



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**SUSTRATOS ORGÁNICOS ALTERNATIVOS
PARA LA PRODUCCIÓN DE TUBÉRCULO-
SEMILLA DE PAPA EN INVERNADERO**

JOSÉ CINCO PATRÓN IBARRA

T E S I S

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis titulada: **SUSTRATOS ORGÁNICOS ALTERNATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TUBÉRCULO-SEMILLA DE PAPA EN INVERNADERO**, realizada por el alumno: **JOSÉ CINCO PATRÓN IBARRA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

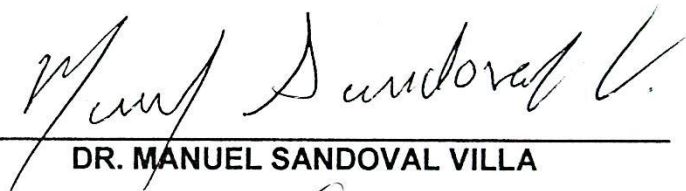
PROGRAMA DE EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR



CONSEJERO

DR. GABRIEL ALCÁNTAR GONZÁLEZ



ASESOR

DR. MANUEL SANDOVAL VILLA



ASESOR

DR. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA

PA

ASESOR

DR. GEORGE G. BROWN



ASESOR

DR. VICTOR VOLKE HALLER

Montecillo, Texcoco, Estado de México., marzo de 2013

SUSTRATOS ORGÁNICOS ALTERNATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TUBÉRCULO-SEMILLA DE PAPA EN INVERNADERO

José Cinco Patrón Ibarra, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

Resumen

La turba, es un producto importado y caro, es el principal sustrato orgánico utilizado para la producción de tubérculos-semilla de papa en México. Sin embargo, existen sustratos orgánicos más baratos disponibles en todo el país. Por lo tanto, se llevaron a cabo dos experimentos para evaluar las propiedades físicas y químicas y probar la eficiencia agronómica de siete sustratos alternativos para la producción de tubérculos-semilla bajo condiciones de invernadero. La mezcla de control utilizado tradicionalmente por los productores, que consiste de 40% de fibra de coco, 40% de turba y perlita 20% (v/v) se comparó con otras seis mezclas, en sustitución de la turba: 1) serrín de pino, 2) cáscara de arroz, 3) compost de fibra de agave tequilero, 4) tamizado de vermicompost pulpa de café y 6) bagazo de caña. Se evaluaron varios parámetros físico-químicos (pH, Conductividad Eléctrica, Capacidad de Retención de Humedad, Capacidad de Aireación) en cada mezcla de sustrato y dos variedades de papa fueron probadas (Alpha y Atlantic). Las mezclas de sustratos se colocaron en camas de 15 cm de profundidad en 69 plantas • m² y 100 días después, los tubérculo-semilla fueron evaluados en su número y biomasa. Cada unidad experimental tuvo cuatro plantas con 3 y 12 repeticiones cada uno, en seis mezclas de sustratos (96 tubérculos por variedad de papa-Experimento 1 y 288 tubérculos por variedad de papa Experimento 2). En el experimento 1, el mayor número de tubérculos-semilla por planta en la variedad Atlantic se obtuvieron en las mezclas de sustratos el tamizado de fibra de pulpa de café (7.6), la fibra de agave tequilero (5.3), y fibra de pulpa de café (5.2), superando estadísticamente al tratamiento con turba (testigo) 3.81. En el experimento 2, el mayor número de tubérculos-semilla por planta en la variedad Alpha se obtuvieron en la mezcla de sustrato de tamizado de pulpa de café (9,5) que fue estadísticamente superior al de turba (control: 5,75) y en la pulpa de café en la variedad Atlantic el tratamiento tamizado de vermicompost de pulpa de café (5,9) compost, de agave tequilero (4,7) y la turba (4,4) al igual que la cascarilla de arroz (4,4). La capacidad de aireación (AC) fue mayor en los tratamientos de aserrín con 15,9% y tamizado de pulpa de café (15,8%) y la cascarilla de arroz con un 12,8%. En el espacio poroso total, el tratamiento de turba (76,0%) y el bagazo de la caña de azúcar (75,3%), donde este último no permitió el libre paso del agua de riego al comienzo del experimento (hidrofobia), y al final del experimento presentó compactación. Por tanto, las variedades Alpha y Atlántico presentaron tubérculos enfermos con sarna común (*Streptomyces scabies*), aunque con una baja incidencia (< 1 a tubérculo por planta).

Palabras clave: Tubérculo-semilla, semilla prebásica, *Solanum tuberosum*, turba, invernadero.

Alternative Organic Substrates for Potato Tuber-Seed production in Greenhouse

José Cinco Patrón Ibarra, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2014

Abstract

Peat, an expensive imported product, is the main organic substrate used for potato mini-tuber production in Mexico. However, cheaper organic substrates are available nationwide, and therefore two experiments were conducted to evaluate physico-chemical properties and test the agronomic efficiency of seven alternative substrates for mini-tuber production under greenhouse conditions. The control mixture traditionally used by producers, consisting of 40% coir, 40% peat and 20% perlite (v/v) was compared with six other mixtures, substituting peat with, 1) coffee pulp fiber, 2) rice husk, 3) tequila agave fiber compost, 4) sieved coffee pulp fiber, 5) sieved coffee pulp vermicompost and 6) sugarcane bagasse. Various physico-chemical parameters (pH, Electrical Conductivity, porosity, water holding capacity, Aeration Capacity) were evaluated on each substrate mixture and two potato varieties were tested (Alpha, Atlantic). The substrate mixtures were placed in 15 cm deep beds at 69 plants·m⁻² and after 100 days mini-tuber number and biomass were assessed. Each experimental unit had four plants with 12 replicates each, in six substrate mixtures (96 tubers per variety of potato-Experiment 1 and 288 tubers per variety of potato-Experiment 2). In experiment 1 the largest number of mini-tubers per plant in the Atlantic variety were obtained in substrate mixtures with sieved coffee pulp fiber (7.6), tequila agave fiber compost (5.3) and coffee pulp fiber (5.2), statistically surpassing the peat treatment (control: 3.81) (Experiment 1). In experiment 2 the largest number of mini-tubers per plant in the Alpha range were obtained in the mixture of sieved coffee pulp vermicompost (9.5) statistically greater than the peat treatment (control: 5.75) and for the variety Atlantic sieved coffee pulp vermicompost (5.9), agave tequila fiber compost (4.7), peat (4.4) and rice husk (4.4). The aeration capacity (AC) was higher in treatments with 15.9% sawdust, coffee pulp screening (15.8%) and rice bran with 12.8%. Total pore space (sum of aeration capacity and moisture holding capacity) were higher with peat (76.0%) and sugar cane bagasse (75.3%) mixtures, where the latter hindered water infiltration at the beginning of the experiment (hydrophobicity), and presented compaction. In both Alpha and Atlantic varieties few tubers had range common scab (*Streptomyces scabies*) damage, with a low incidence <1 tuber per plant.

Index words: Minituber, prebasic seed, *Solanum tuberosum*, peat, greenhouse.

AGRADECIMIENTOS

A mi gran país México, porque me viste nacer, crecer y desarrollarme como ciudadano, estudiante, profesionalista y padre de familia, te debo tanto y espero compensarte en este periodo de vida que me queda, dándote lo mejor de mí.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México por su apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios durante el doctorado.

Al Colegio de Postgraduados donde me forme académicamente como maestro en ciencias y ahora como doctor en ciencias, gracias por todo lo recibido.

A mi institución la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por haberme permitido realizar mis estudios doctorales.

A los miembros de mi consejo particular y examen de grado Dr. Roberto Quintero Lizaola, Dr. George G. Brown, Dr. Enrique Ojeda Trejo y Dr. Vicente Espinosa Hernández, por sus valiosos comentarios para la mejora del presente trabajo de investigación.

A los propietarios de la empresa Agrícola Villarreal S.P.R. de R.L., productores de semilla prebásica de papa, Ing. Manuel Jesús Villarreal Galicia y al Ing. Manuel Jesús Villarreal González, por permitirme realizar toda la etapa experimental en sus instalaciones.

Al Dr. Joel Pineda Pineda, por haberme permitido realizar toda la etapa de análisis físico y químico en el laboratorio de Nutrición Vegetal del área de Fertilidad de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, y por su invaluable amistad.

A todas la mujeres y hombres trabajadoras de la empresa productora Agrícola Villarreal S.P.R. de R.L., que colaboraron en la siembra, cuidados, cosecha y evaluación de minitubérculos de semilla de papa, muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento, al cual pido me permita servir a la sociedad a través de los conocimientos y experiencia adquirida.

A mi esposa Teresa de Jesús Lara Lagunes por todo el apoyo incondicional, en nuestro matrimonio y en especial en esta etapa de mi vida. ¡Sin ti no lo hubiera logrado! , ¡Eres una gran mujer y madre de familia!

