de alto. La estructura está realizada con tubos metálicos galvanizados incrustados en columnas de concreto para el soporte, tiene una altura al canal de 3.50 m, al cenit de 5.20 m y el recubrimiento es de polietileno EVA tricapa.

B. Estructura de soporte para bandejas

El sistema de soporte para bandejas es estándar realizado con marcos en estructura metálica, tienen un ancho de 0.10 m, altura de 1.2 m, una longitud de 5 m y una distancia entre marcos de 0.66 m equivalente a la longitud de las bandejas, de forma que los extremos de las mismas se apoyan sobre los marcos metálicos.

C. Cámara de pre-germinación oscura

La cámara de pre-germinación, consiste en una estructura de 8 m de ancho, 6 m de largo y con una altura de 2.5 m está fabricada en su totalidad con lamina de zinc de textura lisa, en sus cuatro lados las paredes tienen una doble capa con un espacio entre cada una de 0.30 m y en el interior de éstas un relleno de poliestireno, esto como aislante para mantener una temperatura constante en el interior de la cámara. La parte superior o techo está fabricada con una sola capa de lamina, la cámara no posee entradas de luz, accediéndose a ella por una puerta metálica que permanece cerrada. La temperatura con la que se mantuvo el interior fue de 25°C y una humedad del 75%.

Con el uso de la cámara se logró acelerar la germinación de las semillas reduciéndose en tiempo 4 días este proceso. Posteriormente las bandejas se sacaron cuando en un 90% de las semillas fue visible la radícula, procediendo a completar el tapado con el mismo sustrato y transfiriéndolas al invernadero.

2.3.3 Antecedentes de utilización de sustratos

La turba ha sido el material más utilizado como sustrato en la producción de hortalizas en contenedores en Guatemala. Las empresas dedicadas a producir plántulas en pilón en su mayoría son consumidoras de sustratos a base de turba de *Sphagnum* no siendo la excepción la empresa Pilón Plus. Esta empresa ha utilizado diferentes sustratos de los que sobresale el tipo peat-moss BM2 provenientes de turbas negras combinado con perlita y vermiculita, adicionalmente enriquecido con fertilizantes. En la actualidad utiliza el sustrato KLASMANN TS 1 proveniente de turbas rubias sin mezcla con materiales inorgánicos como perlita y/o vermiculita.

A. Estudios realizados

Algunos países como España, han realizado estudios de producción de plantas hortícolas y principalmente ornamentales en contenedores con sustratos alternativos a la turba. Han enfocado esfuerzos orientados al desarrollo de nuevos sustratos de cultivo a base de residuos orgánicos como el compost agotado de champiñón, corteza de pino, y restos de poda, usando como sustratos control la turba (Masaguer, 2006).

Un estudio sobre sustratos realizado en la región de Murcia (Franco, 2001), afirma que actualmente no existe ningún material que haya demostrado, en la práctica, ser mejor que la turba en retención de agua, aireación, y fibrosidad, por lo que es previsible que siga dominando el mercado hortícola, al menos, mientras no se limite de forma drástica su extracción en los principales países productores.

Guatemala es un país que al igual que muchos, genera gran cantidad de residuos orgánicos que pueden ser empleados en la horticultura, parte de estos residuos son los que se obtienen de la extracción de la planta acuática *Hydrilla verticillata* en el lago de Izabal. Estudios sobre la utilización de residuos de *Hydrilla* como sustrato, no se han realizado anteriormente, sin embargo si existen muchos trabajos realizados en los cuales se han utilizado otros residuos locales.

Utilizando materiales como tierra, cascarilla de café, fibra de coco, arena pómez, estiércol de pelibuey, biocofia, y gallinaza en diferentes combinaciones, Castro Reinoso (1,998)

evaluó sustratos para semillero de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) en bandejas plásticas, concluyendo que la mezcla de suelo + arena pómez + biocofia, en proporciones 2:1:1 presento mejores características en el pilón.

La evaluación de cinco sustratos para la realización de semilleros de tomate (*Lycopersicum esculentum* var. Roma Gigante), en bandejas de plástico para transplante en pilón, fue reportada por Droegue de Vasquez (1,997) en el cual de los materiales evaluados (turba + arena, olote molido + compost, compost + arena pómez, raíces de malezas + turba, y tierra + gallinaza + arena pómez) el sustrato con mejores resultados fue el de tierra + gallinaza + arena pómez.

Marchorro Ponce (1,999) evaluó siete sustratos para el transplante en pilón de lechuga (*Lactuca sativa* variedad Salinas), siendo estos, diferentes combinaciones de tierra, gallinaza deshidratada, arena pómez, bagazo de caña, y fibra de maguey, presentando los mejores resultados la combinación de tierra, gallinaza deshidratada, fibra de maguey y bagazo de caña en proporciones 1:1:1:1

También materiales como cascarilla de arroz, arena de rio, arena pómez, suelo, compost, y broza, fueron evaluados como sustratos para la producción de plántulas de brócoli (*Brasica oleracea* var. Itálica) en pilón por Gonzales Sotz (2,004) indicando como el mejor la combinación de suelo + compost + arena de rio en la relación 2:1:1 utilizando como testigo al sustrato comercial Mix 3 (a base de turba).

En el año 2,004 Calderón Muller evaluó sustratos a base de cascarilla de arroz, rastrojo de frijol, jaragua, tuza, olote, aserrín de pino descompuesto, cascara de coco, bagazo de caña para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* híbrido Elios) en recipientes, obteniendo los mejores resultados el sustrato a base de bagazo de caña.

Tomando en cuenta estas retrospectivas, la utilización de materiales locales en la producción de plántulas en pilón se limita a residuos de otros cultivos, convirtiéndose en dependencia de la producción de estos. Sin embargo la utilización de *Hydrilla* no se ajusta a estas condiciones y debido a que los esfuerzos se han enfocado en su mayoría a determinar la presencia, impacto ambiental, manejo, monitoreo y mitigación, la convierten en un residuo con alta disponibilidad por su grado de infestación.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 General

Generar un sustrato alternativo a base de residuos de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle con propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para la producción de plántulas en pilón de chile pimienta (*Capsicum annum* L.) y similares a la turba de *Sphagnum*.

2.4.2 Específicos

- 1) Caracterizar las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de dieciséis combinaciones de residuos de *Hydrilla verticillata* y perlita.
- 2) Evaluar el efecto de dieciséis combinaciones de perlita y residuos de *Hydrilla verticillata* sometida a cuatro tiempos de degradación en la producción de plántulas en pilón.
- 3) Comparar económicamente los sustratos elaborados a base de residuos de *Hydrilla verticillata* y perlita con la turba de *Sphagnum* comercial.

2.5 HIPÓTESIS

- 1) La proporción 15% perlita y 85% *Hydrilla verticillata*, sometida a 45 días de degradación presentará propiedades físicas, químicas y biológicas similares a las de la turba de *Sphagnum*.
- 2) La proporción 15% perlita y 85% *Hydrilla verticillata* sometida a 45 días de compostaje presentará un efecto similar a la turba de *Sphagnum* en la producción de plántulas en pilón de chile pimiento (*Capsicum annum* L.).
- 3) Los sustratos elaborados con las cuatro proporciones de *Hydrilla verticillata* y perlita serán de menor costo que la turba de *Sphagnum*.

2.6 METODOLOGÍA

El desarrollo de la evaluación se llevó a cabo en cuatro etapas, iniciando con la etapa de campo, para la colecta y tratamiento de los residuos de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle, posteriormente la etapa de laboratorio para la caracterización de las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de las diferentes combinaciones (sustratos) de perlita y residuos de *Hydrilla verticillata* sometida a diferentes tiempos de degradación, consecutivamente la etapa en invernadero, donde se evaluó el efecto de los sustratos en la producción de plántulas en pilón del cultivo de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) Finalmente la etapa de comparación económica donde se calcularon algunos indicadores para determinar la factibilidad de elaborar y utilizar los sustratos. Cada una de las etapas se describe a continuación.

2.6.1 Etapa de campo

A. Colecta y transporte de residuos de *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle

Se colectaron los residuos de *Hydrilla verticillata*, en las áreas infestadas del lago de Izabal, realizando la colecta en las áreas de: El Estor, e Icacal, la cual se realizó con maquinaria especializada (barcaza) para la remoción de esta planta. Los residuos se transportaron en vehículo desde el departamento de Izabal hasta el área de invernaderos y laboratorios de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

B. Preparación y acondicionamiento de residuos de *Hydrilla verticillata*

a. Secado: Los residuos de *Hydrilla* se secaron al ambiente hasta que el material eliminara la mayor cantidad de agua, y que presentara una humedad constante. La humedad constante se estableció por diferencia de peso con ayuda de una balanza analítica.

b. Molienda del material: Se procedió a la molienda del material vegetal, esto se hizo a través de un molino de martillos para obtener una granulometría con un tamaño comprendido entre 0.2 mm y 7 mm de grosor, lo más fino posible para favorecer la degradación y descomposición de los residuos.

C. Degradación de los residuos de *Hydrilla verticillata*

Los residuos se sometieron a un proceso de degradación durante un periodo de 0, 15, 30 y 45 días, utilizando el método de tratamiento al aire libre en pilas o montones. Se utilizaron 50 kg de este material debidamente secado, molido y degradado para las diferentes fases de la investigación. Las actividades realizadas fueron las siguientes:

a. Degradación y descomposición de residuos de *Hydrilla*

Para la degradación, los residuos se colocaron sobre un plástico regándose con agua hasta humedecer completamente, repitiendo los riegos cada dos días y haciendo volteos cada 8 días. Se cubrió con plástico de polietileno color negro para favorecer el aumento de la temperatura y humedad. Se estimó la humedad con la prueba del puñado manteniéndola en valores de 50 al 60%. La temperatura se estimó con un termómetro de mercurio, de manera que ésta no sobrepasara los 65°C debido a que por encima de ésta temperatura los microorganismos benéficos mueren.

a. Tamizado del material degradado

A los 15, 30 y 45 días de iniciado el tratamiento se realizó el tamizado, que consistió en pasar el material por mallas de 12.5 mm y 6.0 mm hasta obtener la cantidad necesaria. El producto obtenido se conservó en bolsas plásticas, para realizar posteriormente el análisis físico, químico y biológico. Estos análisis se desarrollaron en el laboratorio de análisis de suelo y agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.6.2 Etapa de laboratorio

Durante esta fase se alcanzó el primer objetivo específico planteado:

A. Caracterización de las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de dieciséis combinaciones de residuos de *Hydrilla verticillata* y perlita

En esta etapa se determinaron las propiedades físicas, químicas y biológicas de las proporciones de perlita e *Hydrilla* sin degradar y sometida a degradación durante tres periodos de tiempo: 15, 30 y 45 días.

a. Propiedades físicas

La caracterización física comprende la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como su variación en función del potencial matricial.

i. Contenido de materia seca (%Ms)

Se registraron los datos de materia fresca (MF), luego de secado el sustrato en horno durante 24 horas a 105°C, permitió calcular la humedad del sustrato. Un sustrato demasiado seco puede ser difícil de rehumedecer, un sustrato demasiado húmedo es más pesado de transportar (Koranski, 2004).

$$PH = PH - PS / PH * 100 \quad 100 - PH = PS$$

PH= Peso húmedo del sustrato

PS= Peso seco del sustrato

ii. Contenido de agua (CAh)

La humedad en peso referida al material húmedo (Hmf) es la razón entre la masa de agua y la masa del material húmedo. La humedad en peso referida al material seco (Hm) es la razón entre la masa de agua y la masa del material seco (Cordón, 1991).

CDA= Espacio poroso – Agua fácilmente disponible

iii. Humedad volumétrica (% Hvol)

Es la razón entre el volumen de agua y el volumen total aparente del sustrato. Esta manera de expresar el contenido de humedad presenta la ventaja de dar una idea más concreta de la cantidad de agua retenida por el material referido al volumen ocupado por este material en un contenedor para cultivo (Koranski, 2004).

$$Hvol = Va / Vs * 100$$

Siendo:

Hvol: Humedad volumétrica expresada en porcentaje

Va: Volumen de agua

Vs: Volumen total del sustrato

iv. Densidad aparente (Da)

La densidad aparente se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato seco, incluyendo el espacio poroso entre las partículas. La medición se efectuó pesando una probeta graduada de 100 ml llena del sustrato; luego de haber pesado la probeta vacía (tara T), se llenó con 100 ml de muestra, luego se pesó la probeta (P) (Koranski, 2004).

$$Da = \frac{(P-T)}{V}$$

Siendo:

Da = Densidad aparente del sustrato (gr/cm³)

P = Peso de la probeta (gr) más sustrato.

T = Tara (peso de la probeta vacía).

V = Volumen de la probeta (250 ml)

v. Espacio poroso total (EPT)

Se define como la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato y también se denomina espacio de poros, espacio poroso o espacio vacío. Normalmente se expresa como porcentaje respecto al volumen aparente del suelo. Para calcularlo se aplicó agua con una probeta graduada de 50 ml a la probeta llena de sustrato que se utilizó en el cálculo de la densidad aparente, hasta que todos los espacios porosos fueron llenados. Se anotó el volumen de agua requerido, esto equivale al % de porosidad (Cordón, 1991).

vi. Agua fácilmente disponible (AFD)

El agua fácilmente disponible es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión (matricial), y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua. Se determinó de la siguiente manera: Se vertió el sustrato saturado contenido en la probeta de 100 ml que se usó para el cálculo del espacio poroso sobre un papel absorbente y se dejó que el agua filtrara libremente. Después de filtrado, se volvió a pesar la probeta más el sustrato. Se restó (peso del sustrato - tara) al peso de la probeta

más el sustrato después de filtrado. Esta diferencia es igual al agua fácilmente disponible (Cordón, 1991).

AFD= (Probeta + sustrato filtrado) – (probeta + sustrato- tara)

Hvol = Agua absorbida del sustrato/ peso neto del sustrato * 100

Agua absorbida del sustrato = (Probeta + sustrato filtrado) – (tara)

Peso neto del sustrato = (Tara + sustrato) – (tara)

vii. Capacidad de aireación (CDA)

Se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo que contiene aire, después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión de columna de agua. Se consideran valores óptimos aquellos entre 20 y 30% del volumen. Se restó el agua retenida a capacidad de campo del espacio poroso total. Esto equivale a espacio con capacidad de aireación (Cordón, 1991).

CDA= (Espacio poroso)- (Agua fácilmente disponible)

viii. Mojabilidad (M)

La mojabilidad se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que se absorban 10 ml de agua destilada a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos. El tiempo de mojabilidad se determinó de la siguiente manera: Se secaron 10 g del sustrato a 40°C. Se les aplicó 10 ml de agua destilada, determinando con cronómetro el tiempo que tarda en absorber dicha agua (Cordón, 1991).

b. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato (química, fisicoquímica, bioquímica).

i. Disponibilidad de nutrientes

El procedimiento de análisis de los nutrientes asimilables consistió en equilibrar la muestra del sustrato con una solución extractante (agua destilada) durante un tiempo

normalizado. Una vez alcanzado el equilibrio se determinaron los nutrientes disueltos o extraídos por dicha solución. Estos elementos fueron: elementos primarios N, P, K elementos secundarios Ca, Mg, y micro elementos Fe, Cu, Zn, Mn. La metodología para la determinación de estas características se presenta en el cuadro 2.10 (Cordón, 1991).

ii. pH

El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. La metodología para determinar esta característica se presenta en el cuadro 2.10 (Cordón, 1991).

Cuadro 2.10 Métodos utilizados en el laboratorio para determinar la disponibilidad de nutrientes y pH de los sustratos.

Determinación	Método
Fósforo (%)	Colorimetría
Potasio (%)	Espectrofotometría de absorción atómica
Nitrógeno (%)	Micro-Kjeldahl
Elementos secundarios	Espectrofotometría de absorción atómica
Microelementos	Espectrofotometría de absorción atómica
pH	Potenciómetro relación 1:2.5

Fuente: Estrada Alarcón (2003)

iii. Salinidad

La salinidad se refiere a la concentración de sales solubles presentes en el extracto de saturación. La metodología para la determinación de esta propiedad fue la siguiente: Se colocaron en un erlenmeyer 25 g de sustrato más 50 ml de agua destilada. Se determinó la concentración de sales con un conductivímetro (Cordón, 1991).

iv. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Se usa como un índice de origen del sustrato, de su madurez y de su estabilidad. Una relación inferior a 40 se considera óptima para el sustrato y es un índice de un material orgánico maduro y estable. 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 contenido en carbono se estimó para el cálculo de la relación C/N, a partir de la tasa de materia orgánica del sustrato (MO) (Koranski, 2004).

$$C = 0.75 * MO = 0.75 * (100 - c)$$

El nitrógeno total (N) se midió por el método Micro-Kjeldahl (digestión, destilación, titulación) (Koranski, 2004).

v. Contenido de materia orgánica (MO)

La medición de contenido de materia orgánica se realizó por el método Walkley-Black de oxidación de la materia. (Koranski, 2004).

c. Propiedades biológicas del sustrato

i. Fitotoxicidad (Bioensayo)

Los ensayos biológicos o bioensayos, se basan en índices de germinación y comúnmente son usados como indicadores de salinidad o presencia de compuestos tóxicos como polifenoles.

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 (Rojas, 2005).

En una placa Petri de 9 cm de diámetro 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 h en cámara de germinación oscura; finalmente se calculó el índice de germinación mediante las siguientes fórmulas (Tiquia, 2000).

$$GR = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el extracto} * 100}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo}}$$

$$ER = \frac{\text{Elongación (mm) de radículas en el extracto} * 100}{\text{Elongación (mm) de radículas en el testigo}}$$

$$IG = \frac{GR * ER}{100}$$

Donde:

GR: Porcentaje de Germinación Relativo.

ER: Crecimiento de Radícula Relativo.

IG: Índice de Germinación

2.6.3 Etapa en invernadero

Durante esta etapa se alcanzó el segundo objetivo específico planteado:

A. Evaluación del efecto de dieciséis combinaciones de perlita y residuos de *Hydrilla verticillata* sometida a cuatro tiempos de degradación en la producción de plántulas en pilón

La evaluación se realizó durante los meses de febrero a abril en un invernadero propiedad de la empresa Pilón Plus.

a. Tratamientos evaluados

Los tratamientos evaluados fueron dieciséis sustratos elaborados a base de residuos de *Hydrilla* a diferentes tiempos de degradación y sus proporciones en mezclada con perlita.

Como sustrato control se incluyó, un tratamiento con turba rubia de *Sphagnum* (sustrato comercial KIASMANN TS1). La composición de los sustratos se realizó en base a volumen (V/V), utilizando una cubeta plástica con capacidad de 20 litros.