A mis dos hijos Liliana y José Cinco por todo el amor que he recibido de su parte, ¡los quiero mucho!

A mis padres la Sra. María Ibarra Hernández y el Sr. Uno Patrón Novelo por haberme dado la vida y por su apoyo en todo momento, sé que cuento con Uds., y doy gracias a Dios por tenerlos conmigo.

A mis hermanos Alejandro y Daniel, por el gran cariño que les tengo y gracias porque sé que Uds., me quieren mucho, lo cual es recíproco.

A mi gran amiga la Dra. Lydia Concepción Paredes Gutiérrez, porque en estos 18 años he aprendido como se acrecenta el gran valor de la amistad y solidaridad, muchas gracias Lydia por ser como tú eres.

Al Ing. José Cruz Robles Gálvez † (q.e.p.d.) por su gran amistad y apoyo durante la etapa experimental, te recordaré siempre como uno de mis grandes amigos.

Al Dr. Joel Pineda Pineda, que durante esta etapa doctoral además de los conocimientos adquiridos, me llevó un amigo incondicional y para toda la vida, gracias Joel por ser tan buen amigo. Y por todas las colaboraciones académicas futuras.

Contenido	Página
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	v
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE CUADROS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
2.1. Objetivos	4
2.2. Hipótesis.....	5
3. REVISION DE LITERATURA	6
3.1. Definición de sustrato.....	6
3.2. Sustratos en agricultura.....	6
3.2.1. Sustratos en la producción de papa.....	8
3.2.2. Clasificación de los sistemas de producción sin Suelo.....	9
3.3. Funciones de los sustratos.....	9
3.4. Características deseables en un sustratos.....	10
3.5. Propiedades de los sustratos.....	11
3.5.1. Propiedades físicas	12
3.5.1.1. Granulometría.....	13
3.5.1.2. Densidad aparente.....	14
3.5.1.3. Permeabilidad.....	15
3.5.1.4. Retención de agua y aireación.....	17
3.5.1.4.1. Espacio poroso total (% de volumen).....	18
3.5.1.4.2. Capacidad de aireación (% de volumen).....	20
3.5.1.4.3. Agua fácilmente disponible (% de volumen).....	21
3.5.1.4.4. Agua de reserva (% de volumen).....	22
3.5.2. Propiedades químicas de los sustratos.....	23
3.5.2.1. pH.....	24
3.5.2.2. Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	26
3.5.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (Miliequivalentes 100 g ⁻¹).....	27
3.5.2.4. Capacidad tampón.....	29
3.5.2.5. Contenido de elementos nutritivos.....	30

	Página
3.5.2.6. Materia orgánica.....	31
3.5.2.7. Relación carbono/nitrógeno.....	34
3.5.2.8. Sustancias húmicas y sustancias con efecto regulador de crecimiento (fenoles y hormonas).....	35
3.5.2.9. Toxicidad del sustrato.....	37
3.5.3. Propiedades biológicas.....	39
3.5.3.1. La bioestabilidad.....	39
3.6. La clasificación de los sustratos por su naturaleza química....	41
3.6.1. Sustratos orgánicos.....	41
3.6.2. Sustratos inorgánicos (minerales).....	42
3.7. Elaboración de mezclas de sustratos.....	43
3.8 Desinfección de sustratos.....	44
3.8.1. Desinfección con vapor de agua.....	46
3.8.2. Solarización.....	47
3.8.3. Desinfección con bromuro de metilo.....	47
3.9. Importancia de la turba en México.....	48
3.10. Importancia del cultivo de papa en México.....	49
3.10.1. Importancia económica del cultivo de papa en México.....	50
3.10.2. Clasificación de la semilla de papa.....	51
3.10.3. Semilla de papa en México.....	54
3.10.4. Demanda de semilla de papa en México.....	55
3.10.5. Perspectivas de la producción de papa.....	57
3.10.6. Propagación de tubérculos-semilla de papa en invernadero.....	58
4. MATERIALES Y METODOS.....	60
4.1. Proceso experimental.....	60
4.2. Ubicación del estudio.....	62
4.3. Área de estudio	63
4.4. Identificación y selección de sustratos orgánicos adecuados para la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero	64
4.5. Unidad experimental	64
4.6. Tratamientos	65
4.7. Diseño experimental.....	67
4.8. Manejo del invernadero durante el proceso experimental	72
4.8.1. Riegos.....	72
4.8.2. Temperatura.....	72
4.8.3. Fertilización.....	73
4.9. Determinación y selección de las muestras (experimento 1 y 2).....	74
4.9.1. Parámetros de producción.....	74
4.9.2. Análisis físicos, químicos y biológicos de los sustratos en laboratorio.....	76

	Página
4.9.2.1. Análisis físicos.....	76
4.9.2.2. Análisis químicos.....	77
4.9.2.3. Presencia de roña común <i>Streptomyces scabies</i>	77
4.10. Metodología de análisis de resultados.....	78
4.11. Análisis financiero para la producción de semilla de papa a partir de diversos sustratos orgánicos de crecimiento.....	79
4.11.1. Rentabilidad en la producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	79
4.11.2. Valor Actual Neto (VAN).....	80
4.11.3. Relación Beneficio-Costo (B/C).....	80
4.11.4. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	81
5. RESULTADOS Y DISCUSION	83
5.1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos.....	83
5.1.1. Propiedades físicas	83
5.1.1.1. Densidad aparente	84
5.1.1.2. Espacio poroso total.....	85
5.1.1.3. Capacidad de aireación.....	89
5.1.1.4. Capacidad de retención de humedad.....	90
5.1.1.5. Granulometría.....	90
5.1.1.6. Correlación entre las propiedades físicas de los sustratos	94
5.1.1.7. Curva de retención de humedad.....	97
5.1.2. Propiedades químicas.....	100
5.1.2.1. pH.....	100
5.1.2.2. Conductividad eléctrica.....	101
5.1.3. Determinaciones agronómicas.....	108
5.1.3.1. Número total de tubérculos-semilla de papa..	108
5.1.3.2. Peso seco de tubérculo-semilla de papa.....	111
5.1.3.3. Número de tubérculos-semilla de papa en diferentes rangos de diámetro.....	114
5.1.3.4. Presencia de roña común <i>Streptomyces scabies</i>	117
5.2. Análisis financiero.....	121
6. CONCLUSIONES	124
7. RECOMENDACIONES	127
8. BIBLIOGRAFÍA	128
9. ANEXOS	138
9.1. Anexo 1.....	138
9.1.1. Determinaciones físicas.....	138

9.1.2. La determinación de las características físicas usando porómetros.....	138
9.1.2.1. Principio.....	138
9.1.2.2. Materiales.....	139
9.1.2.3. Equipo.....	139
9.1.3. Procedimiento para cualquier sustrato (especialmente aquellos que se expanden durante la saturación).....	139
9.1.3.1. Metodología	139
9.1.4. Granulometría.....	142
9.1.4.1. Principio.....	142
9.1.4.2. Materiales.....	143
9.1.4.3. Equipo.....	143
9.1.4.4. Procedimiento.....	144
9.1.4.5. Cálculos.....	144
9.1.5. Curva de retención de humedad.....	145
9.1.5.1 Principio.	145
9.1.5.2. Materiales.....	145
9.1.5.3. Equipo.....	146
9.15.4. Procedimiento.....	146
9.1.5.5. Cálculos.....	147
9.2.1. Determinaciones químicas.....	149
9.2.1.1. Métodos de extracción para determinar las características químicas en los sustratos... ..	149
9.2.1.2. Extracto de saturación.....	149
9.2.1.2.1 Principio	149
9.2.1.2.2 Importancia y justificación	151
9.2.1.2.3. Material.....	151
9.2.1.2.4. Equipo.....	152
9.2.1.2.5. Procedimiento.....	152
9.2.1.3. Potencial de hidrógeno (pH).....	153
9.2.1.3.1. Principio	153
9.2.1.3.2. Importancia y justificación	153
9.2.1.3.3. Material.....	154
9.2.1.3.4. Equipo.....	154
9.2.1.3.5. Procedimiento.....	154
9.2.1.4. Conductividad Eléctrica (CE).....	155
9.2.1.4.1.. Principio.....	155
9.2.1.4.2. Material.....	155
9.2.1.4.3. Equipo	155
9.2.1.4.4. Procedimiento.....	156
9.2.1.4.5. Interpretación de resultados.....	156
9.3.1. Determinaciones biológicas.....	157

	Página
9.3.1.1. Técnica de aislación usando medios diferenciales y semiselectivos en suelo y sustratos, para determinar roña común (<i>Steptomyces scabies</i>).....	157
9.3.1.1.1. Principio.....	157
9.3.1.1.2. Material.....	157
9.3.1.1.3. Equipo.....	158
9.3.1.1.4. Procedimiento.....	158
9.2. Anexo 2. Análisis financiero del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero empleando como mezcla de sustrato turba en una relación de 40% v/v.....	160
9.3. Anexo 3. Análisis financiero del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero empleando como mezcla de sustrato tamizado de vermicompost de pulpa de café en una relación de 40% v/v.....	180

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Curva de liberación de agua de los sustratos (De Boodt <i>et al.</i> , 1974).....	19
Figura 2. Ubicación de los invernaderos de la empresa Agrícola Villarreal & Villarreal productores de semilla prebásica de papa, donde se realizaron los dos experimentos.....	62
Figura 3. Invernadero donde se realizaron los experimentos para evaluar la producción de tubérculo-semilla de papa en diversos sustratos orgánicos.....	63
Figura 4. Muestra las 6 mezclas de sustratos para sembrar cada una de las variedades de papa (Alpha y Atlantic). Y la unidad experimental conformada por 16 plantas con 4 repeticiones y a su vez 4 plantas por cada una.	65
Figura 5. Muestran las 6 mezclas de sustratos con tres repeticiones cada una por variedad de papa (Alpha y Atlantic). Y la unidad experimental conformada por cuatro plantas por repetición.....	65
Figura 6. Variedades de tubérculo-semilla de papa Alpha y Atlantic usadas en los experimentos 1 y 2 del presente trabajo.....	67
Figura 7. Diseño experimental en la evaluación de mezclas de sustratos en la producción de semilla de papa en invernadero en el experimento 1.....	70
Figura 8. Diseño experimental y distribución de un tratamientos, con unidades experimentales en la producción de semilla de papa variedad Alpha y Atlantic en invernadero en el experimento 2...71	71
Figura 9. Producción en una unidad experimental de tubérculo-semilla de papa variedad Atlantic con la mezcla de tamizado de vermicompost de pulpa de café y su clasificación por rangos de acuerdo a su diámetro.....	75
Figura 10. Muestra el daño por roña común (<i>Streptomyces scabies</i>) en tubérculos-semilla de papa y el método para evaluar su daño en porcentaje.....	78

	Página
Figura 11. Curva de retención de agua en diversas mezclas de sustratos usados en los experimentos 1 y 2.....	98
Figura 12. Curva de retención de agua en diversas mezclas de sustratos usados en los experimentos 1 y 2.....	99
Figura 13. Curva de retención de agua en diversas mezclas de sustratos usados en el experimento 2.....	100
Figura 14. Número de tubérculos del rango de 12 a 19 mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculos-semilla de papa en el experimento 1. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.....	114
Figura 15. Número de tubérculos del rango de 12 a 19 mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculos-semilla de papa en el experimento 2. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.....	115
Figura 16. Número de tubérculos del rango de 20 a >40mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculos-semilla de papa en el experimento 1. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.....	116
Figura 17. Número de tubérculos del rango de 20 a >40 mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculos-semilla de papa en el experimento 2. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.....	117
Figura 18. Muestra los porómetros realizados con PVC, para la medición de la retención de humedad, la capacidad de aireación, la porosidad total, la densidad aparente de los sustratos.....	142
Figura 19. Embudo con filtro de vidrio integrado incluido, para realizar la curva de liberación de humedad en sustratos de crecimiento en invernadero.....	147
Figura 20. Contenedores para llevar a capacidad de saturación por capilaridad a los sustratos que posteriormente se les realizará la curva de liberación de humedad.....	148

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Importación nacional de turba en dólares americanos durante la década de 2000 al 2011 (INEGI, 2012).....	49
Cuadro 2. Mezclas de sustratos, variedades de tubérculo-semilla de papa empleadas y el número de repeticiones de cada tratamiento que se evaluaron durante el experimento No.1.....	68
Cuadro 3. Mezclas de sustratos, variedades de tubérculo-semilla de papa empleada y el número de repeticiones de cada tratamiento que se evaluaron durante el experimento No.2.....	69
Cuadro 4. Dosis de fertilización que se aplicó vía fertirriego durante el ciclo de cultivo de semilla de papa en invernadero.....	73
Cuadro 5. Rangos comerciales de acuerdo al diámetro de los tubérculos-semilla de papa.....	75
Cuadro 6. Características físicas en mezclas de sustratos (experimento 1)...	87
Cuadro 7. Características físicas de mezclas de sustratos (experimento 2)....	88
Cuadro 8. Granulometría en diversas mezclas de sustratos (experimento 1)...	92
Cuadro 9. Granulometría en diversas mezclas de sustratos (experimento 2)...	93
Cuadro 10. Coeficientes de correlación en diversas propiedades físicas de mezclas de sustratos para la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero (experimento 1 y 2).....	96
Cuadro 11. Determinaciones químicas en mezclas de sustratos (experimento 1).....	103
Cuadro 12. Determinaciones químicas en mezcla de sustratos (experimento 2).....	104
Cuadro 13. Coeficientes de correlación en diversas propiedades físicas y químicas de mezclas de sustratos en la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero (experimento 1).....	106
Cuadro 14. Coeficientes de correlación en diversas propiedades físicas y químicas de mezclas de sustratos en la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero (experimento 2).....	107

	Página
Cuadro 15. Determinaciones agronómicas en la producción de tubérculos-semilla de papa en diversas mezclas de sustratos orgánicos, en las variedades Alpha y Atlantic (experimento 1).....	112
Cuadro 16. Determinaciones agronómicas en la producción de tubérculos-semilla de papa en diversas mezclas de sustratos orgánicos, en las variedades Alpha y Atlantic (experimento 2).....	113
Cuadro 17. Número de tubérculos-semilla que presentaron roña común (<i>Streptomyces scabies</i>) en diversas mezclas de sustratos orgánicos, en las variedades Alpha y Atlantic en el experimento 2..	120
Cuadro 18. Variables económicas y los valores obtenidos en la producción de tubérculo-semilla de papa en invernadero con sustitución de turba (40% v/v) por tamizado de vermicompost de pulpa de café (40 % v/v) dentro de la mezcla de sustratos.....	121
Cuadro 19. Variables económicas y los valores obtenidos en la producción de tubérculo- semilla de papa en invernadero a partir de la utilización de turba (40% v/v) dentro de la mezcla de sustratos.....	122
 Sección anexos	
Cuadro 20. Análisis del flujo de efectivo del proyecto de producción de semilla de papa en invernadero, empleando turba (40 % v/v) dentro de la mezcla de sustratos.....	161
Cuadro 21. Aprovechamiento de la capacidad instalada a través de los años dentro de la producción de semilla papa a nivel invernadero.....	162
Cuadro 22. Costo de materia prima producción de semilla de papa para 12 invernaderos.....	163
Cuadro 23. Consumo de energía eléctrica de los equipos dentro de la producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	164
Cuadro 24. Consumo diario y anual de electricidad en KiloWatt en el proyecto de producción de semilla de papa en invernadero.....	165
Cuadro 25. Consumo de agua dentro del proyecto de producción de semilla de papa en invernadero.....	166

	Página
Cuadro 26. Costo de mano de obra directa e indirecta dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	167
Cuadro 27. Gasto de gas LP dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	168
Cuadro 28. Costo anualizado por mantenimiento en los diversos equipos del proyecto de producción se semilla de papa a nivel invernadero.....	168
Cuadro 29. Presupuesto de costos de producción en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	169
Cuadro 30. Gastos de administración dentro del proyecto de producción de semilla de papa.....	170
Cuadro 31. Costos totales de producción en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	171
Cuadro 32. Costos de operación del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	171
Cuadro 33. Activos fijos de producción en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	172
Cuadro 34. Activo fijo de oficinas y ventas en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	173
Cuadro 35. Terreno y obra civil con que se cuenta dentro del el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	174
Cuadro 36. Inversión total en activo fijo y diferido en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	175
Cuadro 37. Valor de rescate de los diferentes equipos dentro del el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	176
Cuadro 38. Valor de salvamento dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	177
Cuadro 39. Clasificación de costos y punto de equilibrio en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	178
Cuadro 40. Balance general inicial dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	179

	Página
Cuadro 41. Análisis financiero del proyecto de producción de semilla de papa en invernadero, empleando Tamizado de vermicompost de pulpa de café en una relación de 40 % v/v dentro de la mezcla de sustratos.....	181
Cuadro 42. Aprovechamiento de la capacidad instalada a través de los años, en el proyecto de producción de semilla de papa en invernadero.....	182
Cuadro 43. Costo de materia prima producción de semilla de papa para 12 invernaderos en el proyecto de producción de semilla de papa.....	183
Cuadro 44. Costo de mano de obra directa e indirecta dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	184
Cuadro 45. Costo de combustibles dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	185
Cuadro 46. Costo de mantenimiento dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	185
Cuadro 47. Presupuesto de costos de producción dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	186
Cuadro 48. Gastos de administración dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	187
Cuadro 49. Costos totales de producción dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	188
Cuadro 50. Costos totales de operación dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	189
Cuadro 51. Activo fijo de producción dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	189
Cuadro 52. Activo fijo de oficinas y ventas dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	190
Cuadro 53. Terreno y obra civil dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	191
Cuadro 54. Inversión total en activo fijo y diferido del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	192

Cuadro 55. Depreciación y amortización de activo fijo y diferido del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	193
Cuadro 56. Determinación del capital de trabajo del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	194
Cuadro 57. Valor del activo circulante, pasivo circulante y financiamiento del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	195
Cuadro 58. Balance general inicial del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.....	196

1. INTRODUCCIÓN

En México se siembran anualmente cerca de 55 359 hectáreas de papa, ocupando el sexto lugar en importancia como alimento con un consumo anual *per capita* de papa de 13.6 kilogramos, para el año 2010 (INEGI, 2012).