La tabla 2.2 recoge en la primera columna el número de tratamiento evaluado, en la segunda la nomenclatura que se utilizó para definir cada una de las combinaciones y en la tercera la composición de cada una de ellas en porcentaje.

d. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo formada por 100 plántulas ubicadas en una bandeja de poliestireno (242 celdas), de las cuales se utilizaron 30 plántulas de la parte central de la unidad experimental como parcela útil para evitar efecto de borde. Se estableció una unidad experimental por bandeja utilizando la parte central. Los tratamientos se distribuyeron en el invernadero, buscando la uniformidad de los mismos y que todos fueran evaluados bajo las mismas condiciones.

e. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar utilizando 3 repeticiones con 17 tratamientos, 16 tratamientos consistieron en sustratos elaborados a base de *Hydrilla* y un tratamiento testigo o control (turba de *Sphagnum*) constituyendo los 17 tratamientos para un total 51 unidades experimentales. Se utilizó este diseño debido a la uniformidad de las condiciones con ausencia de gradientes de variación que afectaran el experimento debido a que el mismo se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero.

Las dimensiones de la bandeja utilizada fueron de 0.06 x 0.66 x 0.33 m (alto, largo ancho). A todos los tratamientos se les dio el mismo manejo.

Tabla 2.1 Características de la bandeja utilizada.

<i>Tipo</i>	<i>Dimensiones de bandeja (m)</i>	<i>Dimensiones de celda (cm)</i>	<i>No. De plantas / bandeja</i>	<i>Capacidad de sustrato/ celda</i>
242	0.06 x 0.66 x 0.33	6 x 2.5 x 2.5	242	37.5cc.

Tabla 2.2 Composición volumétrica de las combinaciones (sustratos) ensayadas para la producción de plántulas en pilón de chile pimienta *C. annum* L.

Tratamiento	Nomenclatura	Combinación (% en volumen)
1A	H0-100	Hydrilla sin degradar 100%
2	H0-95-5	Hydrilla sin degradar 95% - Perlita 5%
3	H0-90-10	Hydrilla sin degradar 90% - Perlita 10%
4	H0-85-15	Hydrilla sin degradar 85% - Perlita 15%
5	H15-100	Hydrilla con 15 días de degradación 100%
6	H15-95-5	Hydrilla con 15 días de degradación 95% - Perlita 5%
7	H15-90-10	Hydrilla con 15 días de degradación 90% - Perlita 10%
8	H15-85-15	Hydrilla con 15 días de degradación 85% - Perlita 15%
9	H30-100	Hydrilla con 30 días de degradación 100%
10	H30-95-5	Hydrilla con 30 días de degradación 95% - Perlita 5%
11	H30-90-10	Hydrilla con 30 días de degradación 90% - Perlita 10%
12	H10-85-15	Hydrilla con 30 días de degradación 85% - Perlita 15%
13	H45-100	Hydrilla con 45 días de degradación 100%
14	H45-95-5	Hydrilla con 45 días de degradación 95% - Perlita 5%
15	H45-90-10	Hydrilla con 45 días de degradación 90% - Perlita 10%
16	H45-85-15	Hydrilla con 45 días de degradación 85% - Perlita 5%
17C	TS-100	(Control) Turba de <i>Sphagnum</i>

f. Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}.$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta de la ij-ésima unidad experimental

μ = Media general de las variables de respuesta

τ_i = Efecto del i-ésima proporción de Hydrilla y perlita sobre las variables respuesta.

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

2.6.4 Etapa de análisis económico

Durante esta fase se alcanzó el tercer objetivo específico planteado:

A. Comparar económicamente los sustratos elaborados a base de residuos de *Hydrilla verticillata* y perlita, con la turba de *Sphagnum* comercial

El análisis se realizó examinando los costos en los cuales se incurrió para la elaboración de los sustratos, examinado también los ingresos, asumiendo éstos en el ingreso que se pudo haber generado con la venta de los pilones de cada unidad experimental, basándose para ello en los precios por pilón (según la variedad) de la empresa "Pilón Plus" al momento de culminar la evaluación. Este análisis se realizó con el cálculo de los siguientes indicadores:

$$R = (IN/CT) 100$$

Donde: R = Rentabilidad IN = Ingreso bruto - Costos totales CT = Costos fijos + Costos variables

$$B/C = IB/CT$$

Donde: B/C = Relación beneficio costo IB = Ingreso bruto CT = Costo total

2.6.5 Variables respuesta del ensayo

A. Variables respuesta en la caracterización física, química y biológica de los sustratos

Las variables respuesta para la caracterización se obtuvieron según la metodología descrita y desarrollada en laboratorio, estas fueron:

a. Caracterización física

- i. Materia seca (%)
- ii. Densidad aparente (gr/cm³)
- iii. Contenido de agua (% vol.)
- iv. Porosidad (% vol.)
- v. Agua fácilmente disponible (% vol.)
- vi. Capacidad de aireación (% vol.)
- vii. Mojabilidad (min)

b. Caracterización química

- i. Nutrientes disponibles (ppm)
- ii. pH
- iii. Salinidad (dS/m)
- iv. Relación C/N
- v. Materia orgánica (%)

c. Caracterización biológica

- a. Índice de germinación de semillas

B. Variables respuesta en la etapa de producción de plántulas en pilón

a. Porcentaje de germinación (%)

En cada uno de los tratamientos, se observó el porcentaje de semillas germinadas a los 12 días después de la siembra. Este se determinó utilizando la siguiente ecuación.

$$PG = (PHCD)100/NSS$$

Donde:

PG= porcentaje de germinación.

PHCD= plántulas con las dos hojas cotiledonales totalmente desplegadas.

NSS= numero de semillas sembradas.

b. Altura de plántulas (cm)

A 30 plántulas de la parcela útil de cada unidad experimental, se les midió con una regla graduada desde la superficie del sustrato hasta el ápice de la plántula. Esta variable se tomó a los 50 días después de la siembra, momento de estar listo el pilón para el trasplante.

c. Diámetro en la base del tallo (cm)

Se registró el diámetro en la base del tallo a 30 plántulas correspondientes a la parcela útil de cada unidad experimental a los 50 días después de la siembra.

d. Peso fresco de la parte aérea (tallos+hojas) y sistema radicular (g)

El rendimiento de biomasa aérea se expresó en gramos de peso fresco por 30 plántulas (u.exp.) de chile pimiento a los 50 días después de sembradas (DDS).

A las 30 plántulas de cada unidad experimental se les eliminó el sustrato, lavando las raíces, después se separó el follaje (hojas y tallos) de las raíces pesando cada una de las partes por separado (muestreo destructivo) obteniendo su peso fresco en gramos.

e. Contenido de materia seca parte aérea (tallos+hojas) y sistema radicular (%)

El rendimiento de biomasa aérea se expresó en porcentaje de materia seca a 71°C (horno de convección) por 30 plántulas (u.exp.) de chile pimiento a los 50 días después de sembradas (DDS).

Después de pesadas las partes de la plántula en estado fresco, se secaron en un horno de convección a una temperatura de 71°C, determinando posteriormente el peso seco (g) en una balanza analítica. Con la diferencia de peso de estado húmedo a seco se calculó el contenido de materia seca en porcentaje.

f. Relación tallo-raíz (%)

Esta variable relacionó la materia seca de la parte aérea con la materia seca de la raíz. Esta variable se tomó a los 50 días después de la siembra.

g. Grado de compactación del pilón (%)

Esta variable consistió en medir el grado de compactación del sistema sustrato-raíz del pilón. De las 30 plántulas de la parcela útil, se hizo las evaluaciones para determinar la compactación en base a la escala descrita para esta variable de respuesta (tabla 2.3).

h. Grado de resistencia del pilón (%)

Esta variable consistió en medir el grado de resistencia al golpe del sistema sustrato-raíz, dejando caer el pilón de una altura de 1 m golpeando contra el suelo para determinar el porcentaje de pilón que mantiene su forma, esta medición también se realizó en base a la siguiente escala .

Tabla 2.3 Escala descrita para el grado de compactación y resistencia del pilón.

Buena	Al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer no se desmorona (se mantiene el 100%).
Regular	Al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer se mantiene un 75%.
Mala	Al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer se mantiene menos del 75%.

C. Variables respuesta en la comparación económica de los sustratos

Las variables respuesta para el análisis económico se basaron en dos indicadores siguientes:

- a. Rentabilidad de sustratos (%)
- b. Relación beneficio costo

2.6.6 Manejo agronómico del experimento

A. Tecnología de producción del cultivo

La tecnología utilizada fue de producción bajo condiciones protegidas, con riego automatizado por micro aspersión.

a. Origen y preparación del material de siembra

La adquisición de la semilla de chile pimiento variedad Tropical Irazú Mejorado (87% poder germinativo) se realizó en la empresa Semillas Mejoradas de Centro América S.A. garantizando de este modo su origen y calidad.

b. Preparación de los sustratos

La preparación de los sustratos se hizo manualmente, antes del llenado de las bandejas se humedeció con agua para mejorar la consistencia, ya que los sustratos orgánicos inicialmente tienen una baja capacidad de retención de humedad. Con esto se proporcionó la humedad adecuada para que la semilla iniciara su proceso de germinación en la cámara de germinación oscura.

c. Llenado de bandejas

Se utilizaron bandejas de poliestireno de 242 celdas, las cuales fueron llenadas manualmente con las diferentes combinaciones según el tratamiento, tomando el material y depositándolo en las celdas de las bandejas. Las celdas no se llenaron en su totalidad, dejando aproximadamente 0.5 cm libres en la parte superior para colocar la semilla.

d. Siembra

La siembra se realizó manualmente colocando cada semilla en el centro de la celda a una profundidad aproximada de 0.5 cm de la superficie de la bandeja, posterior a esto las bandejas se colocaron en una cámara de pre germinación oscura a una temperatura de 25 °C durante 4 días, después las semillas fueron cubiertas con una ligera capa del mismo sustrato, luego trasladadas al invernadero para darle los cuidados necesarios (riego, fertilización, etc.) durante los 50 días que el cultivo necesita para el trasplante.

b. Riego de bandejas

Se efectuó un riego inicial de fondo el cual consistió en aplicar agua con una manguera, a esta se le acopló en el extremo una boquilla similar a la de una ducha efectuando el riego hasta saturar el sustrato, siendo indicativo de saturación el drenaje de agua por debajo de las bandejas, con ello se aseguró la humedad del sustrato. Los riegos consecutivos se efectuaron de forma automatizada normalmente 2 veces por día (8:00 y 13:00 horas) llegando a efectuar hasta 4 riegos diarios cuando las condiciones ambientales favorecían la desecación del sustrato, por lo que fue necesario un constante monitoreo de las unidades experimentales.

El riego automatizado se hizo mediante un carro de riego, el cual consta de una estructura metálica con cuatro ruedas, posee un tanque con capacidad de 20 litros para disolver los fertilizantes. Los aguilonos tienen una longitud de 5 m cada uno con boquillas a cada 0.70 m con un traslape de riego de 5 cm en la bandeja, la descarga es de 5.0 l/h y se aplicaron 0.5 l de agua por bandeja en cada riego.

c. Fertilización

Se utilizaron fertilizantes hidrosolubles (en estado físico de cristales sólido) para ello se utilizó el plan de fertilización de la empresa.

La aplicación se hizo aplicando Polifeed 20-20-20 + elementos menores, las aplicaciones se realizaron a los 22, 37 y 45 días después de siembra. La dosis aplicada fue de 2000 ppm (solución madre) inyectada a una descarga de 12 litros de agua para el total de unidades experimentales.

d. Control fitosanitario

El control fitosanitario se llevó a cabo una sola vez para mosca blanca (*Bemisia tabaci*) aplicando a los 25 días después de la siembra un producto con ingrediente activo tiociclam hidrogeno oxalatotritiano, aplicandolo en dosis de 1 cc/l de agua, éste es un insecticida principalmente para el control de esta plaga.

2.6.7 Análisis de la información

A los datos obtenidos se les realizó un análisis simple completamente al azar para todos los tratamientos, estableciendo las diferencias independientemente entre los tratamientos y el testigo.

De acuerdo al diseño se realizó un análisis de varianza con 95% de confiabilidad, utilizando el paquete estadístico SAS® para las variables respuesta en la producción de plántulas en pilón: porcentaje de germinación (%), altura de plántula (cm), diámetro de tallo (cm), peso fresco de la parte aérea y del sistema radicular (g) contenido de materia seca aérea y de raíz (%) y relación tallo/raíz (%). Las variables grado de compactación de pilón y grado de resistencia del pilón fueron analizadas únicamente mediante graficas.

Las variables correspondientes a la caracterización física, química y biológica de los sustratos se analizaron comparativamente con los rangos medios recomendados, los cuales son considerados los niveles estándar óptimos. Para las variables analizadas estadísticamente y que presentaron diferencias significativas se efectuó una prueba de medias Tukey con 5% de significancia (SAS®) Finalmente se hizo un análisis económico de los sustratos en función de la rentabilidad y la relación Beneficio-Costo.

2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan a continuación los resultados obtenidos en la evaluación agronómica de *Hydrilla verticillata* como sustrato alternativo para la producción de pilones de chile pimiento, realizada en sus diferentes etapas, tanto en el laboratorio de análisis de suelo y agua de la Facultad de Agronomía como en la empresa “Pilón Plus”, durante el periodo de septiembre 2007 a abril de 2008.

Los resultados obtenidos se analizaron en el orden siguiente: En primer lugar se presentan las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos. Seguidamente se analizan los resultados de la producción de plántulas, y por último se muestran los indicadores económicos para establecer la factibilidad de producir plántulas en los sustratos de cultivo ensayados.

2.7.1. Caracterización de las principales propiedades físicas de dieciséis combinaciones de residuos de *Hydrilla verticillata* y perlita

A. Residuos sin degradar mezclados con cuatro proporciones de perlita

Los valores que recoge la tabla 2.4, muestra que la mezcla volumétrica de *Hydrilla* sin degradar y con 15% de 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 si 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).

En cuanto al agua fácilmente disponible es notorio que el T1 (H0-100) posee el valor más alto, esto puede deberse a que no contiene porcentaje de perlita alguno. Según Bunt, 1,988 la perlita está conformada por una estructura celular cerrada, debido a esta estructura celular, el agua es retenida solamente en la superficie de las partículas siendo liberada muy fácilmente a bajas tensiones, esto hace que el agua quede poco retenida y disponible en mezclas con elevadas proporciones de perlita. Debido a ello las combinaciones que poseen el mayor porcentaje de perlita favorecen su aireación, pero no

retienen cantidades elevadas de agua. Esta condición determina que la perlita se utilice como un componente de aireación más que para la retención de humedad.

Por lo tanto es claro que T4 (H0-85-15) por su baja disponibilidad de agua requiera de riegos más frecuentes debido a que volumétricamente puede contraerse o desecarse mucho más rápido que los otros tratamientos (Ms 49%).

La densidad aparente, en la mayoría de los tratamientos se mantienen valores similares (0.2 gr/cm^3) diferenciándose el T1 (H0-100) con un valor más alto (0.3 gr/cm^3) pudiendo atribuirse también a que no contiene perlita.

Obviamente el tratamiento control (TS-100) presentó los valores más elevados en cuanto al espacio poroso total (EPT) y agua fácilmente disponible (AFD) lo cual demuestra que es un material físicamente más estable debido a que el agua fácilmente disponible mantiene la humedad del sustrato por periodos más prolongados, viéndose afectado únicamente su valor de capacidad de aireación por no contener perlita, esto se compensa con su alto espacio poroso, propiedad beneficiada por su estructura fibrilar.

Tabla 2.4 Propiedades físicas de los sustratos evaluados en el ensayo de *C. annum* sin degradar con proporciones mezcladas de perlita: Materia seca (Ms, %), Contenido de agua en base humedad (CAh, %), Humedad volumétrica (Hvol, %), Densidad aparente seca (Da, gr/cm^3), Espacio poroso total (EPT, %vol), Agua fácilmente disponible (AFD, %vol), Capacidad de aireación (CDA, %vol), Mojabilidad (M, minutos)

Tratamiento	Ms (%)	CAh (%)	Hvol (%)	Da (g/cm^3)	EPT (% vol.)	AFD (% vol.)	CDA (% vol.)	M (Minutos)
T1 (H0-100)	59.4	40.6	49.9	0.30	78	49.9	28.1	1.94
T2 (H0-95-5)	62.0	38.0	37.9	0.20	80.0	37.9	42.1	1.78
T3 (H0-90-10)	58.9	41.1	40.7	0.20	80.0	35.7	44.3	1.8
T4 (H0-85-15)	49.3	50.7	30.0	0.20	77.0	30.0	47.0	1.56
T17 (TS-100)	30.1	69.9	67.2	0.2	90.00	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, L. 2005

B. Residuos con 15 días de degradación mezclados con cuatro proporciones de perlita

Los sustratos T5 (H15-100), T6 (H15-95-5), T7 (H15-90-10) y T8 (H15-85-15) que recoge la tabla 2.5 muestran la misma densidad aparente aunque con un valor más elevado respecto a los tratamientos sin proceso de degradación, este incremento en la densidad aparente puede adjudicarse a la degradación de los residuos de *Hydrilla*, los residuos sometidos a degradación redujeron su granulometría a partículas más finas aumentando con ello su densidad y haciendo a los sustratos más pesados. Esto influye en la disminución de los valores de capacidad de aireación.

Cabe notar que los valores de capacidad de aireación (CDA) se encuentran dentro de los intervalos o niveles óptimos recomendados, siendo 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 combinación, así como un valor mayor de agua fácilmente disponible (48.8%) para el tratamiento con menor contenido de perlita T5 (H15-100).

Por otra parte se puede apreciar en general que el espacio poroso total disminuye, siendo todos los valores reportados en la tabla 2.5 inferiores al tratamiento control y a los niveles óptimos, puede observarse también que conforme se redujo el porcentaje de espacio poroso total, aumentó el agua fácilmente disponible teniendo valores muy parecidos en todos los tratamientos, esto puede atribuirse a la degradación de los residuos en partículas más finas, propiciando materiales más pesados, y con ello mayor presencia en estos sustratos de poros capilares que son los de menor tamaño y los que retienen el agua, permitiendo una menor aireación. Contrario a lo que pudo haber ocurrido en los materiales sin degradar donde por su baja densidad se deduce la presencia de poros no capilares o macroporos que son de mayor tamaño y que se vacían después que el sustrato ha drenado reduciendo los valores de agua fácilmente disponible.

Tabla 2.5 Propiedades físicas de los sustratos evaluados en el ensayo de *C. annum* con 15 días de degradación 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)
T5 (H15-100)	74.9	25.1	45.8	0.3	75	48.8	26.2	2.55
T6 (H15-95-5)	65.0	35.0	47.4.9	0.3	74.0	47.4	26.6	2.48
T7 (H15-90-10)	71.0	29.0	48.5	0.3	73.0	45.1	27.9	2.51
T8 (H15-85-15)	77.0	23.0	45.3	0.3	77.0	45.3	31.7	2.50
T17 (TS-100)	30.1	69.9	67.2	0.2	90.00	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, L. 2005

C. Residuos con 30 días de degradación mezclados con cuatro proporciones de perlita

Los valores presentes en la tabla 2.6, muestran también un incremento en la densidad aparente de los sustratos, lo que es indicativo de una mayor mineralización cuanto mayor es el tiempo de degradación con lo cual se esperaría un aumento en los valores de porosidad ocurriendo lo contrario, esto puede deberse a una porosidad intraparticular abierta que se refiere a poros situados en el interior de las partículas del sustrato los cuales difícilmente pueden cuantificarse pero que si influyen sobre la distribución del agua fácilmente disponible y de la capacidad de aireación en el sustrato. Esto pone de manifiesto que una alta porosidad total no indica por sí misma una buena estructura del sustrato, sino que la relación que existe entre la fracción de la porosidad que proporciona el agua y aquella que proporciona la aireación.