Los productores de papa en la región de los Valles Centrales de México (Puebla, Tlaxcala, México, Hidalgo, y Veracruz), utilizan un bajo nivel tecnológico, y no cuentan con semilla con alta sanidad, por lo que sus volúmenes de producción llegan a ser de 17.9 ton ha⁻¹, lo que está muy por debajo de la media nacional que es de 27.7 ton ha⁻¹ (INEGI, 2012).

En relación a las variedades de papa sembradas en México, el 64% de la superficie se siembra con variedades extranjeras o introducidas, entre las que destacan: Alpha (40 de la superficie nacional), Atlantic (7%), Mondial (5%) y Gigant (5%). Las variedades mexicanas se siembran en el 36% de la superficie y entre ellas sobresalen: Rosita (15%), Marciana (6%), Tollocan (6%) y San José (5%) (Rubio *et al.*, 2000).

Los agricultores necesitan semillas de alta calidad para que sus cultivos de papa tengan altos rendimientos y la papa como semilla asexual presenta problemas para su multiplicación y mantenimiento, tal es el caso de la semilla de papa (tubérculo-semilla); específicamente en la adquisición y contaminación de enfermedades causadas por virus y micoplasmas, sobre todo en las fases de campo y almacén.

El proceso de producción de semilla certificada de papa en México incluye las fases de laboratorio (semilla prebásica I), invernadero (prebásica II) y cinco ciclos de campo (NOM-041-FITO-2002, Diario Oficial de la Federación, 2003).

En agricultura bajo ambiente protegido se ha recurrido al uso de mezcla de sustratos orgánicos e inorgánicos, debido a limitantes físicas, químicas y biológicas del suelo (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). Así en invernadero el

sustrato usado ha sido la turba, la cual se debe importar con un alto costo (Flores-Almaraz *et al.*, 2008).

En el año 2009 se importó un volumen de 2 308 toneladas con un costo de 1, 174, 440.00 dólares americanos (INEGI, 2009). El costo de la turba importada, además de que es un recurso de disponibilidad limitada, justifica la búsqueda de materiales orgánicos alternativos para la producción de semilla de papa en invernadero, por lo que se requiere realizar investigaciones para disminuir la importación de dicho material (Colín, 1998).

La producción certificada de semilla de papa en la etapa de invernadero (prebásica II), donde se produce tubérculo-semilla, requiere caracterizar física, química y biológicamente sustratos orgánicos alternativos a la turba importada. Dentro de los materiales orgánicos podemos mencionar a la cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, aserrín de pino, fibra de pulpa de café, compost de fibra de agave tequilero y vermicompost de pulpa de café, que serán además seleccionados con base en su disponibilidad, bajo costo, facilidad de manejo, bioestabilidad, ausencia de semillas de malas hierbas, insectos, patógenos o ausencia de fitotoxicidad (Magdaleno-Villar *et al.*, 2006).

Los sustratos orgánicos utilizados en la producción de tubérculos-semilla en invernadero deben evitar los daños por plagas y/o patógenos (efecto supresor), pues la planta de papa es un cultivo indicador y muy susceptible a todo tipo de enfermedades específicamente como es la roña común (*Streptomyces scabies*). Además los materiales orgánicos deben producir tubérculos de tamaño uniforme, ya que el tamaño de las semillas de papa producidas, es muy importante dentro de los criterios de selección, reutilización y desecho de los mismos. Considerando a los sustratos orgánicos como un factor clave para la producción de hortalizas, plántulas, flores de invernadero y plantas de vivero (Vargas *et al.*, 2008).

Para que un productor de tubérculo-semilla de papa en invernadero, cambie un sustrato orgánico en su proceso de producción, requiere determinar la factibilidad económica a través de un análisis financiero.

El objetivo de la presente investigación fue la búsqueda de sustratos orgánicos alternativos a la turba para la producción de tubérculo-semilla de papa, con un costo accesible, que permitan una adecuada producción y sanidad, e ingreso de los productores.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos

Objetivo general

Evaluar sustratos orgánicos alternativos para la producción de tubérculo-semilla de papa en invernadero.

Objetivos específicos

Seleccionar sustratos orgánicos alternativos que cumplan con los estándares de producción adecuados para la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero.

Caracterizar física y químicamente sustratos orgánicos alternativos que serán utilizados en la producción de tubérculo-semilla de papa en invernadero.

Evaluar la presencia de la enfermedad roña común *Streptomyces scabies* como propiedad supresora de los sustratos orgánicos alternativos y en los tubérculo-semilla de papa producidos.

Evaluar agrónomicamente la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero en sustratos orgánicos alternativos, comparándolos con la turba que es el sustrato orgánico de importación o más utilizado.

Determinar la factibilidad económica, a través de un análisis financiero, para la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero de los sustratos orgánicos alternativos con mayor rendimiento comparándolos con la turba.

2.2. Hipótesis

- Los sustratos orgánicos seleccionados cumplen con los estándares de producción requeridos para la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero.
- Los sustratos orgánicos a evaluar presentan propiedades físicas, químicas y de sanidad adecuadas para el crecimiento de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero.
- Los sustratos orgánicos a evaluar, pueden igualar o aumentar la producción de tubérculo-semilla de papa en comparación con la turba importada que es la más utilizada en horticultura en México.
- Los sustratos orgánicos alternativos sin desinfectar no son vectores de enfermedades a los tubérculo-semilla de papa.
- Es factible económicamente la producción de semilla de papa a nivel invernadero en los sustratos orgánicos alternativos con mayor rendimiento comparándolos con la turba.

3. REVISION DE LITERATURA

3. 1. Definición de sustrato

El término sustrato se define como una mezcla formada por materiales en estado sólido, líquido y gaseoso que deben encontrarse en proporciones adecuadas para que las plantas tengan crecimiento satisfactorio. Al hablar de sustratos se hace referencia a un cultivo sin suelo donde se tiene un sistema de cultivo en el que la planta desarrolla su sistema radical en un medio (sólido o líquido) confinado en un espacio limitado y aislado, fuera del suelo. En síntesis, el concepto sustrato involucra materiales sólidos simples o mezclas de materiales, de origen natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, utilizado para producir plantas o cultivos en contenedores (Hanan *et al.*, 1978; Ansorena, 1994; Burés, 1997; Noguera y Abad, 1997; Pastor, 1999; Abad *et al.*, 2005, Volke *et al.*, 2010).

3.2. Sustratos en agricultura

En agricultura protegida se sigue sembrando en suelo directamente, empleando el fertirriego como un medio de aplicar agua y fertilizante a los cultivos, sin embargo cuando el suelo presenta problemas de manejo como altas concentraciones de sales o la presencia de nematodos, este es sustituido por mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos.

El desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo en contenedor. Desde que se planteó la necesidad de cultivar plantas fuera de su medio natural, se creó la necesidad de utilizar contenedores y por lo tanto, sustratos. La importancia del cultivo en sustratos es obvia: la mayor parte de la producción de plántulas hortícolas (plantas pequeñas que serán trasplantadas a campo o invernadero en un periodo no mayor a un mes) tiene lugar en contenedores o macetas, y por lo tanto, en sustratos, del mismo modo que existe un aumento en la demanda de sustratos para el cultivo de hortalizas o flor cortada bajo invernadero en camas o bolsas plásticas (Burés, 1997).

Sin embargo, al existir una elevada producción de residuos y subproductos se pretende facilitar la gestión y uso en agricultura de los residuos orgánicos procedentes de distintas actividades, reduciendo su peso y volumen, a la vez que los estabiliza y genera un producto útil. La utilización de materiales que son subproductos o desechos agroindustriales posibilita tener sustratos baratos y un impacto ecológico positivo (Pineda-Pineda *et al.*, 2012) como en el caso de las industrias cafetalera, maderera, cañera, mezcalera y tequilera, arroceras y de los diferentes cultivos de gramíneas.