La capacidad de aireación especialmente en los valores de esta tabla comparados con los otros sustratos sometidos a degradación, son más altos, sobrepasando el 30%, nivel máximo óptimo recomendado para esta propiedad.

Tabla 2.6 Propiedades físicas de los sustratos evaluados en el ensayo de *C. annum* con 30 días de degradación 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)
T9 (H30-100)	75.8	24.2	45.9	0.4	72.0	45.9	26.1	2.91
T10 (H30-95-5)	80.3	19.7	37.1	0.3	72.0	37.1	34.9	2.87
T11 (H30-90-10)	72.5	27.5	54.2	0.4	74.0	36.2	37.8	2.55
T12 (H30-85-5)	71.1	28.9	64.8	0.3	70.0	31.8	38.2	2.58
T17 (TS-100)	30.1	69.9	67.2	0.2	90.00	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, L. 2005

D. Residuos con 45 días de degradación mezclados con cuatro proporciones de perlita

Los valores de capacidad de aireación CDA presentes en la tabla 2.7, se encuentran entre los niveles óptimos según Koranski, DS. 2004 y Cadahia, L. 2005 quien indican que los requerimientos de aireación de un sustrato deben estar entre 20-30%. El T16 (H45-85-15) presenta un valor del 5% arriba de lo recomendado, esto puede ser efecto del porcentaje de perlita presente en la mezcla (15%) el cual es el mayor porcentaje. Este resultado es similar al manifestado en las tablas anteriores en las que los tratamientos con mayor porcentaje de perlita poseen los valores más altos de aireación. Cabe mencionar

que este aumento en la aireación es proporcional al porcentaje de perlita, es decir conforme aumenta el porcentaje de perlita (5%, 10%, 15%) aumenta el contenido de aireación en la mezcla.

La mojabilidad de estos sustratos con 45 días de degradación está por debajo del nivel óptimo de 5 minutos pero presenta el mayor tiempo de humectación de todos los tratamientos sometidos a degradación (15 y 30 días) que también se encuentran entre los niveles adecuados, este mayor tiempo en la mojabilidad se asume al efecto de la mineralización en el menor tamaño de las partículas. Con partículas más finas y mineralizadas se aumenta el área superficial de contacto sustrato-agua, lo cual aumenta la tensión superficial del agua impidiendo que ésta humedezca el material.

Tabla 2.7 Propiedades físicas de los sustratos evaluados en el ensayo de *C. annum* con 45 días de degradación 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)
T13 (H45-100)	65.8	34.2	50.7	0.4	73.0	50.7	22.3	3.25
T14 (H45-95-5)	76.4	23.6	55.6	0.4	72.0	45.6	26.4	3.2
T15 (H45-90-10)	72.6	27.4	42.9	0.3	70.0	42.9	27.1	3.16
T16 (H45-85-15)	61.4	38.6	37.0	0.3	72.0	37.0	35.0	3.05
T17 (TS-100)	30.1	69.9	67.2	0.2	90.00	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, L. 2005

Las propiedades físicas del tratamiento control turba de *Sphagnum* que recoge la tabla 2.8, se encuentran dentro de los niveles óptimos recomendados. Sobresale su alto espacio poroso total y su baja densidad aparente, así como también su alta disponibilidad de agua. Posee una aireación adecuada lo cual indica que la mayoría de sus poros están bien distribuidos en capilares y no capilares. Su mojabilidad es lenta pero adecuada esto puede estar atribuido a su estructura fibrosa y alta presencia de partículas finas lo que puede aumentar el área superficial de contacto con el agua tardando más tiempo en humectarse.

Tabla 2.8 Propiedades físicas del tratamiento control o medio de cultivo a base de turba rubia KLASMANN TS1 evaluado como comparador en el ensayo de *C. annum*: 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)

Tratamiento	Ms (%)	CAh (%)	Hvol. (%)	Da (g/cm ³)	EPT (% vol.)	AFD (% vol.)	CDA (% vol.)	M (Minutos)
T17 (TS-100)	30.1	69.9	67.2	0.2	90.00	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, L. 2005

Las propiedades físicas de la perlita que se muestran en la tabla 2.9 también se encuentran dentro de los niveles óptimos presentando una baja densidad aparente, un espacio poroso total adecuado, mientras que el valor de agua fácilmente disponible se encuentra en el nivel mínimo adecuado, esto debido a su estructura celular cerrada reteniendo agua únicamente en su superficie y liberándola muy fácilmente a bajas tensiones. La capacidad de aireación se encuentra muy por encima de nivel óptimo lo cual la hace un material adecuado para proporcionar aireación y no humedad al sustrato.

Tabla 2.9 Propiedades físicas de la perlita usada en las combinaciones, evaluada en mezcla con diferentes proporciones de residuos de *Hydrilla* en el ensayo de *C. annum*: 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)

Tratamiento	Ms (%)	CAh (%)	Hvol. (%)	Da (g/cm³)	EPT (% vol.)	AFD (% vol.)	CDA (% vol.)	M (Minutos)
Perlita tipo B-12	89.1	10.9	21.9	0.1	80.00	21.9	58.1	0.23
Niveles óptimos*	20-30	55-65	24-40	0.15-0.5	>85	20-30	20-30	<5

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

A manera general y según los valores de las propiedades agua fácilmente disponible (AFD) y capacidad de aireación (CDA) las cuales dependen del espacio poroso total (EPT) ambas están muy relacionadas, por lo que si la capacidad de aireación aumenta el agua disponible disminuye, esto por efecto de la perlita en el sustrato.

Los valores de AFD en todos los tratamientos sometidos a degradación 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 agro ecosistema hortícola.

Por lo tanto el comportamiento de las propiedades físicas de un determinado material son factores que deben de tomarse en cuenta al momento de su elección. 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.

Los residuos de *Hydrilla* son material potencial que pueden utilizarse como sustrato para la producción de plántulas de chile pimiento en pilón, siempre y cuando se mejoren sus propiedades principalmente físicas y entre ellas su capacidad de aireación utilizando materiales como la perlita, aunque esto conlleve realizar riegos más frecuentes. Además es un residuo con alta disponibilidad por lo que producir sustratos en elevadas cantidades puede contribuir a reducir significativamente los costos finales por pilón.

2.7.2 Caracterización de las principales propiedades químicas de los residuos de *Hydrilla verticillata* sometidos a cuatro tiempos de degradación

La caracterización química se realizó únicamente para los tiempos de degradación, puesto que el material secundario (perlita) se asumió como material inerte. Según Bunt, 1988 la perlita es un material inerte que no se descompone biológica ni químicamente, aludiendo así su efecto únicamente en las propiedades físicas de las mezclas.

Con relación al pH (tabla 2.10) todos los tratamientos presentan valores superiores a 7.0, Esto es importante, ya que la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad en pH entre 5.0 y 6.5. 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 caracoles, conchas y peces conformada su estructura principalmente por calcio. Puede notarse que los valores de pH van aumentando conforme se da el proceso de degradación donde los nutrientes pasan de forma orgánica a mineral.

El pH del tratamiento control (TS-100) 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.

La conductividad eléctrica según los valores óptimos recomendados, se encuentra en los niveles óptimos para todos los tratamientos sometidos a degradación, ya que todos presentan valores bajos de sales, esto puede estar relacionado con los altos contenidos de agua fácilmente disponible, y a la presencia de macroporos que permiten el lavado.

Tabla 2.10 Valores de pH, y conductividad eléctrica (CE, dS/ m) de los sustratos sometidos a degradación y sin mezcla con perlita evaluados en el ensayo de *C. annum* L.

<i>Tratamiento</i>	<i>pH</i>	<i>CE dS/m</i>
T1 (H0-100)	7.8	0.96
T5 (H15-100)	9.1	1.0
T9 (H30-100)	9.2	0.25
T13 (H45-100)	9.2	0.15
T17 (TS-100)	5.9	0.3
Valores óptimos*	5.2-6.3	0.75-3.49

*Fuente: Masaguer, A. 2006

La tabla 2.11 muestra las concentraciones de elementos disponibles de los cuatro sustratos de cultivo a base de *Hydrilla* y del sustrato control. Destacando el T1 (H0-100) por presentar las concentraciones más bajas de todos los tratamientos, sin embargo estas se encuentran dentro de los niveles óptimos. Esto hace evidente la poca disponibilidad de nutrientes cuando el material no está degradado, haciendo a estos tratamientos dependientes en gran medida de la fertilización, contrario a los otros tratamientos que debido a sus altas concentraciones posibilita el retraso en el aporte de nutrientes al inicio

de cultivo. Los sustratos con pH inferiores (T1 y T17) resaltan por la alta concentración de fosforo soluble lo cual facilita la asimilabilidad de este elemento por la planta.

Tabla 2.11 Concentración de nutrientes mayores disponibles expresada en ppm de los sustratos en el ensayo de *C. annum*

<i>Tratamiento</i>	P (ppm)	K (ppm)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)
T1 (H0-100)	116	410	1410.4	455.62
T5 (H15-100)	18.79	9100	7380.0	3721.54
T9 (H30-100)	97	2250	9026.15	1036.39
T13 (H45-100)	74	5400	9026.15	761.80
T17 (TS-100)	117.65	1440	14192.15	1909.98
Rango medio*	6-10	150-249	>200	>70

*Fuente: Masaguer, A. 2006

Los niveles de nutrientes menores presentados en la tabla 2.12, se encuentran en los rangos óptimos principalmente Cu y Fe excepto el tratamiento control (TS-100) cuyas 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 con fondos marinos de origen calcáreo, por lo mismo los niveles de calcio se encuentran para la mayoría de tratamientos en forma elevada.

Tabla 2.12 Concentración de nutrientes menores disponibles expresada en ppm de los sustratos en el ensayo de *C. annuum*

<i>Tratamiento</i>	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
T1 (H0-100)	0.50	1.50	3.00	17.50
T5 (H15-100)	0.10	0.10	1.00	130.00
T9 (H30-100)	0.10	0.10	1.00	52.50
T13 (H45-100)	0.10	0.10	3.00	62.00
T17 (TS-100)	1.50	24.00	115.50	58.50
Niveles óptimos*	0.001-0.5	0.3-3.0	0.3-3.0	0.02-3.0

*Fuente: Abad et al, (1993)

El contenido de materia orgánica M.O. (tabla 2.13) no varía significativamente y están por debajo de los niveles óptimos, presentando mayor contenido los sustratos más degradados. El contenido de nitrógeno total es más alto también en los sustratos más degradados debido al aporte por mineralización.

La relación carbono nitrógeno se encuentra adecuada para los tratamientos sin degradar, reduciéndose considerablemente en los tratamientos sometidos a degradación, lo cual es indicativo 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 (TS-100), influida igual que la materia orgánica por la naturaleza del material presentando en ambas propiedades los valores más altos.

Tabla 2.13 Porcentaje de materia orgánica (MO, %), nitrógeno total (N, %) y relación C/N de los sustratos en el ensayo de *C. annum L.*

<i>Tratamiento</i>	M.O. (%)	N (%)	C/N
T1 (H0-100)	13.18	0.80	26:1
T5 (H15-100)	22.41	0.90	14:1
T9 (H30-100)	14.50	2.59	3.2:1
T13 (H45-100)	19.11	1.48	7.5:1
T17 (TS-100)	63.92	0.73	68:1
Rango medio*	50-60	1-2	20-40

* Fuente: Abad et al, (1993)

Las propiedades químicas no requieren la mayor atención en un medio o sustrato, puesto que estas pueden modificarse o mejorarse una vez establecido el cultivo en las bandejas, cosa que es imposible para las propiedades físicas, por lo cual puede asumirse que las propiedades físicas definen con mayor certeza el éxito de cultivos en bandejas u otros contenedores aunado al correcto manejo de factores como la especie cultivada, riego entre otros.

2.7.3 Caracterización biológica de los residuos de *Hydrilla verticillata* sometidos a cuatro tiempos de degradación

La caracterización biológica también se realizó únicamente para los tiempos de degradación, puesto que el material secundario (perlita) se asumió como material inerte, que no se descompone biológicamente.

Los bioensayos, se realizaron para establecer el efecto de sustancias fitotóxicas o salinidad en los sustratos que puedan inhibir la germinación y/o el desarrollo adecuado de las semillas de chile pimienta.

Según Emino y Warman (2004) valores de IG (índices de germinación) 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 las semillas de chile obtenidos en el extracto de saturación 1:10, los residuos de *Hydrilla* sin degradar y degradados en 15, 30 y 45 días no presentaron compuestos fitotóxicos (tabla 2.14).

Tabla 2.14 Índice de germinación de semillas de chile pimiento (IG%) para determinar efectos fitotóxicos en los residuos sometidos a diferentes tiempos de degradación.

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
T17 C	20/20	10	100	100	100

GR: Porcentaje de germinación relativo; ER: Crecimiento de radícula relativo; IG: Índice de germinación.

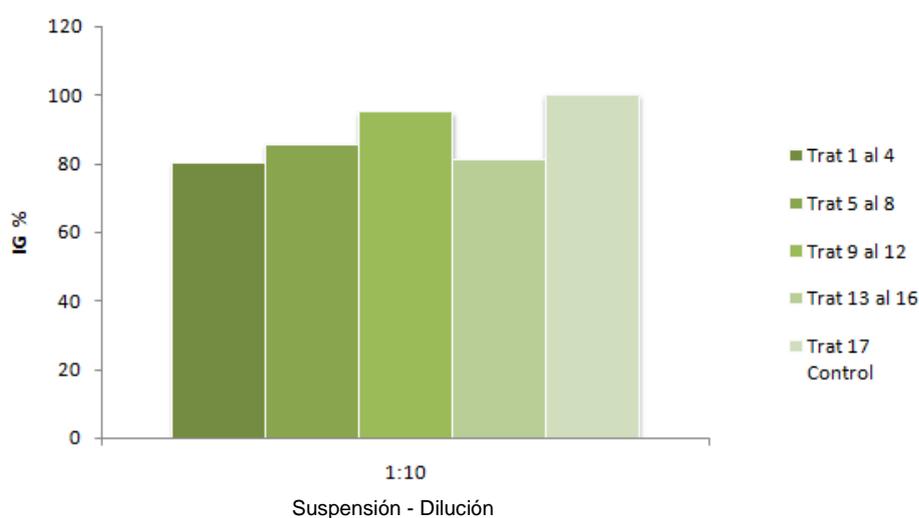


Figura 2.1 Índices de germinación para los diecisiete sustratos ensayados con (*Capsicum annum* L.)

2.7.4. Evaluación del efecto de dieciséis combinaciones de perlita y residuos de *Hydrilla verticillata* sometida a cuatro tiempos de degradación en la producción de plántulas de *C. annum* en pilón en:

Después de analizado el comportamiento físico, químico y biológico de los sustratos ensayados, se estudió la respuesta del cultivo *C. annum* a las diferentes combinaciones como medios de cultivo midiendo el comportamiento de las variables, de forma que se pudo establecer diferencias según el crecimiento vegetativo desarrollado con cada una de las combinaciones. Las variables estudiadas para establecer el desarrollo foliar y radicular de las plántulas se hizo a través de muestreos destructivos determinando el peso fresco y seco de la parte aérea y de la raíz, además de la altura de las plántulas, diámetro en la base del tallo, porcentaje de germinación, grado de compactación del sistema sustrato-raíz del pilón, y finalmente el grado de resistencia al golpe del sistema sustrato-raíz del pilón.

A. Porcentaje de germinación (%)

El porcentaje de germinación, se estimó a partir del día 12 hasta el día 24 después de la siembra (DDS).

Los sustratos elaborados con diferentes combinaciones de residuos de *Hydrilla* y perlita mostraron variabilidad con respecto al tratamiento control, durante las primeras tres evaluaciones realizadas (12, 14, 16 DDS), en los cuales la germinación se presentó de forma acelerada.

En la primera evaluación 12 DDS la turba presentó el porcentaje de germinación, más 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, elevada porosidad y reducida conductividad eléctrica. En esta misma evaluación dentro de los sustratos a base de *Hydrilla* el T2 (H0-90-10) presentó el porcentaje de germinación más alto.

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 en el inicio de la germinación parece estar relacionado a la mayor densidad aparente presentada en los sustratos con 15, 30, y 45 días de degradación debido a que la mayoría de tratamientos que tienen un retraso en la germinación fueron degradados, mientras que la conductividad eléctrica (CE) y otras propiedades químicas no tuvieron un efecto significativo en este retraso. Más aun propiedades físicas como la 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, seguida del T2 (H0-95-5) que presentó la germinación más uniforme dentro de los sustratos a base de *Hydrilla*, lo cual también se reflejó como un pico muy pronunciado a los 12 DDS. El comportamiento fue similar para T13 (H45-100) y T14 (H45-95-5) solo que con dos días de retraso para alcanzar el valor inicial del T2 (H0-95-5) y T17(TS-100), siendo T13 (H45-100) y T14 (H45-95-5) de los más desuniformes y con baja velocidad de germinación.

La prueba múltiple de medias ubica estadísticamente al T2 (H0-95-5) con el porcentaje de germinación más cercano a la turba en los primeros 16 DDS. Es decir que la mejor germinación inicial aparte de la turba, se obtiene en un sustrato sin degradar y con un 5% de perlita, lo cual favorece las condiciones para iniciar la germinación debido a que este sustrato proporciona un nivel adecuado de espacio poroso (80%), así como agua fácilmente disponible (37.9%) y aireación (42.1%), propiedades que favorecen la presencia de oxígeno para la respiración de la semilla.

Con los tratamientos T7 (H15-90-10), T8 (H15-85-15) y T12 (H30-85-15) se obtienen resultados similares, pudiendo atribuirse a que estos poseen un mayor contenido de aireación y un adecuada cantidad de agua disponible, propiedades que estos tratamientos pueden ofrecer debido a que son los que más perlita contienen principalmente T8 (H15-85-15) y T12 (H30-85-15).

Debido a este comportamiento puede utilizarse el T2 (H0-95-5), T7(H15-90-10), T8 (H15-85-15) o T12 (H30-85-15), de manera lógica podría optarse por el T2(H0-95-5), el cual no

requiere de degradación y requiere del menor porcentaje de perlita, pero la inclinación por este sustrato sería adecuada solo durante la germinación, debido a que durante el desarrollo de la plántula este tratamiento no proporciona las condiciones adecuadas para obtener un pilón aceptable, siendo entre T8 (H15-85-15) y T12(H30-85-15) la mejor opción.

El T9 (H30-100) fue el que menor porcentaje de germinación reportó, esto se vió marcado por una velocidad inicial de germinación muy lenta mantenida en el tiempo, esto puede apreciarse en la figura 2.4 de las curvas de germinación, atribuyéndose 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 el T13 (H45-100) el cual es un sustrato con densidad de 0.4 gr/cm³ y baja capacidad de aireación por no contener perlita.

Tabla 2.15 Efecto de los sustratos de producción sobre el porcentaje de germinación acumulada en plántulas en pilón de *C. annum*. Efecto de todos los sustratos incluyendo el control turba de *Sphagnum* (ver tabla 2.2).