La caracterización de sustratos definirá la posibilidad de que éstos puedan ser utilizados solos, o en mezclas como componentes de medios de cultivo; de las características físicas y químicas del sustrato dependerá el manejo y en consecuencia, el éxito de un cultivo. Raramente se utilizan como sustratos componentes únicos, ya que es difícil que un solo material tenga inicialmente las características químicas y físicas adecuadas para el cultivo. Existen numerosos materiales orgánicos e inorgánicos que son adecuados como sustratos o como componentes de medios de cultivo (Bures, 1997).

Dentro de los principales usos de los sustratos se pueden mencionar : a) mezcla de sustratos para invernadero (sustrato en contenedor), b) cultivo en sustratos en plantas ornamentales (en camas y macetería), c) sustrato para uso forestal (vivero), d) sustrato para semillero, e) enmienda de jardines, f) mezcla con suelo (como enmienda o abono orgánico), g) mulch (en arquitectura del paisaje para jardines), h) sustrato de crecimiento para setas y champiñones, i) como filtros de contaminantes (zeolita) y j) absorbentes de contaminantes en derrames de hidrocarburos (turba) (Ansorena, 1994; Burés, 1997; Pastor, 1999; Lemaire *et al.*, 2005).

3.2.1. Sustratos en la producción de papa

Sánchez y Vázquez (2000), evaluaron a nivel invernadero en bolsas de polietileno, cuatro mezclas de sustratos en la producción de semilla de papa variedad Rosita, 1) 50% de Turba + 50% de agrolita PA (como testigo), 2) 50% de lombricompost de pulpa de café + 50% de fibra de coco (VF), 3) 40% de composta mecanizada de jardinería + 30% de agrolita + 30% de fibra de coco (CJ) y 4) 50% de composta de estiércol + 50% de fibra de coco (CE). Se evaluaron además de las mezclas 2 dosis de radiación gamma (0, 1.5 y 3.0 Mrad), y la adición de *Azospirillum brasilense* al minitubérculo. Las variables de respuesta evaluadas fueron, número y peso de minitubérculos. Con respecto al sustrato y el peso fresco de los minitubérculos, los tratamientos CJ (36.03 g) y VF (32.20 g) mostraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) con respecto a la CE (7.61 g) y PA (7.09 g). El número de tubérculos en el rango > 1.5 cm que son los de interés comercial, fue mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento VF (8.81 minitubérculos) que los tratamientos CJ y PA (ambos con 5.82 minitubérculos). La radiación aplicada a los sustratos no tuvo un efecto significativo ni en peso ni número de minitubérculos. Concluyendo que la inoculación de *A. brasilense*, no tuvo un efecto significativo en la densidad poblacional de microorganismos.

Por su parte, Tepale (2004), utilizó diversas mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos para producir semilla de papa, empleando cajas de plástico rígido como contenedores a nivel invernadero, dentro de los cuales se encontraban: T1) 15% de estiércol composteado + 15% de vermicomposta de pulpa de café + 70% de agrolita, T2) 30% de vermicomposta de estiércol bovino + 70% de agrolita y los dos tratamientos restantes eran materiales a reutilizar T3) 23% de vermicomposta de estiércol bovino + 22% de agrolita + 55% de turba (desinfectado con vapor) y T4) 23% de vermicomposta de estiércol bovino + 22% de agrolita + 55% de turba (desinfectado con químicos). Se emplearon dos variedades de papa Alpha y Atlantic y se adicionó *Azospirillum brasilense*. Las mezclas de sustratos pueden ser usadas y

reutilizadas en la producción de minitubérculos de papa en invernadero, pues el tratamiento T3, produjo el mayor número de tubérculos útiles y con buenas características agronómicas, a pesar de que la mezcla venía de un ciclo de cultivo anterior. En lo referente a la desinfección de las mezclas de sustratos con vapor no aumento la producción de tubérculos de papa, pero permitió su reutilización manteniendo los niveles más bajos de daño en los tubérculos. La desinfección con productos químicos a la mezcla de sustratos para su reutilización en invernadero, no aumentó la producción, ni la sanidad de los tubérculos producidos. Finalmente la inoculación con *A. brasilense* no tuvo ningún efecto en la producción de minitubérculos.

Existen otros materiales que pueden ser empleados como sustratos de crecimiento, un ejemplo es la fibra de coco con baja conductividad eléctrica (Caraveo *et al.*, 1996), el bagazo de agave (Rodríguez-Macías *et al.*, 2004) con otros cultivos para su uso en invernadero. Por lo que es conveniente realizar un estudio referente al potencial de sustratos orgánicos, sobre su capacidad en la producción de tubérculo semilla de papa a nivel invernadero.

3.2.2. Clasificación de los sistemas de producción sin suelo

Desde un punto de vista práctico, los cultivos sin suelo suelen clasificarse en cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrimentos o sobre materiales inertes) y cultivos en sustratos (cultivos sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico). En resumen, los cultivos sin suelo pueden funcionar como sistemas abiertos, a solución perdida, no recirculante, o como sistemas cerrados, con recirculación de las soluciones nutritivas (Abad *et al.*, 2005).

3.3. Funciones de los sustratos

Dentro de las principales funciones a destacar de los sustratos se encuentran (Martínez, 1994):

- Proporcionar un medio para el desarrollo de las raíces que constituye a la vez el soporte de la planta.
- Retención de agua fácilmente disponible y su aportación a las plantas.
- Retención de nutrimentos a través de una alta capacidad de intercambio catiónica y su aportación a las plantas.
- Retención de aire (capacidad de aireación) para el intercambio gaseoso de las raíces.
- Actuar como amortiguador (buffer) en las reacciones químicas como pH extremos (ácidos o alcalinos) y en temperaturas extremas.

3.4. Características deseables en un sustrato.

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características del medio de cultivo (Martínez, 1994; Burés, 1998; Hidalgo *et al.*, 1999; Abad *et al.*, 2004):

- Dar suficiente soporte y firmeza a los cultivos.
- Brindar nutrición a los diversos cultivos.
- Su volumen no debe variar mucho cuando está seco o mojado; no es conveniente que el sustrato reduzca excesivamente su volumen cuando se seca.
- Retener suficiente humedad para evitar los riegos frecuentes.
- Ser lo suficientemente poroso, de modo que se escurra el exceso de agua y permita una aireación adecuada.
- No permita la proliferación de plagas o enfermedades., (nematodos y otros organismos patógenos nocivos).
- Ausencia de semillas de malas hierbas, estar libre de malezas y ausencia de fitotoxicidad.
- No debe tener un nivel excesivo de salinidad y presentar un contenido bajo en sales solubles.

- Ser esterilizado con vapor de agua y productos químicos; no debe tener efectos nocivos en las plantas.
- Libre de sustancias tóxicas.
- Buena granulometría, con una distribución adecuada del tamaño de las partículas que mantenga una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible o asimilable y suficiente suministro de aire.
- Tener un precio accesible y fácil disponibilidad en los volúmenes que se requieran, así como una homogeneidad en los diversos lotes que se adquieran.
- La supresividad respecto a patógenos.
- La capacidad de ser reciclados.
- La optimización del consumo de agua y la prevención del lavado de nutrientes.
- Buena aireación, para tener un buen drenaje.
- Buena retención de humedad.
- Densidad adecuada, no demasiado pesado para el manejo y embarque más fácil y no demasiado ligero para que no se caigan las macetas o contenedores durante el cultivo.
- Alta capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Un adecuado porcentaje de saturación de bases (PSB).
- Un pH favorable para lo que se quiere producir.
- Alta capacidad amortiguadora (buffer).
- Libre de plagas y enfermedades y malezas.
- Que la mezcla sea homogénea.
- Uniformidad de lote a lote.
- Fácil disponibilidad en el mercado.

3.5. Propiedades de los sustratos

En la caracterización de sustratos se suelen distinguir dos tipos de propiedades: físicas y químicas. La importancia del conocimiento de estas

propiedades radica en que de ellas dependerá el manejo adecuado de la fertilización y del riego y por lo tanto, el éxito del cultivo (Burés, 1997):

3.5.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son muy importantes en el desarrollo de los cultivos. La estructura física de un sustrato está formada básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio de poros, que pueden estar llenos de agua o de aire, y que corresponden a espacios situados entre las partículas de sustrato o dentro de las mismas. Las propiedades físicas vienen determinadas por la estructura interna de las partículas que conforman el material, la distribución granulométrica y el tipo de empaquetamiento (Burés, 1998).

Una situación importante es que una vez que el sustrato esté en el contenedor, y la planta esté creciendo en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato (Abad *et al.*, 2004).

Las curvas de retención de agua de los suelos agrícolas se miden usualmente en un amplio intervalo de succiones de 0-1.5 MPa equivalente a 0-1.5 atmósferas. Las plantas cultivadas en contenedores no pueden ser sometidas a tensiones hídricas elevadas, debido al volumen limitado del sustrato en que crecen y se desarrollan (Abad *et al.*, 2004).

Dentro de las propiedades físicas se encuentran granulometría, densidad aparente, permeabilidad, distribución del tamaño de las partículas y la retención de agua y aireación que se obtienen a través de la curva de liberación de agua de los sustratos donde se determina el espacio poroso total, capacidad de aireación, agua fácilmente disponible, agua fácilmente disponible y agua de reserva (Burés, 1997).

3.5.1.1. Granulometría

Definición

Las partículas que componen los sustratos pueden tener tamaños muy diversos. La distribución de tamaños de partículas que componen un material se expresa mediante la granulometría, que puede caracterizarse fácilmente mediante tamizado, siendo el tamaño absoluto de las partículas un concepto de difícil cuantificación con métodos convencionales (Burés, 1997).

El tamaño y la relación entre los tamaños de las partículas determina el tamaño de los poros externos, razón por la que muchas veces se ha intentado correlacionar la granulometría con la porosidad y las características derivadas de ésta última (retención de agua, aireación). La importancia de conocer el tamaño de las partículas reside en que éstas definen a su vez el tamaño de los poros situados entre ellas (Burés, 1997).

Funciones

Normalmente la granulometría se determina por tamizado de muestras secas al aire o a la estufa, utilizando una batería de tamices de tamaños de malla distintos ordenados sucesivamente por tamaño de malla, recogiendo las fracciones que quedan en cada tamiz y determinando generalmente su peso.

La granulometría se suele determinar con una serie de tamices donde la abertura de cada tamiz es doble de la del anterior (0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 y 16 mm). La granulometría se puede expresar mediante curvas granulométricas o bien mediante histogramas (Burés, 1997).

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partículas superior a 0.9 μm , con poros grandes, superiores a 100 μm , retienen cantidades

reducidas de agua y están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a $0.25\ \mu\text{m}$ y tamaño de poros inferior a $30\ \mu\text{m}$, retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados. El mejor sustrato se define como aquel material de textura media a gruesa, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y $300\ \mu\text{m}$ –equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y $2.5\ \mu\text{m}$ –, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire (Abad *et al.*, 2004).

Importancia

El tamaño de las partículas afecta al crecimiento de la planta a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad (Abad *et al.*, 2004).

La distribución del tamaño de las partículas de los sustratos se expresa frecuentemente como un único parámetro: el índice de grosor. Este índice se define como el porcentaje acumulado (en peso o en volumen) de partículas con diámetro superior a 1mm , y suele estar bien relacionado con las características hidrofísicas del sustrato (Abad *et al.*, 2004).

3.5.1.2. Densidad aparente

Definición

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 (Burés, 1997; Burés, 1998).

Funciones

La porosidad varía en un amplio intervalo de valores, desde un 30% en suelos compactados hasta cifras del orden del 95% en algunas turbas. Por término medio, los buenos suelos de campo con hierba contienen en torno a un 50% de poros, mientras que los sustratos de maceta la porosidad puede llegar a alcanzar valores de un 95% o superiores, recomendándose un mínimo del 85 % (Ansorena, 1994).

En los invernaderos, donde el viento no es un factor limitante, la densidad aparente del sustrato puede ser tan baja como 0.15 g cm^{-3} (Abad *et al.*, 2004).

Importancia

El conocimiento de la densidad aparente es muy importante, no sólo porque permite calcular la porosidad, sino que además, proporciona por sí mismo diversa información útil; cantidad de sólido contenido en un volumen de sustrato comprado a granel, preparación de mezclas, ejecución del análisis químico en base a volumen, etc. (Ansorena, 1994).

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 tienen que ser tomados en cuenta. En adición, el anclaje de las plantas debería ser también considerado como un factor de importancia (Abad *et al.*, 2004).

3.5.1.3. Permeabilidad

Definición

La conductividad hidráulica es la capacidad del sustrato para conducir el agua (Burés, 1998). Por lo que las propiedades hídricas del sustrato como la retención de agua y la permeabilidad dependen de la porosidad.

La conducción del agua en un medio poroso depende de la configuración espacial de los poros y continuidad de los mismos (permeabilidad) y de su geometría, a la vez que depende del material que forma la matriz del sustrato. La permeabilidad de un medio poroso y, por tanto, su conductividad hidráulica, son propiedades intrínsecas del medio que resultan de la estructura geométrica de los poros (Burés, 1997).

Funciones

La conducción del agua en un medio poroso depende de la configuración espacial de los poros y continuidad de los mismos (percolación) y de su geometría, a la vez que depende del material que forma la matriz del sustrato (Burés, 1998).

La permeabilidad se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que se absorban 10 mililitros 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 *et al.*, 2004).

Importancia

Es importante que el flujo de agua hacia las raíces de las plantas sea elevado con el fin de reponer el agua perdida por transpiración (Burés, 1998).

Algunos materiales orgánicos presentan dificultades para ser humedecidos inicialmente y para ser rehúmedecidos una vez que se han secado en el contenedor, lo que puede provocar un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta (Abad *et al.*, 2004).

3.5.1.4. La retención de agua y aireación

Definición

Los sustratos, desde el punto de vista físico nos aportan dos características principales determinantes para el cultivo en contenedor: por un parte, una elevada capacidad de retención de agua a bajas tensiones (0-100 cm de columna de agua) y que a esas tensiones se derivan el agua fácilmente disponible y el agua de reserva y simultáneamente una elevada capacidad de aireación (Burés, 1998).

La capacidad de aireación, es el porcentaje en volumen de agua que se libera al aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua sobre el sustrato o el tanto por ciento de aire que queda en el sustrato a una tensión de 10 cm de columna de agua.

Funciones

De Boodt *et al.*, (1974), desarrollaron en la Universidad de Gante (Bélgica) la “curva de liberación de agua para sustratos orgánicos”, basándose en establecer tensiones a sustratos situados en embudos de Haines mediante un sistema de vasos comunicantes. Fijando los límites de esta curva entre 0 y 100 cm de tensión y definieron la nomenclatura que todavía actualmente sigue vigente en numerosos laboratorios para clasificar el agua en los sustrato.

Importancia

El conocimiento de la cantidad de agua disponible es importante, ya que afecta a la frecuencia de riego, que puede esparcirse a medida que aumenta el valor de agua disponible. Además a partir de los datos de la curva de liberación de agua puede determinarse la tensión a la que se igualan los contenidos en aire y agua del sustrato. Este parámetro se denomina R, se expresa en cm de tensión de columna de agua y es

característico del sustrato. El parámetro R informa sobre la disponibilidad de agua a baja tensión para cultivos en contenedor de altura comprendida entre los 10 y 20 cm, una vez regados y drenados. Cuando R está comprendido entre los 10 y 30 cm, las raíces dispondrán de suficiente aire y agua fácilmente asimilable; si R es superior a 30 cm el contenido en aire será limitante, por lo que existe riesgo de asfixia radicular. Si R es inferior a 10 cm el sustrato estará muy aireado, pero apenas dispondrá de agua fácilmente asimilable (Ansorena, 1994).

Como se mencionó anteriormente la retención de agua y aireación se obtienen a través de la curva de liberación de agua de los sustratos (Figura 1) donde se determinan: el espacio poroso total, capacidad de aireación, agua fácilmente disponible y agua de reserva (Bures, 1997). En la determinación de las curvas de liberación de agua de los sustratos, se aplica un intervalo de succiones mucho más estrecho que va de 0-100 cm de columna de agua (cm de c.a.).

3.5.1.4.1. Espacio poroso total (% de volumen)

Definición

Es el espacio de aire y agua, formado por la suma de agua difícilmente disponible, agua de reserva, agua difícilmente disponible y capacidad de aireación y que se determina a partir de las densidades real y aparente. Se estima que un volumen >85% es el óptimo para un cultivo en contenedores o macetas (Burés, 1997; Abad *et al.*, 2004).