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 ^{ab}	83 ^a	86 ^{ab}	86 ^a	86 ^a	87 ^a
T4	14 ^{cd}	59 ^{ab}	80 ^a	84 ^{ab}	85 ^a	85 ^a	86 ^a
T5	12 ^{cd}	67 ^{ab}	77 ^a	81 ^{ab}	83 ^a	84 ^a	85 ^a
T1	15 ^{cd}	76 ^{ab}	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 ^{ab}	81 ^a	85 ^{ab}	88 ^a	89 ^a	89 ^a
T6	1 ^d	68 ^{ab}	83 ^a	84 ^{ab}	86 ^a	89 ^a	89 ^a
T11	1 ^d	66 ^{ab}	81 ^a	84 ^{ab}	86 ^a	88 ^a	88 ^a
T16	1 ^d	68 ^{ab}	81 ^a	86 ^{ab}	88 ^a	88 ^a	89 ^a
T14	2 ^d	53 ^{ab}	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

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

En la figura 2.2 se observa lo ocurrido principalmente con el T2 (H0-95-5) el cual se comportó muy parecido a la turba igualando a los 12 DDS el porcentaje de germinación manteniéndose a lo largo del ensayo, esto es indicativo de las condiciones de porosidad y aireación que favorecieron la germinación de las semillas en los tratamientos no degradados.

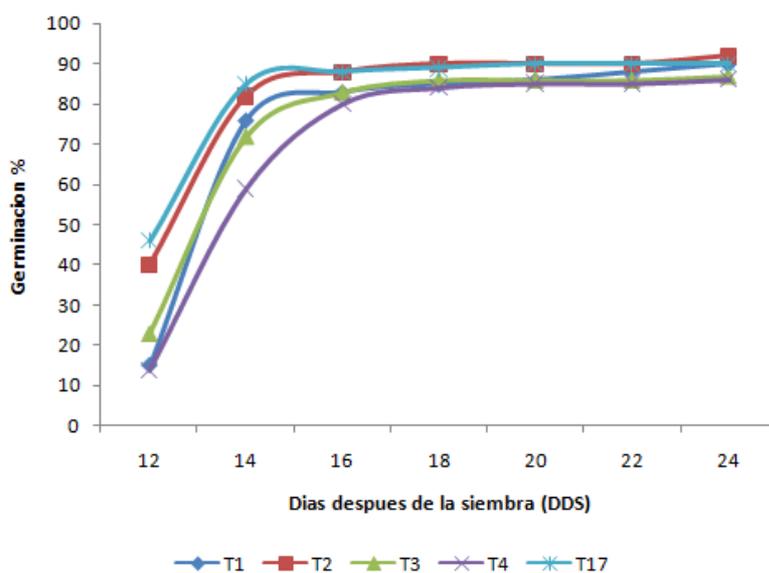


Figura 2.2 Efecto de los sustratos sin degradar comparado con turba de *Sphagnum* sobre la germinación acumulada de (*Capsicum annum* L.)

El T9 (H30-100) fue el que menor porcentaje de germinación reportó, esto se vió marcado por una velocidad inicial de germinación muy lenta mantenida en el tiempo, esto puede apreciarse en la figura 2.4 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. Esto se ve respaldado por los resultados similares que tuvo el T13 el cual es un sustrato con densidad de 0.4 gr/cm^3 y baja capacidad de aireación por no contener perlita.

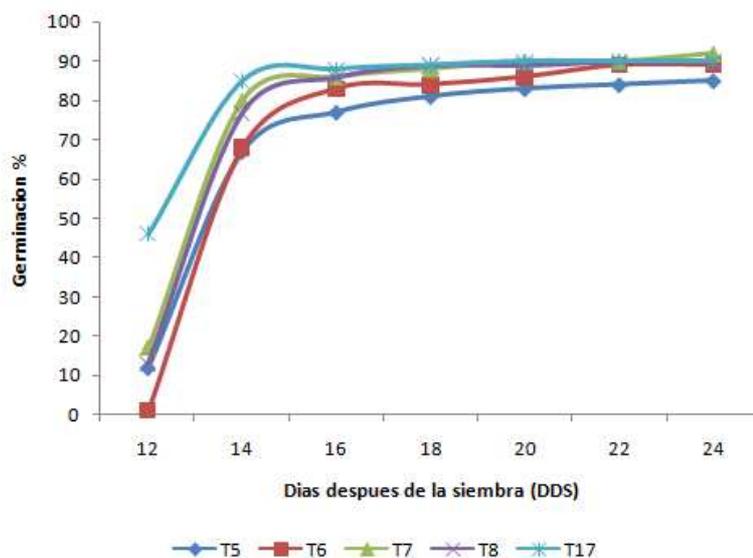


Figura 2.3 Efecto de los sustratos con 15 días de degradación comparados con turba de *Sphagnum* sobre la germinación acumulada de (*Capsicum annum* L.)

Los tratamientos degradados en 15 días inicialmente manifestaron poca germinación, a partir del día 14 este porcentaje superó el 60% aumentando con el transcurso del ensayo. Puede observarse lo agrupado de estos tratamientos indicando poca variabilidad entre ellos.

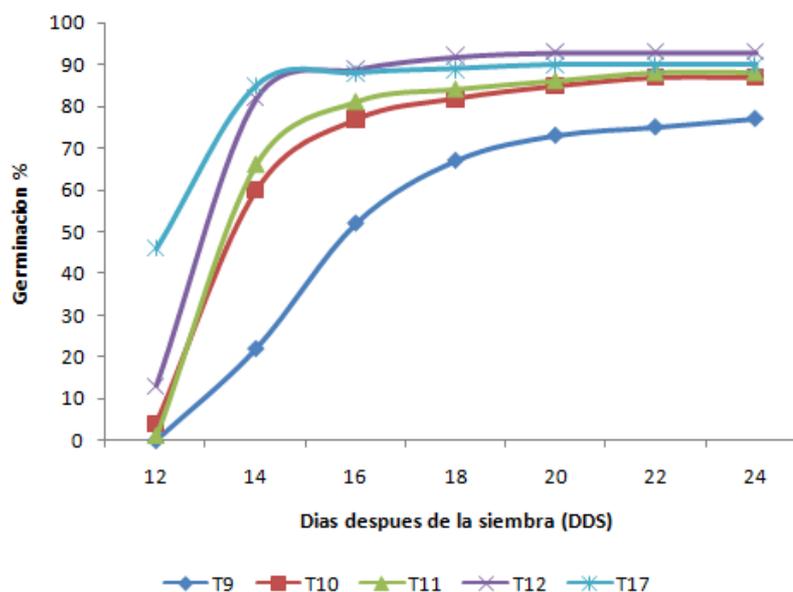


Figura 2.4 Efecto de los sustratos con 30 días de degradación comparados con turba de *Sphagnum* sobre la germinación acumulada de (*Capsicum annum* L.)

En la figura anterior puede observarse el comportamiento de las curvas de germinación acumulada para los tratamientos sometidos a 30 días de degradación, es notoria la desuniformidad entre estos tratamientos debido a lo desagrupado de las curvas, situación que no se manifestó en los tratamientos sin degradar y con 15 y 45 días de degradación. Sin embargo el T12 (H30-85-15) se comportó de manera similar a la turba igualando el porcentaje de germinación a los 14 DDS, tendencia que no se manifiesta por ningún otro tratamiento con este mismo tiempo de degradación. Se puede observar también el comportamiento del tratamiento T9 el cual presenta una curva con tendencia menos pronunciada y que aumenta gradualmente alcanzando al final del ensayo el menor porcentaje de germinación acumulada.

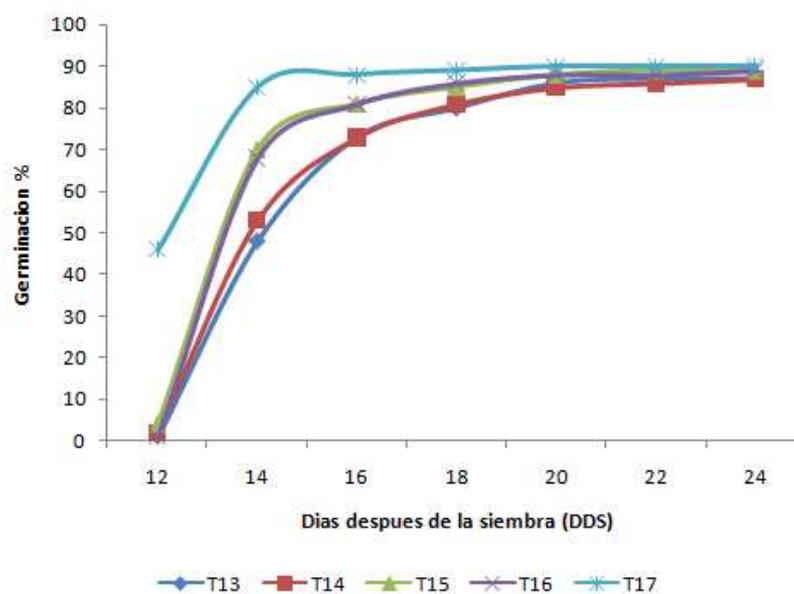


Figura 2.5 Efecto de los sustratos con 45 días de compostaje comparados con turba de *Sphagnum* sobre la germinación acumulada de *C. annuum* L.

Los tratamientos con 45 días de degradación, a nivel de grupo fue el que manifestó menos germinación a los 12 DDS, iniciando la germinación a partir del día 14.

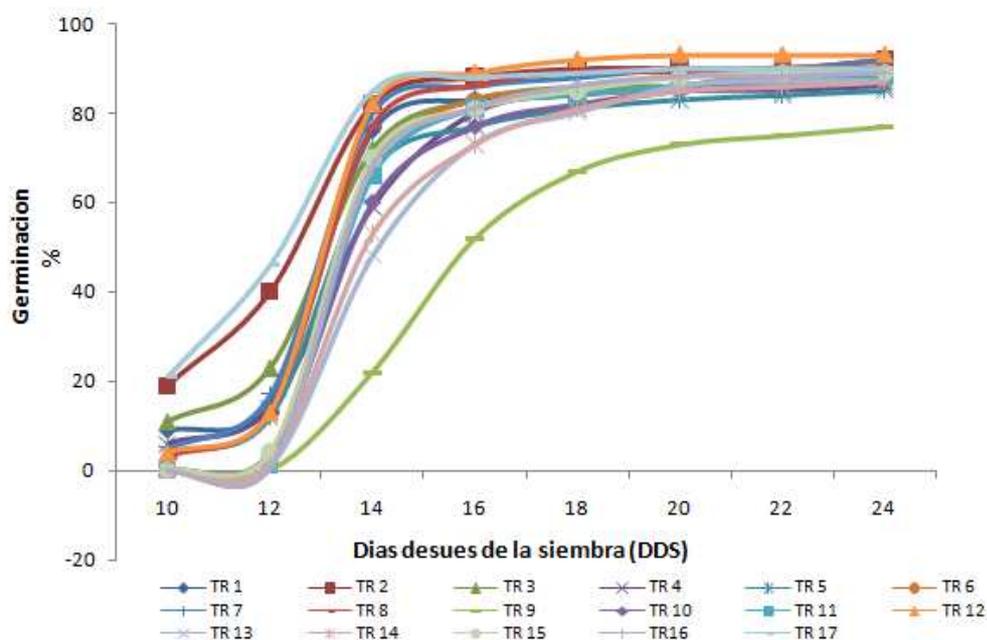


Figura 2.6 Efecto de los sustratos de producción sobre el porcentaje de germinación acumulada en plántulas de (*Capsicum annum* L.)

La figura 2.6 encierra las curvas de germinación acumulada para todos los tratamientos, observándose una tendencia similar para la mayoría de los tratamientos, destaca la mayor diferencia al inicio de la germinación, estabilizándose esta variable a los 18 DDS.

B. Altura de plántula (cm)

Para esta variable puede notarse que existen estadísticamente mejores tratamientos que en la turba o control, siendo superiores a T17 (TS-100) los tratamientos T7 (H15-90-10), T8 (H15-85-15), T13 (H45-100), T14 (H45-95-5) seguidos por el T12 (H30-85-15), mientras que el control se encuentra entre los peores tratamientos precedido únicamente por los tratamientos sin degradación. Los sustratos elaborados con residuos sin degradar presentan los valores de altura más bajos, esto es contradictorio a lo observado en la germinación inicial donde estos sustratos son los mejores, puede deberse a que en el transcurso del desarrollo de la plántula y con la humedad que estos sustratos mantienen

se inicia el proceso de degradación dentro de las celdas de la bandeja, este proceso requiere de nutrientes y oxígeno para mantener a los organismos en altas poblaciones y degradar el material, esto puede observarse con el valor significativamente mayor de la relación carbono/nitrógeno (26:1) de los sustratos no descompuestos, ello indica mayor contenido de materia orgánica favoreciendo la actividad de los microorganismos que descomponen estos materiales orgánicos frescos.

Estos procesos de degradación limitan a la plántula recién germinada un desarrollo vegetativo adecuado por lo que se ve marcadamente poco crecimiento.

Los tratamientos comprendidos del T5 (H15-100) al T16 (H45-85-15) son los mejores, y entre ellos se encuentran los tratamientos T7 (H15-90-10), T8 (H15-85-15) y T12 (H30-85-15) los cuales también presentaron un porcentaje de germinación alto (92%).

C. Diámetro en la base del tallo (cm)

La prueba múltiple de medias establece como los peores tratamientos a T1 (H0-100), T2 (H0-95-5), T3 (H0-90-10), T4 (H0-85-15). Puede notarse que para un diámetro que se encuentre alrededor de 0.30 cm es importante un sustrato con residuos degradados. Los diámetros más bajos se obtienen con aquellos tratamientos que no contienen perlita y obviamente tratamientos sin degradar, atribuyéndose el poco desarrollo en diámetro al proceso de descomposición de los residuos.

Para el diámetro, los mejores tratamientos fueron T7 (H15-90-10), T13 (H45-100), T14 (H45-95-5), seguidos por T8 (H15-85-15), T6 (H15-95-5), T10 (H30-95-5), T12 (H30-85-15), T15 (H45-90-10) y T16 (H45-85-15), siendo valores muy cercanos a los primeros. Los tratamientos T7(H15-90-10), T8 (H15-85-15), y T12(H30-85-15) también se destacan en esta variables presentándose una vez más entre los mejores.

Tabla 2.16 Efecto de los sustratos sobre la altura (centímetros) y el diámetro en la base del tallo (centímetros) de plántulas de *C. annum* 50 DDS (transplante). Efecto entre sustratos incluyendo el control turba de *Sphagnum* (ver tabla 2.2).

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 ($P < 0.05$)

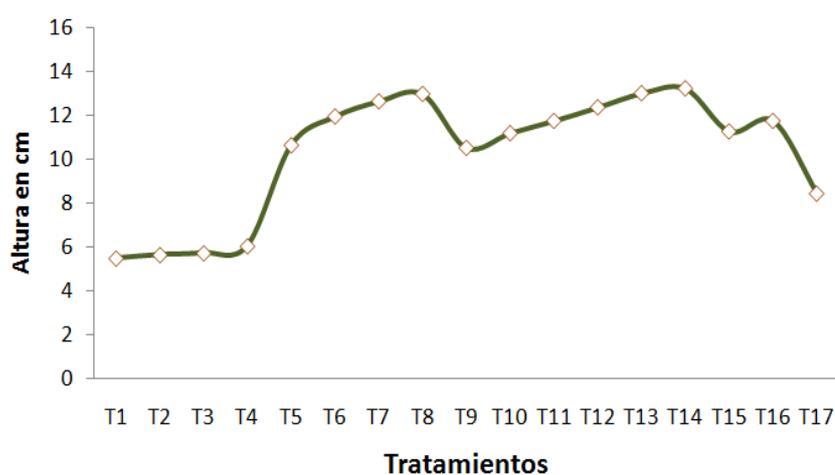


Figura 2.7 Efecto de los sustratos sobre la altura en plántula de (*Capsicum annum* L.)

En las figura 2.7 y 2.8 se puede observar fácilmente el poco crecimiento en altura y diámetro que presentaron los tratamientos con residuos sin degradar. Puede observarse también el poco crecimiento de las plántulas en el tratamiento control, esto pudo deberse a que en la turba la germinación inicial fue más pronunciada y precoz, iniciando el desarrollo vegetativo tiempo antes que el resto de tratamientos con residuos degradados. Esta anticipación pudo haber provocado desuniformidad en el ensayo debido a que la fertilización no podía realizarse únicamente en las bandejas del control, sino hasta que todo el ensayo estuvo homogéneo. Por lo tanto las plántulas del control no recibieron una adecuada nutrición en el tiempo correcto, manifestando poco crecimiento en altura y diámetro.

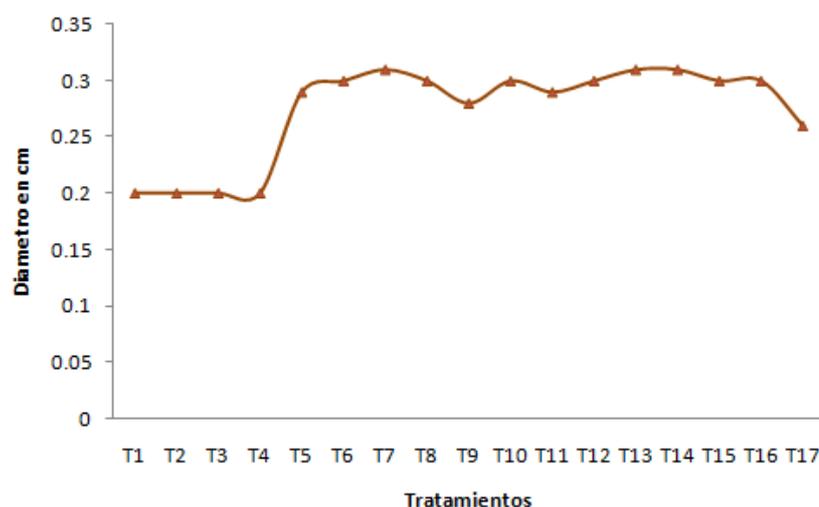


Figura 2.8 Efecto de los sustratos sobre el diámetro de tallo en la base en plántulas de (*Capsicum annum* L.)

D. Peso fresco de tallo y raíz (g)

El comportamiento de las variables peso fresco de la parte aérea y radicular, se manifiesta de manera similar a la altura y diámetro de tallo, situando a los obtenidos en la turba o tratamiento control como uno de los peores, alcanzando al final del ensayo una altura promedio de 17.96 cm. Esto comparado con 41.11 y 35.91 cm reportado por los tratamientos T14 (H45-95-5) y T12 (H30-85-15) respectivamente. El tratamiento control fue precedido únicamente por los tratamientos sin degradar confirmando que los tratamientos

sometidos a degradación son los mejores, entre los que destacan los tratamientos T6 (H15-95-5), T12 (H30-85-15), T14 (T45-95-5) y T15 (H45-90-10) aunque comparados con el resto de los tratamientos con degradación las diferencias no son significativas, mientras que los peores pesos frescos de raíz se obtienen con los no sometidos a degradación.