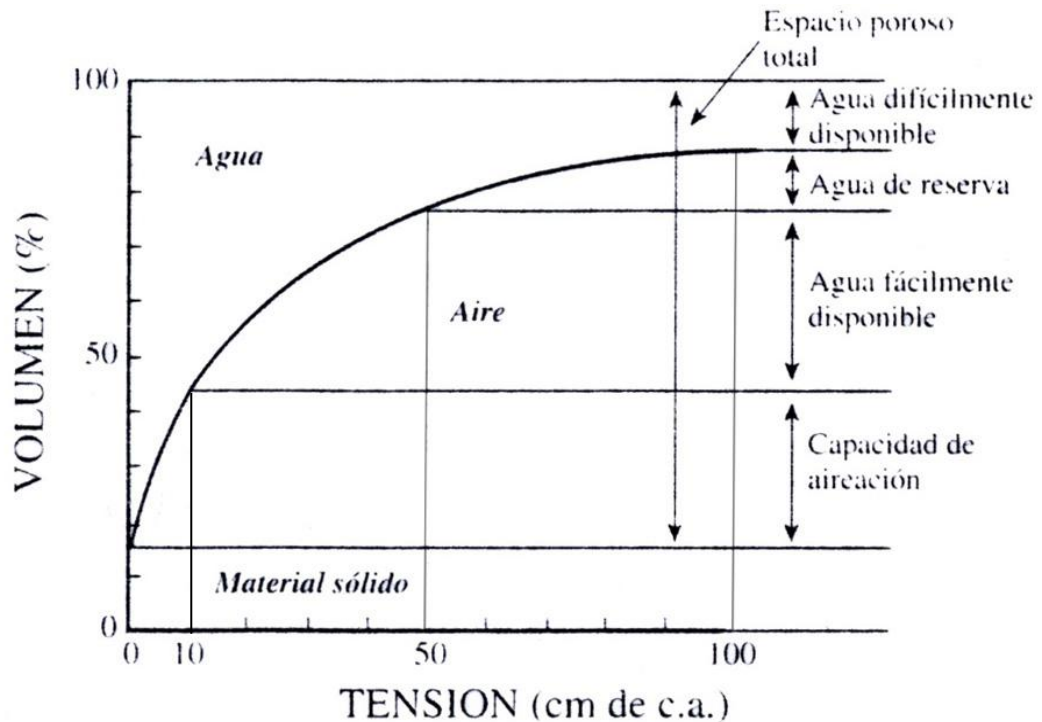


Figura 1. Curva de liberación de agua de los sustratos (De Boodt *et al.*, 1974).

Funciones

La porosidad puede ser (Abad *et al.*, 2004):

Intraparticular. Se refiere a los poros situados en el interior de las partículas del sustrato y a su vez se subdivide en:

- a) **Porosidad abierta.** El agua puede circular por el interior de las partículas, pudiendo participar en la nutrición hídrica de la planta.
- b) **Porosidad cerrada (ocluida).** No existe comunicación entre los poros del interior de las partículas y los que están en el exterior, entre dichas partículas. Por lo que su único efecto es el de proporcionar cierta ligereza a dicho sustrato y no influye en la distribución del agua y del aire en el sustrato.

Interparticular. Está constituida por los poros existentes entre las diferentes partículas.

Se requiere conocer la relación entre la fracción de la porosidad que proporciona el agua y la que proporciona la aireación.

Importancia

Una alta porosidad total no indica por sí misma una buena textura y/o estructura del sustrato. El total de poros en un sustrato se divide entre (Burés, 1999):

- 1. Poros “capilares”**, de pequeño tamaño (<30 µm) que son los que retienen el agua.
- 2. Poros no capilares o “macroporos”**, de mayor tamaño (>30 µm), que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así su aireación.

3.5.1.4.2. Capacidad de aireación (% de volumen)

Definición

Es 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. Por lo que se recomienda un rango entre 20-30 % del volumen como valor óptimo (Abad *et al.*, 2004).

Funciones

Si la textura y la estructura del sustrato son tales que la mayoría de los poros permanecen llenos de agua después del riego, el suministro de oxígeno se verá reducido de modo severo, el CO₂ se acumulará, se

producirá una liberación de etileno, resultando en una inhibición del crecimiento o marchitamiento de la planta (Abad *et al.*, 2004).

Importancia

La distribución del tamaño de los poros es clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos (Burés, 1998).

La profundidad (altura) del contenedor tiene un efecto marcado sobre el contenido en aire del sustrato: cuanto más profundo es el contenedor mayor es el contenido de aire. Cuando se usan contenedores pequeños o poco profundos, son preferibles los sustratos de textura gruesa, que mantienen una aireación adecuada (Burés, 1997).

3.5.1.4.3. Agua fácilmente disponible (% de volumen)

Definición

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 (mátrica), y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua. Por lo que se ha llegado a estimar un rango entre 20-30 % del volumen como un valor óptimo (Abad *et al.*, 2004).

Funciones

Con respecto a los sustratos lo que interesa es la capacidad de retención de agua fácilmente disponible y no la capacidad de retención total de agua (Burés, 1998).

Un sustrato puede tener baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible porque (Abad *et al.*, 2004):

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.
4. Una combinación de las situaciones anteriores

Importancia

Muchos experimentos han demostrado que una tensión de agua superior a 50 cm puede afectar desfavorablemente al crecimiento y el desarrollo de las plantas (Burés, 1998).

Los poros que se mantienen llenos de agua después del drenaje del sustrato son los de menor tamaño. Por lo que se tiene (Abad *et al.*, 2004):

1. Agua retenida por el sustrato y que es accesible para la planta.
2. Agua fuertemente retenida por el sustrato y que no es utilizable por la planta, ya que la succión de las raíces no es suficiente para superar el agua retenida por las partículas del sustrato.

3.5.1.4.4. Agua de reserva (% en volumen)

Definición

Es la cantidad de agua que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua. Por lo que se ha llegado a estimar un rango entre 4 y 10 % del volumen como un valor óptimo (Abad *et al.*, 2004).

Funciones

El límite de 100 cm de c.a. se encontró trabajando experimentalmente con especies del género *Ficus*. No es recomendable llegar a ese rango en plantas ornamentales cultivadas en sustratos. Sin embargo, en plantas hortícolas se pueden alcanzar tensiones de hasta 300 cm de c.a. sin afectar de modo significativo al crecimiento vegetal (Burés, 1998).

Importancia

Dentro del agua de reserva se tienen dos divisiones, que tiene que ver directamente con la asimilación de agua por la planta (Abad *et al.*, 2004).

Agua Totalmente Disponible de un sustrato es la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. Su volumen óptimo se sitúa entre el 24 y el 40% del volumen del sustrato.

Agua Difícilmente Disponible es el volumen de agua retenida por el sustrato a la tensión de 100 cm de c.a.

3.5.2. Propiedades químicas de los sustratos

Las propiedades químicas del sustrato se refieren de un modo macroscópico a las reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales, intercambio de iones o descomposición de la materia orgánica (Burés, 1998).

Las propiedades químicas y físico-químicas se derivan de la composición elemental de los materiales y del modo de estar los elementos fijados a éstos y su relación con el medio. La radiactividad de un sustrato se plasma en un intercambio de materia entre el material sólido que forma el sustrato y la solución del mismo. La reactividad química de los sustratos es el conjunto de reacciones químicas que tiene lugar por la interacción del agua con el material (reactividad química principalmente por

disolución e hidrólisis), por interacción de las cargas electrostáticas en la superficie del material que dan lugar al intercambio de iones entre la fase sólida y la fase líquida (reacciones de origen físico-químico) y por la biodegradación de la materia orgánica (reacciones de tipo bioquímico). Un sustrato podrá ser más o menos estable en el tiempo en función de su reactividad química, puesto que el material que compone el sustrato puede reaccionar con la fase líquida, liberando o adsorbiendo elementos nutritivos o bien puede ser un material que no se descomponga ni libere elementos solubles (Burés, 1997).

Entre las propiedades químicas más importantes de los sustratos se pueden citar (Burés, 1998):

- pH
- Conductividad eléctrica.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Capacidad tampón.
- Contenido de elementos nutritivos.
- Materia orgánica.
- Relación carbono/nitrógeno.
- Sustancias húmicas y sustancias con efecto regulador de crecimiento (fenoles y hormonas).

3.5.2.1. pH

Definición

En un medio líquido cualquiera, la presencia de iones H^+ determina lo que se llama la reacción ácido-básica de este medio, expresada por el pH; éste se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones H^+ en el medio. Se puede decir que el pH es una medida de la concentración en iones H^+ . En el caso de un sustrato, la definición anterior hay que corregirla: en efecto, es preciso decir el pH de la solución en la

que está bañado el sustrato, pues los iones H^+ existentes en la solución son el resultado de un equilibrio de intercambio con los iones H^+ adsorbidos sobre el sustrato (Lemaire *et al.*, 2005).

Funciones

El pH forma una escala que va de 0 a 14 siendo los valores: ácido ($pH < 7.0$), neutro ($pH = 7.0$) y básico ($pH > 7.0$). El valor del pH varía en función de la dilución, por lo que cuando se comparen distintos pH deben estar realizados con la misma proporción de sustrato: agua (Burés, 1998). Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo estrecho (Lemaire *et al.*, 2005).