El peso fresco del sistema radicular presenta mejores resultados en los tratamientos con mayor tiempo de degradación (30 y 45 días) y con los mayores porcentajes de perlita, esto puede deberse a que están mayormente mineralizados y contienen más aireación, permitiendo un mejor desarrollo y disponibilidad en cuanto a nutrientes y oxígeno para el proceso de respiración radicular.

Tabla 2.17 Efecto de los sustratos sobre el peso fresco de la parte aérea completa (g) y de la raíz (g) en plántulas de *C. annum* 50 DDS (transplante). Efecto entre todos los sustratos incluyendo el control turba de *Sphagnum* (ver tabla 2.2).

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 ($P < 0.05$)

La siguiente figura muestra en barras el peso fresco de raíz de 30 plántulas de chile a los 50 DDS. Puede observarse el mayor peso fresco alcanzado por los tratamientos T6 (H15-95-5), T12 (H30-85-15), T14 (T45-95-5), T15 (H45-90-10) que superan en más de 3.5 cm a la altura reportada por plántulas desarrolladas en la turba.

Los tratamientos sin degradar presentan el menor desarrollo radicular. Algunos autores confirman que altas conductividades eléctricas pueden dar lugar a un mal desarrollo radicular. En este ensayo los sustratos con conductividades más altas (sin degradar y 15 días de degradación), tienen un comportamiento poco similar a los sustratos con menor concentración de sales solubles (30 y 45 días de degradación). Por lo que en este caso, tener una alta CE principalmente en los sustratos sin degradar, podría también estar relacionado con el poco desarrollo radicular.

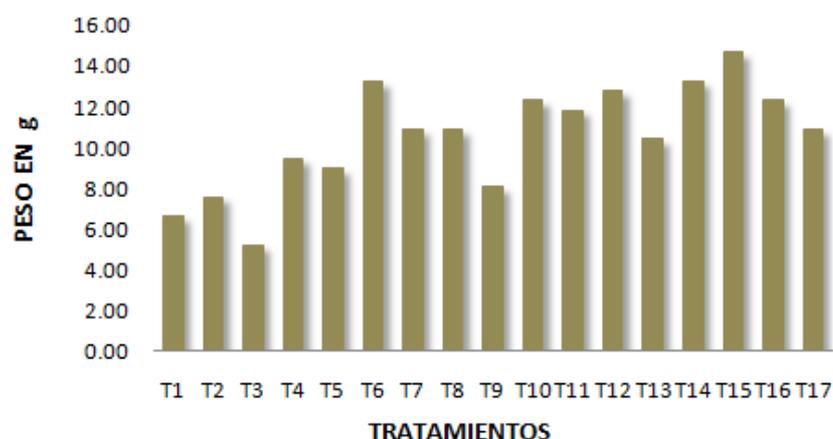


Figura 2.9 Efecto de los sustratos sobre el peso fresco del sistema radicular (g) en plántulas de (*Capsicum annum* L.)

En la figura 2.10 se observa un comportamiento similar al descrito para el peso fresco radicular. Los tratamientos que mayor peso fresco de tallo y hojas promovieron, fueron los sometidos a mayor tiempo de degradación (30 y 45 días) destacando los tratamientos T6 (H15-95-5), T12 (H30-85-15), T13 (H45-100), T14 (T45-95-5), T15 (H45-90-10), mientras que claramente se ve el poco desarrollo en los tratamientos sin degradar. Es evidente que un sustrato con mejores propiedades físicas y químicas promueve un mejor crecimiento de la raíz y directamente un efecto proporcional en la parte aérea, esto es de considerar,

puesto que un sustrato con pobres propiedades físicas proporcionará plantas débiles y sin desarrollo de raíces, sistema fundamental en un pilón.

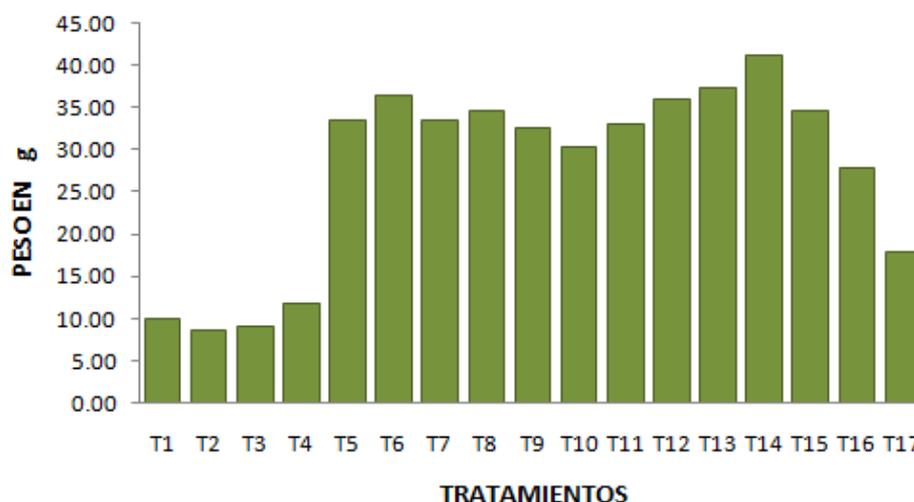


Figura 2.10 Efecto de los sustratos sobre el peso fresco de la parte aérea completa (g) en plántulas de (*Capsicum annum* L.)

E. Contenido de materia seca parte aérea y radicular (%)

Los valores del contenido de materia seca de la parte aérea no se comportaron de la misma manera que en el peso fresco. En el peso fresco es mayor el dato para los tratamientos con mayor tiempo de degradación, por el contrario en los sustratos sin degradación los valores del contenido de materia seca de la parte aérea es mayor, ubicando como el mejor tratamiento a la turba, seguido del tratamiento T1 (H0-100), T2 (H0-95-5) y T3 (H0-90-10). Esto puede deberse a que la germinación en estos tratamientos especialmente en T2 (H0-95-5) fue rápida, la parte aérea se mantuvo por mayor tiempo en el ensayo permitiéndole madurar y lignificar sus tejidos, dando como resultado un mayor contenido en materia seca. Los otros tratamientos que presentaron buenos resultados son T7 (H15-90-10), T8 ((H15-85-15), T10 (H30-95-10), T12 (H30-85-15) y T16 (H45-85-15).

Para el contenido de materia seca radicular, estadísticamente todos los tratamientos son iguales. La discrepancia entre los valores del peso fresco y contenido de materia seca

radicular pudo estar relacionada al grado de humedad en el sustrato e hidratación de las raíces al momento de realizar el muestreo destructivo, por lo que el sistema radicular no se desarrolla más ni menos en un determinado sustrato interviniendo únicamente la eficiencia que esta tenga en un sustrato con mejores propiedades, lo que se manifiesta en una diferencia en el peso fresco y contenido de materia seca de la parte aérea.

F. Relación tallo/raíz

La relación tallo/raíz en base al contenido de materia seca, presenta diferencia estadísticas favoreciendo a los sustratos sin degradar, los cuales presentaron mayor contenido de materia seca foliar. Los valores más altos de estos tratamientos conjuntamente con la turba confirman que los tratamientos con mayor contenido de materia seca son aquellos que iniciaron una germinación rápida permitiendo la maduración del tejido vegetal.

Por el contrario con aquellos cuya germinación fue lenta y desuniforme como es el caso de T9 (H30-100) y T13 (H45-100) donde la relación tallo raíz es inferior a la unidad. Este comportamiento puede indicar que mientras más lenta es la germinación y el desarrollo foliar, las plántulas se concentran en desarrollar un sistema radicular más consistente.

Las relaciones T/R superiores a la unidad son indicativas de que la parte aérea completa supera en contenido de materia seca a la radicular, mientras que valores inferiores a la unidad (T13 y T9) presentaron mayor contenido de materia seca en el área radicular.

Tabla 2.18 Efecto de los sustratos sobre el contenido de materia seca de la parte aérea completa (%), de la raíz (%) y la relación tallo/raíz (%) de plántulas de *C. annum* 50 DDS (transplante). Efecto entre todos los sustratos incluyendo el tratamiento control turba de *Sphagnum* (ver tabla 2.2).

Tratamiento	Parte aérea	Raíz	Parte aérea/Raíz
	Contenido de materia seca (%)	Contenido de materia seca (%)	Relación tallo/raíz (%)
T17	19.06 ^a	11.06 ^a	1.72 ^{ab}
T3	18.32 ^{ab}	14.80 ^a	1.24 ^{abc}
T2	17.62 ^{abc}	9.05 ^a	1.95 ^a
T6	15.12 ^{abc}	14.39 ^a	1.05 ^{abc}
T7	15.85 ^{abc}	14.56 ^a	1.09 ^{abc}
T10	17.23 ^{abc}	14.02 ^a	1.23 ^{abc}
T11	15.19 ^{abc}	14.89 ^a	1.02 ^{abc}
T12	15.22 ^{abc}	14.51 ^a	1.05 ^{abc}
T1	16.49 ^{abc}	10.28 ^a	1.60 ^{abc}
T15	15.26 ^{abc}	10.45 ^a	1.46 ^{abc}
T16	17.07 ^{abc}	12.24 ^a	1.39 ^{abc}
T8	16.31 ^{abc}	15.92 ^a	1.02 ^{bc}
T4	14.47 ^{bc}	11.35 ^a	1.27 ^{abc}
T9	14.51 ^{bc}	15.61 ^a	0.93 ^{bc}
T13	14.94 ^{bc}	15.42 ^a	0.97 ^{bc}
T5	14.82 ^{bc}	14.27 ^a	1.04 ^c
T14	14.19 ^c	12.22 ^a	1.16 ^{abc}

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

La figura 2.11 muestra el comportamiento del contenido de materia seca de la parte aérea y radicular. Puede observarse que los valores en contenido de materia seca son mayores para el área foliar con excepción de los valores para T9 (H30-100) y T13 (H45-100) en los que el contenido de materia seca radicular es mayor que el foliar. Puede notarse que en estos puntos existe un traslape, lo cual es indicativo de que la relación tallo/raíz es inferior a uno, lo que se puede observar también en la figura 2.12.

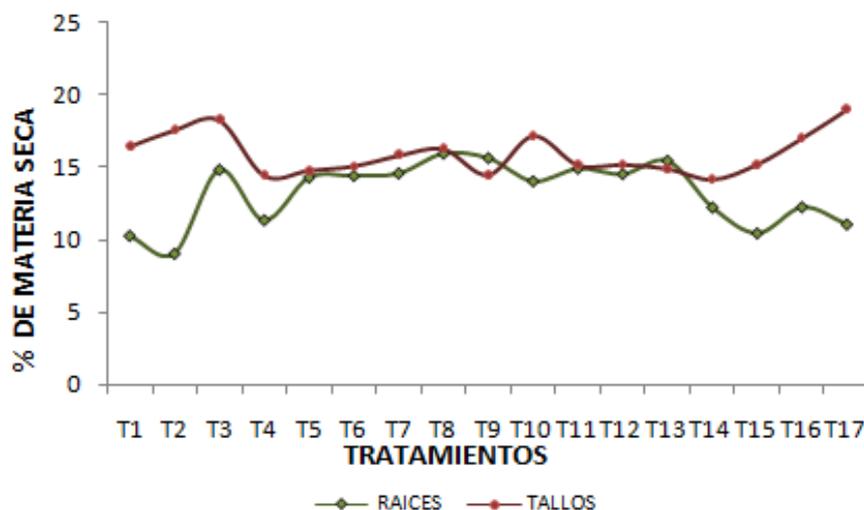


Figura 2.11 Efecto de los sustratos sobre el contenido de materia seca de la parte aérea completa (%), y del sistema radicular (%), en plántulas de (*Capsicum annum* L.).

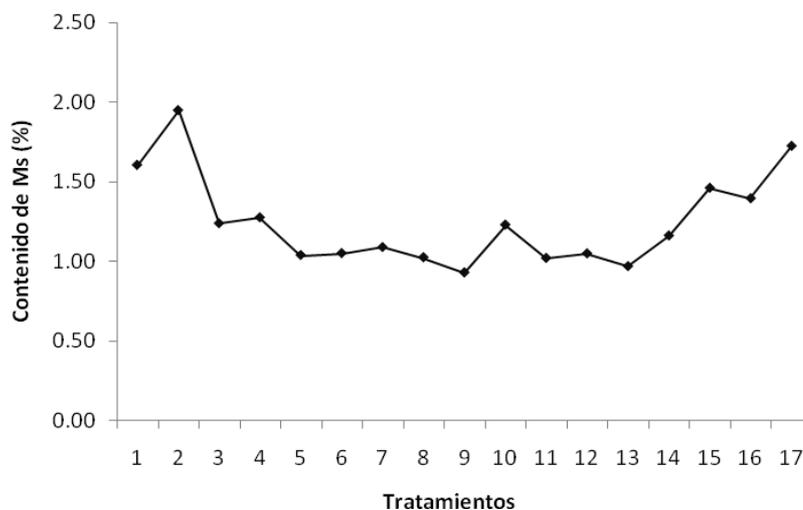


Figura 2.12 Efecto de los sustratos sobre la relación tallo/raíz en plántulas de (*Capsicum annum* L.)

G. Grado de compactación y resistencia del pilón

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

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

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

El valor más alto lo presenta el T14 (H45-95-5) el cual es igual al tratamiento control (T17) los cuales son lo que menos se desintegran al ser golpeados. Esto indica que los pilones producidos en la mayoría de los sustratos deben transportarse con cuidado para evitar perdida del sustrato y con ello que la plántula se deshidrate.

Tabla 2.19 Efecto del sistema sustrato-raíz en el grado de compactación y resistencia al golpe en pilones de plántulas de (*Capsicum annum* L.). Efecto entre todos los tratamientos incluyendo el tratamiento control turba de *Sphagnum* (ver tabla 2.2)

Tratamiento	Grado de compactación (%)	Grado de resistencia (%)
T1	80	30
T2	75	40
T3	50	30
T4	60	30
T5	100	50
T6	100	60
T7	100	60
T8	100	60
T9	90	60
T10	100	70
T11	100	60
T12	100	70
T13	100	60
T14	100	90
T15	90	80
T16	100	70
T17 C	100	90

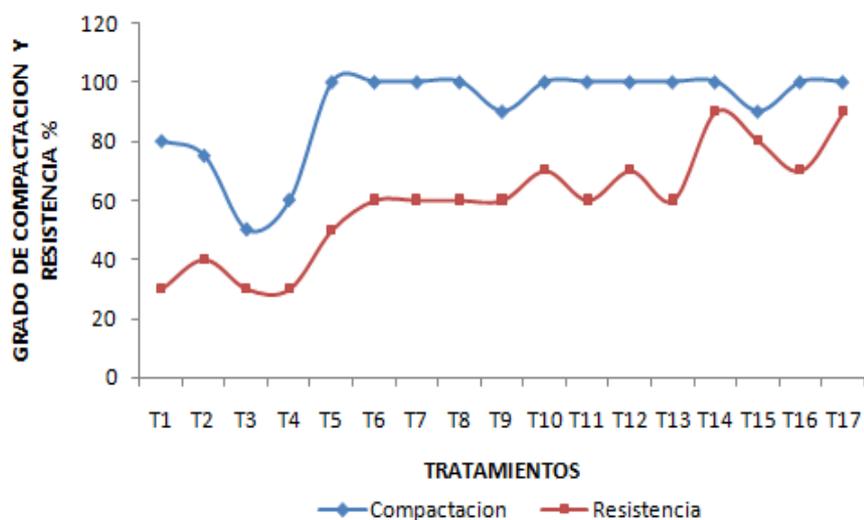


Figura 2.13 Efecto del sistema sustrato-raíz en el grado de compactación y resistencia al golpe en pilones de plántulas de (*Capsicum annum L.*)

2.7.5 Análisis económico

A. Estimación del costo de elaboración por kilogramo de sustrato a base de residuos de Hydrilla.

El análisis económico de los sustratos se estimó mediante un cuadro de costos de producción para la cantidad de sustrato utilizada en la realización del ensayo, esto con el objeto de calcular los indicadores de rentabilidad y relación beneficio costo, los cuales requieren de ingresos mismos que se asumieron de la venta de los sustratos elaborados para el ensayo. En el cuadro siguiente se detalla cada uno de los costos efectuados para elaborar el sustrato.

Cuadro 2.11 Costo de producción en quetzales estimado para la elaboración de los sustratos

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Q.)	SUB-TOTALES (Q.)	TOTAL (Q.)
I. Costos Directos					273.52
1. Combustible					
a. Extracción de <i>Hydrilla v.</i>	galón	8	21.19	173.52	
2. Renta de instalaciones y equipo					
a. Desintegrador	días	2	50	100	
3. Mano de obra					300
a. Extracción de <i>Hydrilla v.</i>	jornal	2	50	100	
b. Secado	jornal	1	50	50	
c. Picado	jornal	2	50	100	
d. Compostaje	jornal	1	50	50	
				Costo total	573.52

Cuadro 2.12 Cantidad total en kilogramos de sustrato elaborado para los distintos tratamientos del ensayo.

TIEMPO DE DEGRADACIÓN (días)	CANTIDAD (Kg)
Sin degradar	83.4
15 Días de degradación	162.5
30 Días de degradación	131.6
45 Días de degradación	136.62
TOTAL	514.12

Cuadro 2.13 Costo en quetzales estimado por kilogramo de sustrato.

Costo total de elaboración (Q.)	573.52
Cantidad total de sustrato (Kg)	514.12
Costo por kg (Q.)	1.11

Debido a que las mezclas se realizaron en base a volumen/volumen se estimó que un kilogramo de sustrato equivale a 1.6 litros. Por lo tanto el costo estimado por litro de

sustrato fue de Q.0.69, mientras que un litro de sustrato de turba de *Sphagnum* tiene un costo de Q1.20 existiendo una diferencia de Q.0.51. Es decir que un litro de turba es Q.0.51 centavos más costoso que un litro de sustrato a base de *Hydrilla*.

El costo por litro de turba se estimó según el precio de una paca de 5 pies cúbicos, equivalentes a 141.6 litros con un costo de Q170.00 a la fecha de terminar el ensayo.

Para estimar los ingresos que se obtendrían al vender el sustrato elaborado, se asumió un precio de venta menor al de un litro de turba, asignando un precio de Q.1.00 por litro de sustrato elaborado.

Cuadro 2.14 Ingresos brutos estimados por la venta de los sustratos elaborados a base de residuos de *Hydrilla verticillata*.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	CANTIDAD (litros)	PRECIO UNITARIO DE VENTA/LITRO (Q.)	TOTAL DE INGRESO (Q)
Sustrato a base de <i>Hydrilla verticillata</i>	822.59	1.0	822.59

Cuadro 2.15 Estimación de los indicadores rentabilidad y relación beneficio costo para Los sustratos elaborados a base de *Hydrilla verticillata*.

INGRESO BRUTO	Q. 822.59
COSTOS TOTALES	Q. 573.52
INGRESO NETO	Q. 249.07

RENTABILIDAD	RELACIÓN B/C
43.42%	1.43

El valor de la rentabilidad calculada es razonable, debido a que se considera un mínimo de 30% como valor adecuado para que un proyecto sea factible. La relación beneficio costo supera la unidad, lo cual indica que se obtienen beneficios con la utilización de este

material, indicando que se obtienen 43 centavos de utilidad por cada quetzal que se invierta en elaborar un sustrato a base de *Hydrilla*.

Más aun de la utilidad que puede obtenerse al utilizar residuos de *Hydrilla* como sustrato, los beneficios sociales y ambientales que se obtienen son mucho más importantes y de impacto, por lo que utilizar materiales locales alternativos y que puedan sustituir gradualmente a la turba es posible.

2.8 CONCLUSIONES

1. Las dieciséis combinaciones de residuos de *Hydrilla verticillata* y perlita presentaron propiedades físicas, químicas y biológicas muy parecidas entre sí, destacándose a manera general los residuos degradados en 30 días y combinados en proporción 85% y 15% respectivamente (H30-85-15), siendo este sustrato el que presentó mayor similitud con la turba de *Sphagnum*.

2. En relación al efecto de las dieciséis combinaciones de *Hydrilla verticillata* y perlita en la producción de plántulas de chile pimiento, el tratamiento que presentó mayor estabilidad, y similitud a la turba de *Sphagnum* en la mayoría de variables medidas, fue el sustrato con 30 días de degradación combinado con 15% de perlita H30-85-15, siendo el mejor en ocho de nueve variables evaluadas durante el crecimiento vegetativo del cultivo.

3. Económicamente todos los sustratos elaborados a base de *Hydrilla verticillata* son cincuenta y un centavos más baratos por cada litro, que la turba comercial de *Sphagnum*, por lo cual puede utilizarse como sustrato alternativo cualquiera de ellos obteniéndose mejores plántulas de chile pimiento en el sustrato con 30 días de degradación combinado con 15% de perlita H30-85-15.

4. Según los tratamientos evaluados y bajo las condiciones y metodología utilizadas, el mejor sustrato para sustituir a la turba fue la combinación de *Hydrilla verticillata* degradada en 30 días y perlita en proporciones 85% *Hydrilla* y 15% perlita.

2.9 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar porcentajes mayores al 15% de perlita para determinar el efecto en la disminución de la densidad aparente y el aumento en la capacidad de aireación de los sustratos elaborados con residuos de *Hydrilla verticillata*.
2. Es recomendable evaluar los sustratos a base de residuos de *Hydrilla verticillata* utilizando bandejas con celdas de menor tamaño y con cultivos que presenten un desarrollo radicular más agresivo que chile pimiento, esto podría mejorar la compactación y la resistencia al golpe de los pilones.
3. Se recomienda evaluar diferentes frecuencias de riego sobre las combinaciones de estos sustratos para determinar efectos de desecación o exceso de humedad.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

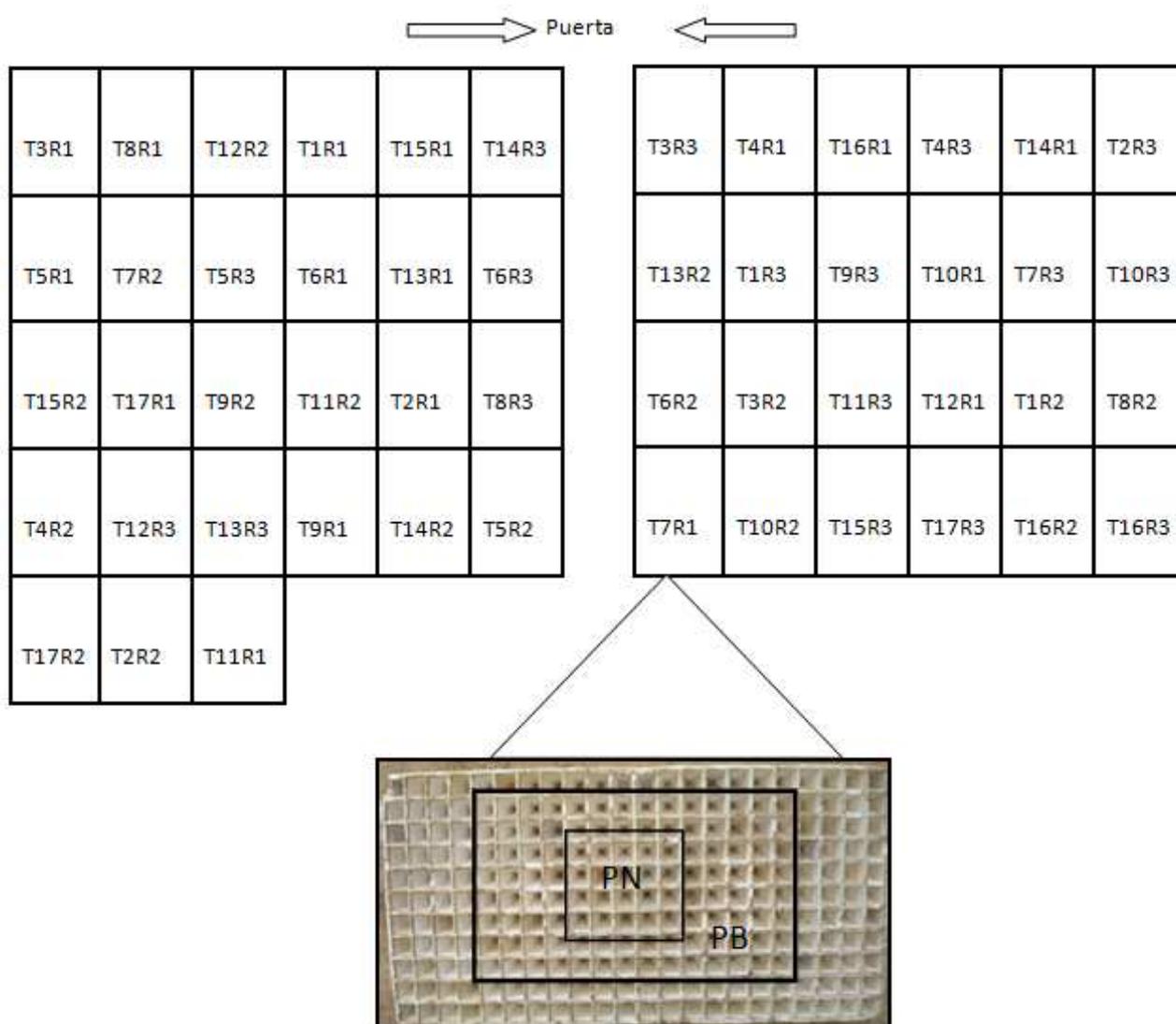
1. Abad, M. 1991. Los sustratos en horticultura y las técnicas de cultivo sin suelo en la horticultura española en la CE. Eds. L. Rallo y F. Nuez. España, Reus. p. 270-280. (Ediciones de Horticultura).
2. Abad, M; Martínez, PF; Martínez, MD; Martínez, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11:141-154.
3. Abad, M; Noguera, P; Noguera, V. 1996. Turbas para semilleros. *In Jornadas sobre semillas y semilleros hortícolas* (2, 1996, ES); Congreso y jornadas, 35/96. Sevilla, España, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. p. 79-101.
4. 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. Guatemala. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. 74 p.
5. Bunt, A. C. 1998. Media and mixes for container-grown plants. 2 ed. London, Unwin Hyman Ltd. 309 p.
6. Burés, S. 1997. Sustratos. Madrid, España, Aerotécnicas. 342 p.
7. Cadahia López, C. 2000. Fertirrigación; cultivos hortícolas y ornamentales. 2 ed. España, Mundi-Prensa. 475 p.
8. Calderón Muller, KE. 2004. Evaluación de sustratos para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* híbrido Elios) en recipientes, bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 68 p.
9. Castro Reinoso, EV. 1998. Evaluación de sustratos para semillero de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) en bandejas plásticas para transplante en pilón, Cobán, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Cobán, Guatemala, USAC, CUNOR. 56 p.
10. Chinchilla Izaguirre, MF. 1999. Evaluación de mezclas de sustratos para la producción de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica) en piloncito en Nebaj, Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 30 p.
11. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT); OTECBIO (Oficina Técnica de Biodiversidad, GT). 2006. Proyecto F21/2003: informe consolidado de acciones institucionales en el control de la *Hydrilla verticillata* en del lago de Izabal, Parque Nacional Río Dulce y otras regiones del país. Guatemala. 21 p.
12. 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.

13. Domínguez Barco, SJ. 2000. Diagnostico del nivel tecnológico empleado en la producción de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica) en la finca Labor Elisa, San Miguel El Tejar, Chimaltenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 38 p.
14. Drogue de Velásquez, E. 1997. Evaluación de cinco sustratos para la realización de semilleros de tomate (*Lycopersicum esculentum* var. Roma Gigante), en bandejas de plástico para transplante en pilón. Tesis Ing. Agr. Cobán, Guatemala, USAC, CUNOR. 42 p.
15. Emينو, E; Warman, P. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization* 12(4):342-348.
16. Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. *In* Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Eds. F Cánovas y JR Díaz. Almería, España, IEA / FIAPA. p. 261-297.
17. Estrada Alarcón, RE. 2003. Caracterización de sustratos orgánicos e inorgánicos a nivel de región en Guatemala y su efecto en el rendimiento de hortalizas en cultivo hidropónico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 75 p.
18. FAO, IT. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Rome, Italia. 188 p. (FAO Plant Production and Protection Paper no. 101).
19. FIPA (Proyecto de Fortalecimiento en Políticas Ambientales, GT). 2003. Estudio de impacto ambiental para la aplicación de medidas de control y mitigación de la especie invasora *Hydrilla verticillata* en Izabal. Guatemala. 113 p.
20. Franco, JA. 2001. Los sustratos hortícolas en la región de Murcia. España, Agrícola Vergel. p. 376-384.
21. González Sotz, BE. 2004. Evaluación de seis mezclas de sustratos para la producción de plántulas de brócoli (*Brasica oleracea* var. Itálica) en pilón, en la aldea Despoblado, Camotán, Chiquimula, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 35 p.
22. Grez, R; Gerding, V; Henríquez, M. 1990. Utilización de aserrín como aditivo para mejorar la dinámica de elementos nutritivos en el suelo. *In* Congreso nacional de la ciencia del suelo (1990, ES). Memorias. Temuco, España, Mundi-Prensa. p.173-176
23. Handreck, KA; Black, ND. 1991. Growing media for ornamental plants and turf. Kensington, New South Wales, US, University Press. 401 p.
24. IFAS, 1990. Center for Acuatic Plants. University of Florida, Gainesville, Estados Unidos. 22 p.
25. Koranski, DS. 2004. Recomendaciones generales para producción de plántulas (en línea). Estados Unidos. Consultado 19 ago 2007. Disponible en <http://www.faxsa.com.mx/submen01.htm>

26. Langeland, KA. 1996. *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle (Hydrocharitaceae), the perfect weed. *Castañeda* 61:293-304.
27. Marchorro Ponce, MR. 1999. Evaluación de siete sustratos para el transplante en pilón de lechuga (*Lactuca sativa* variedad Salinas), Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, CUNOR. 56 p.
28. Marfa, O; Martínez, A; Orozco, R; Serrano, L; Martínez, FX. 1993. The use of fine-grade perlites in lettuce bag cultures: II physical properties, rheologic effects and productivity. *Acta Horticulturae* 3(42):339-348.
29. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2006. Mapa de puntos de muestreo de *Hydrilla verticillata*, sistema de información ambiental. Guatemala. Esc. grafica 1:30.000. Color.
30. Masaguer, A; López, MC; Ruiz, J. 2006. Producción de planta ornamental en contenedor con sustratos alternativos a la turba. Madrid, España, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. 169 p.
31. Moinereau, J; Hermann, P; Favrot, JC; Reviere, LM. 1987. Les substrats-inventaire, caracteristiques, ressources. *In* Les cultures hors sol. 2 ed. París, Francia, Institut National de la Recherche Agronomique. p. 15-77.
32. Orquin, R; Abad, M; Noguera, P; Puchades, R; Maquieira, A. 2001. Composting of mediterranean seagrass and seaweed residues with yard waste for horticultural purposes. *Acta Horticulturae* 5(49):29-35.
33. Ortega, MC; Moreno, MT; Ordovas, J; Aguado, MT. 1996. Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia Horticulturae* 66:125-132.
34. Penningsfeld, F; Kurzmann, P. 1983. Cultivos hidropónicos y en turba. 2 ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. 343 p.
35. Raviv, M; Chen, Y; Inbar, T. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants. *In* The role of organic matter in modern agriculture. Eds. Y Chen y Y Avnimelech. Dordrecht, Países Bajos, Martinus Nijhoff. p. 257-287.
36. 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* 5(2):61-66.
37. Strasburger, E; Noll, F; Schenk, H; Schimper, AFW; Von Denffer, D; Ehrendorfer, F; Bresinsky, A; Ziegler, H. 1986. Tratado de botánica. 7 ed. Barcelona, España, Marín. 1,098 p.

38. Tiquia, SM. 2000. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig on litter system. *In* Warman, PR y Taylor, BR (eds.). Proceedings of the international composting symposium (2000, NS). Truro, Suiza, Secretaria de la Convesion Ramsar. p. 625-647.
39. USIG (Unidad de Sistemas de Información Geográfica, GT). 2008. Mapa de ubicación del municipio de El Tejar, Chimaltenango, Guatemala, USAC. Esc. grafica 1:40.000. Color.
40. Urrestarazu, M; Salas, MC. 2004. Sistemas con sustrato y recirculación de la solución nutritiva. *In* Urrestarazu, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3 ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. p. 369-422.
41. Verdonck, O. 2004. Growing media and the environmental impact. *In* Jornadas del grupo de sustratos de la SECH (7, 2004, ES). Libro de resúmenes. San Fernando de Henares, Madrid, España, Mundi-Prensa. p. 22-32.

ANEXO II.1

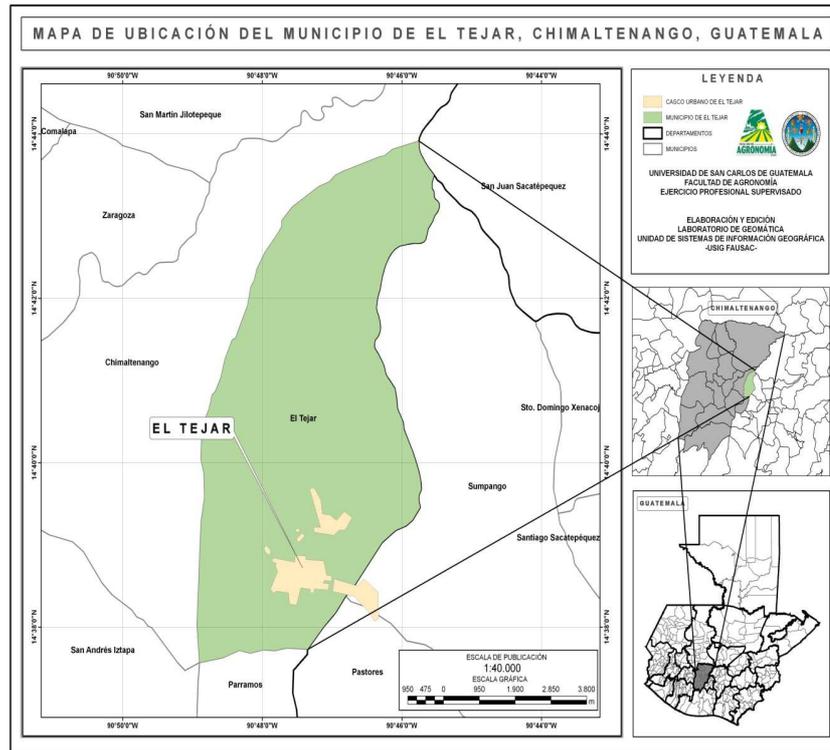


Tratamiento - Repetición

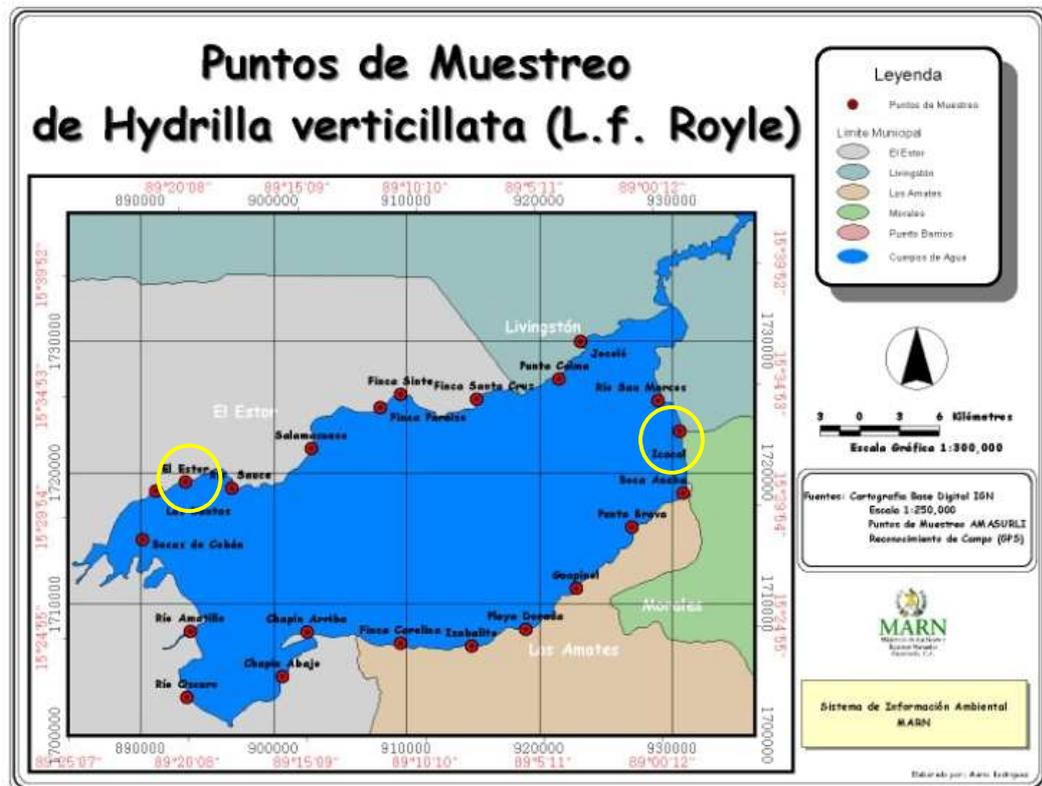
Unidad experimental: Parcela bruta (PB) = 100 plántulas

Parcela neta (PN) = 30 plántulas

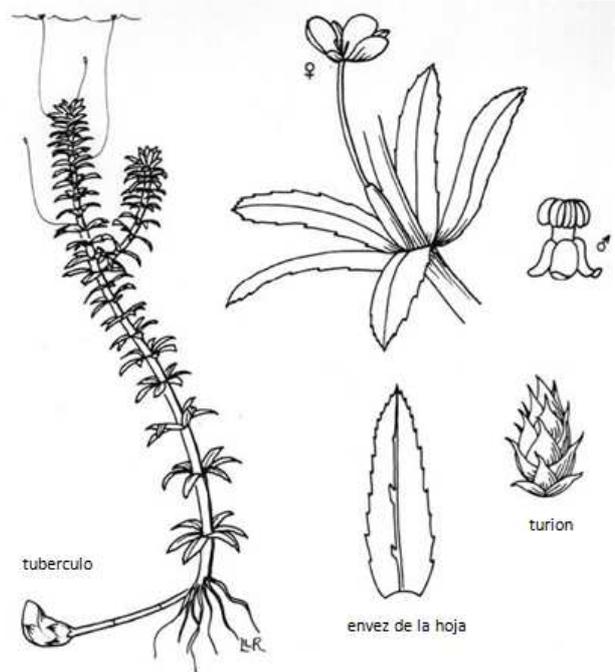
Figura 2.14A. Croquis de campo: Distribución de los tratamientos y unidades experimentales (completamente al azar).



Fuente: USIG
Figura 2.15A. Ubicación geográfica del sitio experimental.

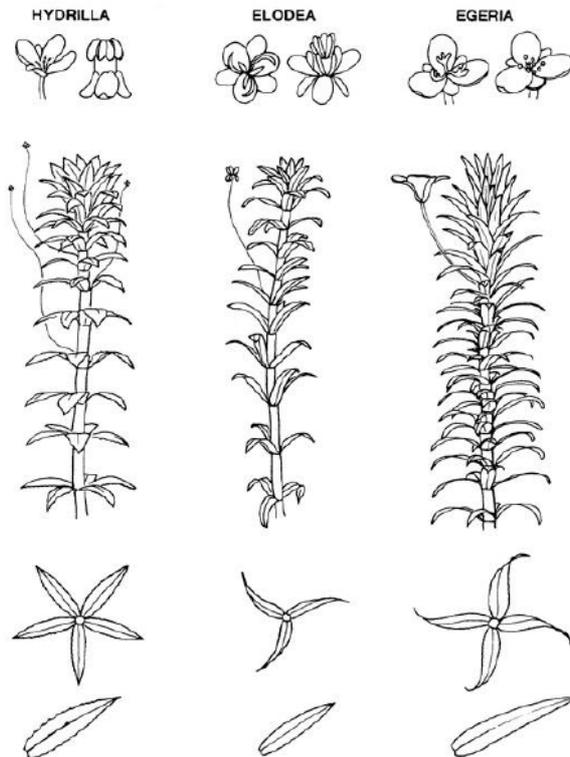


Fuente: MARN
Figura 2.16A. Puntos de muestreo de *Hydrilla verticillata* en el lago de Izabal. Puntos en círculos amarillos corresponden a las áreas de extracción para esta evaluación.



Fuente: IFAS

Figura 2.17A. Características para la identificación de *Hydrilla verticillata*.



Fuente: IFAS

Figura 2.18A. Comparación entre *Hydrilla verticillata* y otras especies similares que normalmente pueden confundirse con *Hydrilla*.



(a)



(b)

Figura 2.19A. (a) Determinación del grado de compactación, (b) resistencia al golpe de los pilones, al momento de extraerlos de la bandeja.



(a)

(b)

Figura 2.20A. (a) Pilones de chile pimienta producidos en turba T17 (TS-100). (b) Pilones de chile pimienta producidos en sustrato elaborado con residuos de *Hydrilla* degradados en 30 días y combinados con 15% de perlita T12 (H30-85-15). Puede apreciarse la diferencia entre ambos tratamientos.

ANEXO II.2

Resultados de análisis estadísticos proporcionados por el paquete computacional SAS® System (SAS Institute Inc. Raleigh, NC), versión 6.0

ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA MÚLTIPLE DE MEDIAS PARA LAS VARIABLES RESPUESTA EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE *C. annum* EN PILÓN.

Estos análisis estadísticos (completamente al azar) corresponden a los 17 tratamientos evaluados incluyendo el tratamiento control o turba de *Sphagnum*.

The SAS System

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class Levels Values

TRAT 17 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

Number of observations in data set = 51

1. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN (%)

a. DÍA 12 DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	8905.49019608	556.59313725	16.22	0.0001
Error	34	1166.66666667	34.31372549		
Corrected Total	50	10072.15686275			
	R-Square	C.V.	Root MSE	GER12 Mean	
	0.884169	47.72322	5.85779186	12.27450980	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	8905.49019608	556.59313725	16.22	0.0001*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	46.333	3	17
A			
B A	39.667	3	2
B			
B C	23.333	3	3
C			
D C	17.333	3	7
D			
D C	15.333	3	1

D	C		
D	C	14.333	3 4
D	C		
D	C	13.333	3 8
D	C		
D	C	13.000	3 12
D	C		
D	C	11.667	3 5
D			
D		4.333	3 10
D			
D		3.667	3 15
D			
D		2.000	3 14
D			
D		1.333	3 13
D			
D		1.333	3 11
D			
D		1.000	3 16
D			
D		0.667	3 6
D			
D		0.000	3 9

b. DÍA 14 DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	11569.92156863	723.12009804	6.77	0.0001
Error	34	3630.00000000	106.76470588		
Corrected Total	50	15199.92156863			
	R-Square	C.V.	Root MSE	GER14 Mean	
	0.761183	15.50817	10.33270080	66.62745098	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	11569.92156863	723.12009804	6.77	0.0001*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	84.667	3	17
A			
A	82.333	3	2
A			
A	81.667	3	12
A			
A	80.000	3	7
A			
B	76.667	3	8
B			
B	75.667	3	1
B			
B	71.667	3	3
B			
B	69.667	3	15
B			
B	68.000	3	16
B			
B	67.667	3	6
B			
B	66.667	3	5
B			
B	66.333	3	11
B			
B	59.667	3	10
B			
B	59.333	3	4
B			
B	53.333	3	14
B			
B	47.667	3	13
C	21.667	3	9

c. DÍA 16 DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	3592.31372549	224.51960784	3.70	0.0007
Error	34	2062.66666667	60.66666667		
Corrected Total	50	5654.98039216			
	R-Square	C.V.	Root MSE	GER16 Mean	
	0.635248	9.733715	7.78888096	80.01960784	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	3592.31372549	224.51960784	3.70	0.0007*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	89.000	3	12
A			
A	88.000	3	17
A			
A	88.000	3	2
A			
A	86.000	3	7
A			
A	85.667	3	8
A			
A	83.333	3	6
A			
A	82.667	3	1
A			
A	82.667	3	3
A			
A	81.333	3	15
A			
A	81.000	3	16
A			
A	81.000	3	11
A			
A	80.000	3	4
A			
A	77.333	3	10
A			
A	76.667	3	5
A			
B A	72.667	3	13
B A			
B A	72.667	3	14
B			
B	52.333	3	9

d. DÍA 18 DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	1528.82352941	95.55147059	2.26	0.0227
Error	34	1439.33333333	42.33333333		
Corrected Total	50	2968.15686275			
	R-Square	C.V.	Root MSE	GER18 Mean	
	0.515075	7.709730	6.50640710	84.39215686	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	1528.82352941	95.55147059	2.26	0.0227*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping		Mean	N	TRAT
	A	92.333	3	12
	A			
	A	90.000	3	2
	A			
	A	89.333	3	17
	A			
	A	88.667	3	8
	A			
	A	88.000	3	7
	A			
B	A	86.333	3	3
B	A			
B	A	86.333	3	16
B	A			
B	A	85.333	3	1
B	A			
B	A	84.667	3	15
B	A			
B	A	84.333	3	6
B	A			
B	A	84.333	3	11
B	A			
B	A	84.000	3	4
B	A			
B	A	82.000	3	10
B	A			
B	A	81.333	3	14
B	A			
B	A	80.667	3	5
B	A			
B	A	80.000	3	13
B				
B		67.000	3	9

e. DÍA 20 DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	865.33333333	54.08333333	1.81	0.0713
Error	34	1014.00000000	29.82352941		
Corrected Total	50	1879.33333333			
	R-Square	C.V.	Root MSE	GER20 Mean	
	0.460447	6.325590	5.46109233	86.33333333	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	865.33333333	54.08333333	1.81	0.0713 ^{NS}

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

f. DÍA 22 DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	707.96078431	44.24754902	1.68	0.0997
Error	34	894.66666667	26.31372549		
Corrected Total	50	1602.62745098			
	R-Square	C.V.	Root MSE	GER22 Mean	
	0.441750	5.865790	5.12969058	87.45098039	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	707.96078431	44.24754902	1.68	0.0997 ^{NS}

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

g. DÍA 24 DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	668.74509804	41.79656863	1.84	0.0667
Error	34	772.66666667	22.72549020		
Corrected Total	50	1441.41176471			
	R-Square	C.V.	Root MSE	GER24 Mean	
	0.463951	5.406347	4.76712599	88.17647059	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	668.74509804	41.79656863	1.84	0.0667 ^{NS}

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

2. ALTURA DE PLÁNTULA (cm)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	371.28526275	23.20532892	12.84	0.0001
Error	34	61.46460000	1.80778235		
Corrected Total	50	432.74986275			
	R-Square	C.V.	Root MSE	ALT Mean	
	0.857967	12.99341	1.34453797	10.34784314	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F

TRAT	16	371.28526275	23.20532892	12.84	0.0001 *
------	----	--------------	-------------	-------	----------

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	13.247	3	14
A			
A	13.023	3	13
A			
A	12.997	3	8
A			
A	12.663	3	7
A			
B	12.387	3	12
B			
B	11.963	3	6
B			
B	11.767	3	11
B			
B	11.767	3	16
B			
B	11.293	3	15
B			
B	11.213	3	10
B			
B	10.870	3	9
B			
B	10.657	3	5
B			
B	8.457	3	17
C			
C	6.323	3	2
C			
C	6.060	3	4
C			
C	5.733	3	3
C			
C	5.493	3	1

3. DIÁMETRO EN LA BASE DEL TALLO (cm)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	0.09392941	0.00587059	25.81	0.0001
Error	34	0.00773333	0.00022745		
Corrected Total	50	0.10166275			

	R-Square	C.V.	Root MSE	DIAM Mean	
	0.923931	5.474416	0.01508148	0.27549020	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	0.09392941	0.00587059	25.81	0.0001*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	0.31667	3	13
A			
A	0.31667	3	7
A			
A	0.31000	3	14
A			
B	0.30333	3	12
B			
B	0.30333	3	10
B			
B	0.30333	3	8
B			
B	0.30333	3	6
B			
B	0.30333	3	16
B			
B	0.29667	3	15
B			
B	0.29333	3	11
B			
B	0.28667	3	5
B			
B	0.27667	3	9
B			
B	0.26333	3	17
C	0.20333	3	4
C			
C	0.20333	3	3
C			
C	0.20000	3	2
C			
C	0.20000	3	1

4. PESO FRESCO DEL SISTEMA RADICULAR (g)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	321.14588235	20.07161765	3.59	0.0009
Error	34	190.16280000	5.59302353		
Corrected Total	50	511.30868235			

	R-Square	C.V.	Root MSE	PFR Mean	
	0.628086	22.45798	2.36495741	10.53058824	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	321.14588235	20.07161765	3.59	0.0009*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	14.643	3	15
A			
B A	13.230	3	14
B A			
B A	13.227	3	6
B A			
B A	12.753	3	12
B A			
B A C	12.283	3	16
B A C			
B A C	12.283	3	10
B A C			
B A C	11.810	3	11
B A C			
B A C	10.867	3	7
B A C			
B A C	10.867	3	8
B A C			
B A C	10.860	3	17
B A C			
B A C	10.393	3	13
B A C			
B A C	9.447	3	4
B A C			
B A C	8.950	3	5
B A C			
B A C	8.033	3	9
B A C			
B A C	7.560	3	2
B C			
B C	6.617	3	1
C			
C	5.197	3	3

5. PESO FRESCO DE LA PARTE AÉREA COMPLETA (g)

Model	16	6051.61087451	378.22567966	19.71	0.0001
Error	34	652.37860000	19.18760588		
Corrected Total	50	6703.98947451			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PFT Mean	
	0.902688	15.91986	4.38036595	27.51509804	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	6051.61087451	378.22567966	19.71	0.0001*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N
TRAT		
A	41.107	3 14
A		
A	37.327	3 13
A		
A	36.380	3 6
A		
A	35.910	3 12
A		
A	34.493	3 8
A		
A	34.490	3 15
A		
A	33.547	3 7
A		
A	33.543	3 5
A		
A	33.073	3 11
A		
A	32.603	3 9
A		
B	30.240	3 10
B		
B	27.877	3 16
B		
B	17.957	3 17
C		
C	11.813	3 4
C		
C	9.920	3 1
C		
C	8.973	3 3
C		
C	8.503	3 2

6. CONTENIDO DE MATERIA SECA DEL SISTEMA RADICULAR (%)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	261.85303137	16.36581446	1.21	0.3123
Error	34	461.27546667	13.56692549		
Corrected Total	50	723.12849804			
	R-Square	C.V.	Root MSE	MSR Mean	
	0.362111	27.47347	3.68333076	13.40686275	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	261.85303137	16.36581446	1.21	0.3123 ^{NS}

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

7. CONTENIDO DE MATERIA SECA DE LA PARTE AÉREA COMPLETA (%)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	100.05321569	6.25332598	3.47	0.0011
Error	34	61.35566667	1.80457843		
Corrected Total	50	161.40888235			
	R-Square	C.V.	Root MSE	MST Mean	
	0.619874	8.406111	1.34334598	15.98058824	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	100.05321569	6.25332598	3.47	0.0011*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	19.060	3	17
A			
B A	18.320	3	3
B A			
B A C	17.620	3	2
B A C			
B A C	17.237	3	10
B A C			

B	A	C	17.070	3	16
B	A	C			
B	A	C	16.493	3	1
B	A	C			
B	A	C	16.307	3	8
B	A	C			
B	A	C	15.850	3	7
B	A	C			
B	A	C	15.257	3	15
B	A	C			
B	A	C	15.220	3	12
B	A	C			
B	A	C	15.193	3	11
B	A	C			
B	A	C	15.117	3	6
B		C			
B		C	14.940	3	13
B		C			
B		C	14.817	3	5
B		C			
B		C	14.510	3	9
B		C			
B		C	14.470	3	4
		C			
		C	14.190	3	14

8. RELACIÓN PARTE AÉREA/SISTEMA RADICULAR (%)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	4.28272941	0.26767059	2.95	0.0039
Error	34	3.08333333	0.09068627		
Corrected Total	50	7.36606275			
	R-Square	C.V.	Root MSE	RTR Mean	
	0.581414	23.44409	0.30114162	1.28450980	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	16	4.28272941	0.26767059	2.95	0.0039*

*Significancia estadística; ^{NS}No existe significancia estadística

Prueba múltiple de medias (TUKEY $\alpha = 0.05$)

Tukey Grouping		Mean	N	TRAT
	A	1.9500	3	2
	A			
B	A	1.8233	3	17
B	A			
B	A C	1.6267	3	1
B	A C			
B	A C	1.4633	3	15
B	A C			
B	A C	1.4300	3	16
B	A C			
B	A C	1.3933	3	4
B	A C			
B	A C	1.2933	3	3
B	A C			
B	A C	1.2333	3	10
B	A C			
B	A C	1.1633	3	14
B	A C			
B	A C	1.1633	3	12
B	A C			
B	A C	1.1600	3	6
B	A C			
B	A C	1.1567	3	7
B	A C			
B	A C	1.1133	3	11
B	C			
B	C	1.0233	3	8
B	C			
B	C	0.9933	3	9
B	C			
B	C	0.9867	3	13
	C			
	C	0.8633	3	5



3.1 PRESENTACIÓN

Los servicios con los cuales se contribuyó al desempeño y ejecución del proyecto, se enfocaron principalmente en la solución de los problemas planteados en el diagnóstico. El primer servicio, consistió en la implementación de un sistema de riego por goteo y un equipo de fertirrigación para los tres invernaderos ubicados en el área de investigación del Centro Experimental Docente de Agronomía. La implementación de un adecuado sistema de riego era indispensable para ejecutar la fase de producción de cultivos en hidroponía, siendo esta la única fase pendiente de ejecutar en el proyecto.

El segundo servicio, consistió en proporcionar el manejo técnico a la fase de producción del cultivo de tomate en hidroponía, comprendida desde la preparación del sustrato hasta la cosecha de 51 unidades experimentales.

En el tercer servicio, se efectuó la renovación del área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura, con este servicio se logró reestructurar principalmente el sistema de 4 bancales, adecuar las calles entre los bancales y reducir la acumulación de agua en el suelo del invernadero.

El cuarto servicio consistió en llevar el manejo administrativo del proyecto durante su periodo de ejecución, consistiendo principalmente en liquidaciones quincenales de planillas para trabajadores de campo, liquidaciones de viáticos, trámites de reembolsos mediante liquidación de facturas por compra de insumos de producción, cotizaciones y compra de materiales de construcción, gestiones ante instituciones como AGROCYT para desembolsos y apertura de renglones presupuestarios, gestión ante la Facultad de Agronomía para aprobación de gastos y entrega de informes de avances trimestrales ante la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, entre otros oficios.

En el quinto servicio, se realizó la implementación de equipo portátil de laboratorio (potenciómetro y conductivímetro) necesario para la medición de propiedades químicas de sustratos y agua de riego como pH y conductividad eléctrica. También se implementó equipo de producción principalmente bombas de mochila y bombas con motor para facilitar

el control de plagas y enfermedades, así como la implementación de una balanza monóplato semianalítica necesaria en la estimación del peso exacto de fertilizantes usados en las soluciones nutritivas.

Se realizaron otras actividades que contribuyeron a que el proyecto AGROCYT 017-2006 tuviera un impacto positivo entre el sector estudiantil y el sector profesional de las principales universidades y empresas agrícolas de la ciudad capital, entre estas se pueden mencionar el apoyo docente de campo a estudiantes de cursos de Edafología I y II, Fertilidad de Suelos y prácticas agronómicas, todos impartidos en la Facultad de Agronomía. Además se organizó el curso de “diseño de riego por goteo y requerimientos hídricos de los cultivos bajo Invernadero” impartido por expertos de la república de Cuba, con duración de 20 horas efectivas logrando una asistencia de 60 personas, para lo cual se realizaron actividades como divulgación, realización de trifoliales y diplomas de participación.

3.2 SERVICIO 1: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y UN EQUIPO DE FERTIRRIGACIÓN

3.2.1 Objetivos

A. General

Implementar un sistema de riego y fertirrigación que permita hacer uso eficiente del agua y los fertilizantes.

B. Específicos

- a. Proporcionar una lámina adecuada de agua y cantidad de fertilizante, a las plantas de tomate evaluadas en hidroponía.
- b. Establecer una unidad de riego modelo para la capacitación de estudiantes relacionados con el sector agrícola. Café

3.2.2 Metodología

A. Gestión y licitación

Para la implementación del sistema, se realizó la gestión de los fondos para su adquisición, ésta se hizo ante la Fundación para la Innovación Tecnológica Agrícola y Forestal (FUNDIT), institución encargada de administrar los fondos asignados por el AGROCYT.

Debido a la cantidad de dinero que se requirió para la compra del sistema de fertirrigación y sistema de riego, fue necesario convocar a licitación por varias empresas en la página de internet GUATECOMPRAS, esto con el objeto de obtener la mejor oferta en cuanto a precio y características de los sistemas.

B. Instalación

Una vez adquiridos los sistemas, se solicitó asesoría a la empresa proveedora para la instalación en los tres invernaderos del área de investigación del Centro Experimental Docente de Agronomía. Para la instalación del sistema se colocaron tubos de PVC de 2 pulgadas a lo largo y en uno de los lados de cada invernadero (figura 3.2), a estos tubos se conectaron adaptadores y luego las mangueras de polietileno negro, las cuales se colocaron a lo largo de cada canal (figura 3.3). Posterior a esto se perforó la manguera y se introdujeron los goteros, cada uno con sus respectivos manifolds, espaguetis y estacas, las que llevan finalmente la cantidad de agua y solución nutritiva a las raíces de la planta.

Para todo este proceso se contó con el apoyo de estudiantes voluntarios y de diferentes cursos de la Facultad de Agronomía, quienes contribuyeron en cada paso para establecer el sistema de riego.

3.2.3 Resultados

El sistema de riego por goteo se instaló en un área de 1,800 m², constituida por 3 invernaderos, cada uno de 600 m².

A cada invernadero se le instalaron 20 laterales (1.40 m entre mangueras), haciendo un total de 60 surcos con goteros auto compensados con un caudal de 2 l/h ubicados a un espaciamiento de 0.6 m, regando con cada gotero 2 plantas debido al sistema de espaguetis. En total se instaló un sistema con capacidad para regar de manera eficiente y simultáneamente 3,060 plantas.

El sistema de fertirriego o fertikit PB está basado en el método de inyección directa y es una unidad dosificadora de fertilizantes diseñada para suministrar una simple solución a la fertirrigación, está integrado con controlador de riego NMC-PRO y monitor EC/Ph que provee un avanzado control de fertirrigación, además tiene la capacidad de monitorear constantemente el caudal descargado y la variación del pH y la conductividad eléctrica (1).



Figura 3.1 Materiales para la instalación del sistema de riego por goteo.



Figura 3.2 Distribución de la tubería lateral para la instalación del sistema de riego por goteo.



Figura 3.3 Instalación de laterales del sistema de riego por goteo.



Figura 3.4 Equipo de fertirrigación automatizado (fertikit PB).

3.2.4 Evaluación

La evaluación se realizó a través de la supervisión de todos los laterales, enfocándose principalmente en determinar el caudal tanto del primero como del último emisor en cada canal, para asegurar la descarga uniforme en todas las plantas. A través de la supervisión constante se verificó el éxito de la implementación del sistema de riego por goteo, pudiéndose observar un desarrollo adecuado de todas las plantas de tomate establecidas dentro del invernadero. Actualmente este sistema forma parte de las áreas de realización de prácticas estudiantiles, contribuyendo en la enseñanza de nueva tecnología.



Figura 3.5 Supervisión del funcionamiento del sistema de riego por goteo.

3.3 SERVICIO 2: MANEJO TÉCNICO DE LA FASE DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE TOMATE EN SISTEMA HIDROPÓNICO

3.3.1 Objetivos

A. General

Proporcionar el manejo técnico de la fase de producción del cultivo de tomate en hidroponía, comprendida desde la preparación del sustrato hasta la cosecha.

B. Específicos

- a. Acondicionar las bolsas con sustrato a base de residuos de *Hydrilla* correspondientes a las unidades experimentales de la fase de cultivo hidropónico.
- b. Realizar el transplante de los pilones a las unidades experimentales y proporcionar las principales prácticas de cultivo.
- c. Cuantificar el rendimiento de frutos de tomate por planta de las 51 unidades experimentales.

3.3.2 Metodología

A. Acondicionamiento de bolsas con sustrato

El acondicionamiento de las bolsas inició con la preparación del sustrato, esta actividad se realizó mezclando en proporción volumen/volumen residuos de *Hydrilla* sin degradar y degradados en 15, 30 y 45 días con tres porcentajes de arena pómez 10%, 20% y 30%, constituyendo la mezcla de ambos materiales los tratamientos evaluados en el rendimiento del cultivo de tomate. El cuadro 3.1 muestra las diferentes mezclas de estos materiales, utilizando como comparador la turba de *Sphagnum* (2).

Cuadro 3.1 Tratamientos evaluados en la fase de rendimiento del cultivo de tomate en hidroponía.

Tratamiento	Código	Descripción
1	H0	Hydrilla sin degradar 100%
2	H0	Hydrilla sin degradar 90% - Arena pómez 10%
3	H0	Hydrilla sin degradar 80% - Arena pómez 20%
4	H0	Hydrilla sin degradar 70% - Arena pómez 30%
5	H15	Hydrilla con 15 días de degradación 100%
6	H15	Hydrilla con 15 días de degradación 90% - Arena pómez 10%
7	H15	Hydrilla con 15 días de degradación 80% - Arena pómez 20%
8	H15	Hydrilla con 15 días de degradación 70% - Arena pómez 30%
9	H30	Hydrilla con 30 días de degradación 100%
10	H30	Hydrilla con 30 días de degradación 90% - Arena pómez 10%
11	H30	Hydrilla con 30 días de degradación 80% - Arena pómez 20%
12	H30	Hydrilla con 30 días de degradación 70% - Arena pómez 30%
13	H45	Hydrilla con 45 días de degradación 100%
14	H45	Hydrilla con 45 días de degradación 90% - Arena pómez 10%
15	H45	Hydrilla con 45 días de degradación 80% - Arena pómez 20%
16	H45	Hydrilla con 45 días de degradación 70% - Arena pómez 30%
17	PM	Peat-moss

Se establecieron 3 repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 51 unidades experimentales, cada una constituida por una bolsa con 5 litros de sustrato.

Después de llenadas las bolsas con su respectiva mezcla, se colocaron en dos canales dentro de uno de los invernaderos.

B. Transplante de pilones e inicio de prácticas de cultivo

El transplante de los pilones de tomate variedad Titán, se efectuó después de haber humedecido adecuadamente el sustrato, posterior a su transplante se efectuó un riego profundo para garantizar el pegue de los mismos. A los 20 días del transplante se realizó el tutoreado para favorecer el crecimiento vertical de las plantas, se realizaron fertilización cada 7 días durante 4 meses aplicando en forma alterna fertilizantes como: 15-15-15, 10-50-0 y nitrato de calcio (CaNO_3). Se realizaron semanalmente podas de hojas bajas, brotes laterales y podas de flor, con el objetivo de obtener un buen rendimiento.

C. Medición del rendimiento del cultivo de tomate en hidroponía

La primera cosecha se realizó a los 4 meses de efectuado el transplante, realizandose los primeros 2 cortes con frecuencia de 7 días. Para medir el rendimiento semanalmente se cosecharon los frutos de cada planta que presentaron una coloración verde amarillenta, indicativo del inicio de la maduración de los frutos. El peso de los frutos se efectuó por separado, obteniendo un dato por cada unidad experimental.

De acuerdo al período de tiempo planificado dentro del Ejercicio Profesional Supervisado solo se realizaron los primeros dos cortes, obteniendo únicamente resultados preliminares, debido a esto no se efectuó ningún análisis estadístico para determinar el mejor tratamiento.

3.3.3 Resultados

Se realizaron 16 mezclas de residuos de *Hydrilla verticillata* y arena pómez en diferentes proporciones, lo cual constituyó cada uno de los tratamientos. Con las mezclas realizadas se llenaron 51 bolsas de polietileno negro con capacidad de 5 litros de sustrato cada una.

Con la implementación del sistema de riego por goteo se logró un riego adecuado de las bolsas previo a realizar el transplante, garantizando con ello un buen desarrollo radicular inicial.

Las prácticas de cultivo como tutoreo, podas, fertilizaciones se realizaron de manera adecuada, producto de ello fue un buen desarrollo de la planta alcanzado a los 4 meses de cultivo una altura promedio de 2.3 m. e iniciando en este mismo periodo de tiempo el cuaje de los primeros frutos.

La poda de flores permitió manejar racimos estándar en cuanto al número de frutos, siendo estos de 5 frutos por racimo. La poda de brotes también permitió el manejo de un solo eje o tallo. Con estas prácticas se logró un buen desarrollo tanto de la planta como de los frutos.



Figura 3.6 Acondicionamiento de bolsas con sustrato a base de *Hydrilla verticillata* y arena pómez dentro del invernadero.



Figura 3.7 Transplante y tutoreo de plántulas de tomate variedad Titán.



Figura 3.8 Desarrollo de las plantas y cuajado de los primeros frutos de tomate.



Figura 3.9 Cuajado y desarrollo de frutos de tomate.



Figura 3.10 Pesado de frutos correspondientes a los primeros dos racimos.

3.3.4 Evaluación

Debido a que la maduración de los frutos iniciaba al momento de finalizar el Ejercicio Profesional Supervisado, no se concluyó la toma de datos ni se realizó análisis estadístico, para encontrar el mejor tratamiento, siendo el investigador principal del proyecto el responsable de tomar los últimos datos. El cuadro 3.2 muestra el rendimiento obtenido para cada tratamiento, rendimiento que se obtuvo en las primeras dos cosechas de fruto, equivalentes a los primeros racimos madurados a los 4 meses del transplante.

Este servicio no se concluyó en un 100% de su totalidad, habiéndose ejecutado el 75% del mismo, quedando pendiente la cosecha de aproximadamente 4-5 racimos.

Cuadro 3.2. Rendimiento por tratamiento obtenido en la primera y segunda cosecha de frutos.

TRATAMIENTO	NÚMERO DE FRUTOS SEGÚN CALIDAD			PESO TOTAL POR TRATAMIENTO (lbs.)
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	
T1	4	10	6	6.9
T2	2	6	4	6.9
T3	4	4	4	3.0
T4	2	2	4	6.0
T5	2	8	3	2.7
T6	2	4	2	2.1
T7	2	2	3	1.8
T8	1	1	7	1.4
T9	4	4	2	2.4
T10	2	4	10	4.9
T11	2	6	8	2.7
T12	1	4	4	1.8
T13	4	6	2	2.7
T14	6	2	4	3.3
T15	2	6	6	4.2
T16	2	6	8	6.3
T17	4	6	2	3.0

3.4 SERVICIO 3: RENOVACIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PILONES DE LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA

3.4.1 Objetivos

A. General

Renovar el área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura.

B. Específicos

- a. Reestructurar los cuatro bancales para mejorar el soporte de las bandejas.
- b. Reducir el exceso de acumulación de agua en el suelo del invernadero.

3.4.2 Metodología

A. Reestructuración de bancales

Inicialmente los bancales estaban fabricados de marcos de madera, los cuales con el paso del tiempo sufrieron daños, provocando en algunas ocasiones el desplome de bandejas debido al peso y al poco soporte de estas estructuras. Para la reestructuración de los cuatro bancales se comenzó retirando los fabricados con madera, cuando se tuvo limpia la parte interna del invernadero (400 m²) se procedió a realizar agujeros para colocar los marcos contruidos con tubos galvanizados, estos fueron colocados a un distanciamiento de 1.6 m ubicando 6 marcos con dimensiones de 1.5 m. de largo y 0.5 m. de alto por bancal.

Posteriormente y con todos los marcos colocados, se procedió a la construcción de 8 zapatas, 2 por cada bancal ubicadas en los extremos de estos, lo cual permitió tensar el alambre galvanizado colocado por encima de los marcos para el soporte de las bandejas.

B. Reducción de la acumulación de agua en el suelo del invernadero

Anteriormente el suelo del invernadero del área de producción de pilones, no contaba con cobertura, facilitando la acumulación del exceso de agua drenada por las bandejas, propiciando condiciones para el desarrollo de hongos y el crecimiento de algas en el suelo.

Este problema se solucionó mediante el cementado de las calles o espacios entre bancales, así como los espacios ubicados en los cuatro lados del invernadero. También se colocó una capa de 0.03 m. de piedrín por debajo de los bancales para evitar la acumulación de agua.

3.4.3 Resultados

Se logró la renovación de los 4 bancales que constituyen el área de producción de pilones de la Escuela Nacional Central de Agricultura, cambiando la estructura de madera por estructuras de metal, garantizando una mayor vida útil y reduciendo las probabilidades de perder plántulas por el mal soporte de las bandejas.

La reducción de acumulación de agua en el suelo del invernadero, se logró con el cementado de 4 calles entre bancales y de los cuatro lados del invernadero, facilitando también la circulación del personal en la colocación y riego de las bandejas.



Figura 3.11 Estado anterior del área de producción de pilones.



Figura 3.12 Cementado de espacios entre bancales.



Figura 3.13 Colocación de marcos galvanizados para la construcción de bancales.

3.4.4 Evaluación

Para la evaluación de este servicio, se realizaron supervisiones diarias del avance del trabajo y con ello evitar cualquier contratiempo. Finalmente se evaluó la tensión de cada alambre galvanizado así como de la firmeza de los marcos, con el objetivo de evitar cualquier caída de las bandejas.

La reestructuración de los bancales se concluyó en 40 días, obteniendo un 100% del área interna del invernadero renovada.



Figura 3.14 Estado actual del área de producción de pilones.

3.5 SERVICIO 4: MANEJO ADMINISTRATIVO DEL PROYECTO AGROCYT 017-2006 DURANTE SU PERIODO DE EJECUCIÓN

3.5.1 Objetivos

A. General

Efectuar el manejo administrativo del proyecto durante su período de ejecución agosto 2007 a mayo 2008.

B. Específicos

- a. Realizar trámites de liquidaciones de planillas, reembolsos, viáticos, cotizaciones y compra de materiales e insumos.
- b. Gestionar los desembolsos necesarios y aprobación de gastos realizados mensualmente.

3.5.2 Metodología

Las liquidaciones se realizaron utilizando diferentes formatos proporcionados por la Fundación para la Innovación Tecnológica y Forestal, con el fin de mantener toda la papelería en orden.

Las liquidaciones de planilla se realizaron quincenalmente, incluyendo los datos personales del trabajador de campo, el monto a pagar y la aprobación del investigador principal. La liquidación de reembolsos se realizó cada final de mes, en esta se incluían todos los gastos efectuados durante el mes, en cuanto a materiales e insumos necesarios para la ejecución de proyecto, incluyendo datos del proveedor, número de factura, fecha, tipo de renglón al que perteneciera el gasto y el total. Estas liquidaciones eran aprobadas por el investigador principal y por la directora administrativa de la fundación. Los viáticos eran menos frecuentes pero constituían parte fundamental, debido a que mediante estos

se tuvo la oportunidad de conocer empresas y adoptar nuevas ideas. Todas las liquidaciones se presentaron en las oficinas centrales de la FUNDIT.

La gestión y aprobación de gastos, se realizó ante la decanatura de la Facultad de Agronomía y el AGROCYT, presentando cedulas de gastos y liquidación mensualmente.

3.5.3 Resultados

Se realizaron 10 liquidaciones de cédulas de gastos, 20 liquidaciones de planillas de mano de obra, 10 liquidaciones de gastos, 6 liquidaciones de viáticos en el interior y 3 en el exterior del país, 10 cotizaciones y la compra de insumos como abonos y fertilizantes, insecticidas y fumigantes, productos de metal, productos de materiales no metálicos y productos de madera entre otros, todos estos para la ejecución del proyecto.

3.5.4 Evaluación

La evaluación de este servicio fue satisfactoria, presentando todos los documentos debidamente identificados y con el visto bueno del investigador principal, por lo que no se presentaron inconvenientes ante la Fundación para la Innovación Tecnológica Agrícola y Forestal, encargada de administrar los fondos del proyecto.

3.6 SERVICIO 5: IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DE LABORATORIO Y EQUIPO DE PRODUCCIÓN

3.6.1 Objetivos

A. General

Implementar equipo de laboratorio y de producción que contribuyan en la determinación de propiedades químicas fundamentales, además de facilitar las actividades de manejo del cultivo.

B. Específicos

- a. Implementar equipo de medición de pH y conductividad eléctrica para sustratos y agua de riego.

- b. Implementar equipo de aplicación de fungicidas, insecticidas y fertilizaciones foliares en el cultivo.

3.6.2 Metodología

Para la implementación de estos equipos, se realizaron cotizaciones en distintas empresa y se gestionaron los fondos para su adquisición. Una vez adquiridos en el caso del equipo de laboratorio portátil, se realizó la calibración mediante soluciones con pH y conductividad eléctrica conocidas.

Para el caso del equipo de aplicación de insecticidas, se realizó una capacitación por parte de técnicos de la empresa proveedora para conocer el funcionamiento de dicho equipo.

3.6.3 Resultados

Se implementó el uso de un potenciómetro (pH) y un conductivímetro (C.E.) portátil, los cuales se utilizaron para la medición de estos importantes parámetros en el sustrato y en el agua de riego.

Se implementó el uso de una bomba de mochila con motor para la aplicación de insecticidas, y dos bombas de mochila sin motor para la aplicación de fertilizantes foliares y de herbicidas, facilitando de esta manera el control de plagas y enfermedades en el cultivo.



Figura 3.15 Potenciómetro y conductivímetro portátil.



Figura 3.16 Implementación de equipo de aplicación de insecticidas, herbicidas y fertilizantes foliares.

3.6.4 Evaluación

Se pudo evaluar mediante el mejoramiento en los valores de pH y conductividad eléctrica presentados en el sustrato de cultivo, debido a que antes de contar con este equipo portátil, se hacía difícil saber el comportamiento de estos valores. Con la implementación del potenciómetro y conductímetro se facilitó el monitoreo en todo el cultivo, logrando un mejor desarrollo del mismo por la poca acumulación de sales en el sustrato.

En cuanto a la implementación del equipo de producción, la evaluación se realizó mediante la reducción de tiempo empleado en las aplicaciones, principalmente de insecticidas. Una aplicación con bomba de mochila sin motor necesitaba de 35 a 45 minutos por invernadero (600 m²) mientras que con la implementación del equipo con motor se necesitaban aproximadamente 15 minutos por invernadero. Con esto se mejoraron las tareas en tiempo y número de éstas realizadas en el día, contribuyendo también a menor agotamiento físico del personal de campo.

3.7 SERVICIO 6. ACTIVIDADES NO PLANIFICADAS

3.7.1 Apoyo docente de campo a estudiantes de los cursos de Edafología I y II, Fertilidad de Suelos y Practicas Agronómicas I.



Figura 3.17 Estudiantes de Practicas Agronómicas aplicando fertilizante granulado a plantas de tomate.

3.7.2 Co-organizador del curso “Diseño de riego por goteo y requerimientos hídricos de los cultivos bajo invernadero”.

Este curso fue impartido en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Dr. Lorenzo Camejo y MSc. Leonel Duarte, profesores invitados y titulares de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Ciego de Ávila Cuba, expertos en sistemas de riego y cultivos bajo invernadero.



Figura 3.18 Comité organizador del curso “Diseño de riego por goteo y requerimientos hídricos de los cultivos bajo invernaderos”.

3.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Gonzales, R. 2008. Información sobre sistemas de riego (entrevista). Guatemala, Riegos Modernos, S.A, Instalación y Sistemas de Riego.
2. Santos, ID. 2007. Proyecto AGROCYT 017-2006 (entrevista). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Área Tecnológica, Subarea de Manejo de Suelo y Agua.