La asimilabilidad de los elementos nutritivos es afectada de modo marcado por el pH. Con pH de 5.0 a 6.5, la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad. Por debajo de $pH = 5.0$ pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, etc., mientras que por encima de $pH = 6.5$ puede disminuir la asimilabilidad de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu. Los óxidos metálicos (de Fe, Mn, Cu, Zn, etc.) se hacen más solubles al bajar el pH (por debajo de 5.0), pudiendo llegar a resultar fitotóxicos (Abad *et al.*, 2004).

Importancia

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 el desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad extremas (Abad *et al.*, 2004).

El conocimiento de pH es interesante para el manejo de la fertilización y la satisfacción de las exigencias de las plantas (Lemaire *et al.*, 2005).

El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Abad *et al.*, 2004).

3.5.2.2. Conductividad eléctrica (dS m⁻¹).

Definición

Desde el punto de su aplicación práctica, la conductividad eléctrica es considerada una propiedad química y se refiere a la concentración de las sales solubles presentes en solución del sustrato (Burés, 1999; Abad *et al.*, 2004). Sin embargo, desde el punto de vista de su determinación esta propiedad considera aspectos físicos, ya que al medir la conductividad eléctrica de un extracto esta permite determinar la concentración de iones en el líquido, la cual puede variar con la naturaleza de esos iones. En esta medición se aplica un voltaje de alta frecuencia alterna por medio de un conductímetro, a dos electrodos colocados a una distancia fija y teniendo una muestra de líquido entre ellos. La resistencia a través del electrodo es registrada por el conductímetro el cual normalmente esta calibrado en micromhos. El valor de la CE obtenido es ajustado a una temperatura standard de 25° C, y usualmente se reporta en milimhos por cm o dS m⁻¹ (deciSiemens metro) (Chavira y Castellanos, 1987).

Funciones

Las razones para que se produzca una acumulación excesiva de sales, que dé lugar a problemas de salinidad, puede ser debida a diferentes causas (Ansorena, 1994):

- Presencia de concentraciones elevadas de sales en alguno de los componentes del sustrato (por ejemplo, algunas turbas salinas extraídas en zonas próximas al mar).
- Aporte excesivo de nutrientes con los abonos o el agua de riego.

- Mineralización incontrolada de determinados fertilizantes orgánicos o de liberación lenta.

Un incremento en la salinidad, si se presentase, puede ser prevenido, o corregido, mediante lixiviación controlada. La lixiviación con agua de buena calidad hasta conseguir un volumen de lixiviado equivalente al volumen del contenedor, debería corregir el problema de la salinidad. Otras medidas para atenuar los efectos de la salinidad, son: 1) Mantener el medio de cultivo permanentemente húmedo, 2) No aplicar fertilizantes en polvo ni soluciones fertilizantes con elevada fuerza iónica cuando el medio esté seco, y 3) Reducir el estrés de las plantas mediante sombreado e incremento de la humedad relativa ambiental (Abad *et al.*, 2004).

Importancia

La concentración total de sales afecta al potencial osmótico que está relacionado con la concentración de iones en la fase líquida del sustrato (Burés, 1998).

A consecuencia del reducido volumen de medio del medio de cultivo de que disponen las raíces de las plantas cultivadas en contenedor, la concentración de nutrientes en la solución acuosa suele ser elevada, muy superior a la que es habitual en cultivos de campo en suelos minerales. Con ello aumenta el riesgo de acumulación de niveles excesivos de sales disueltas, lo que se conoce como salinidad (Ansorena, 1994).

3.5.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (Miliequivalentes 100 g⁻¹)

Definición

Es la suma de los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos

frente al efecto lixiviante del agua y están disponibles para la planta (Abad *et al.*, 2004). Se expresa generalmente en miliequivalentes por 100 g de sustrato o, mejor, por litro de sustrato. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la suma de todos los cationes intercambiables o complejo de cambio. Los cationes divalentes generalmente están adsorbidos con más fuerza que los monovalentes y se intercambian con más dificultad, excepto el H⁺ (Burés, 1997).

Funciones

Cuando se determina la CIC en laboratorio se puede determinar los cationes desplazados o intercambiables y se conoce como CIC efectiva, porque es la que va tener consecuencias agronómicas, ya que refleja mejor las condiciones reales del medio de cultivo en que se desarrollan las raíces de las plantas, y es más útil en la caracterización de suelos cuya carga negativa es mayoritariamente dependiente del pH, como los suelo o sustratos orgánicos (Ansorena, 1994).

Una CIC elevada constituye un depósito de reserva para los nutrimentos, mientras los materiales con baja CIC, como la mayoría de los sustratos minerales, retienen cantidades reducidas de nutrimentos y requieren una aplicación frecuente y regular de fertilizantes. Los sustratos orgánicos presentan una elevada CIC (Abad *et al.*, 2004).

Importancia

El valor óptimo de la capacidad de intercambio catiónico de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación. Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de los cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula capacidad de intercambio catiónico. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, se recomienda la utilización de sustratos con

moderada a elevada CIC, en todo caso superior a 20 me 100 g⁻¹ (Abad *et al.*, 2004).

3.5.2.4. Capacidad tampón.

Definición

Es la capacidad del sustrato para mantener la concentración de nutrientes y amortiguar los cambios abruptos de pH en la solución (Abad *et al.*, 2004).

Funciones

La capacidad tampón de un sustrato mide su poder amortiguador sobre cambios rápidos de pH provocados por la adición de fertilizantes de carácter ácido o básico al sustrato y se estima mediante las curvas de valoración del sustrato frente a los ácidos y las bases. La capacidad tampón de un sustrato aumenta con la capacidad de intercambio catiónico. El sustrato puede trasladar los iones H⁺ de los ácidos adicionados o neutralizar los grupos OH⁻ de las bases adicionadas por intercambio catiónico o por neutralización. El poder tampón de los sustratos orgánicos es en general superior al de los inorgánicos puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón frente a un amplio margen de pH (Burés, 1997).

Importancia

La capacidad tampón aumenta con la capacidad de intercambio catiónica. El poder tampón de los sustratos orgánicos es en general superior al de los inorgánicos puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón a un amplio margen de pH (Burés, 1998).

3.5.2.5. Contenido de elementos nutritivos

Definición

Es la cantidad de elementos nutrimentales presentes en la solución del sustrato y que son derivados principalmente de fuentes orgánicas, sin embargo pueden ser de origen inorgánico (fertilizantes) (Burés, 1998). El contenido de elementos nutritivos se encuentra en forma libre en la solución del sustrato o en forma intercambiable (solubles o extractables) (Burés, 1997).

Funciones

En un momento dado, los nutrimentos disponibles para la planta serán aquéllos que se encuentran disueltos en la solución del sustrato, más los retenidos por el complejo de cambio. Los nutrimentos disueltos serán asimilables inmediatamente, mientras que los retenidos en el complejo de cambio lo serán a más largo plazo, a medida que van pasando a la solución para compensar la disminución de concentración por absorción de la planta (Ansorena, 1994).

Los métodos de análisis de los nutrimentos asimilables consisten fundamentalmente en equilibrar una muestra del sustrato con una solución extractante (agua, acetato de amonio, etc.) durante un tiempo normalizado. Una vez alcanzado el equilibrio, se determinan los nutrimentos disueltos o extraídos por dicha disolución. Los métodos analíticos más extendidos presentan una correlación elevada con la respuesta vegetal, en unas determinadas condiciones del sustrato (Abad *et al.*, 2004).

Importancia

La capacidad de aportar nutrimentos de un sustrato depende de la cantidad de elementos nutritivos que éste posea y de la capacidad de

intercambio catiónico. En sustratos orgánicos tales como turbas, corteza de pino o tierra de bosque, la cantidad natural de nutrimentos asimilables es pequeña, mientras que cuando se utilizan sustratos orgánicos provenientes de excrementos animales o residuos urbanos, algunos de los nutrimentos pueden presentar niveles elevados (Burés, 1998).

Los sustratos de crecimiento de plantas ya sean materiales individuales o mezclas de éstos, que no contengan suelo, usados para la producción de plantas en invernadero, proveen generalmente una baja cantidad de nutrimentos, en donde la solución del sustrato es la fuente primaria para suministrar los elementos esenciales para el crecimiento de plantas (Jones, 2001).

En cualquier caso, y para un crecimiento óptimo de las plantas, deberían añadirse siempre nutrimentos adicionales, como fertilizantes de base y/o como fertilizantes durante ciclo de cultivo (fertilización de cobertera) (Abad *et al.*, 2004).

3.5.2.6. Materia orgánica

Definición

Todos los materiales orgánicos que no son de síntesis (polímeros orgánicos no biodegradables que se suelen obtener mediante procesos químicos) son inestables termodinámicamente y son por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis o bien por reacciones de microorganismos, o descomposición biológica (Burés, 1997).

Los componentes orgánicos de los sustratos están formados mayoritariamente, por restos de vegetales muertos, más o menos fermentados (Corteza de pino, cascarilla de arroz, etc.). También se empiezan a utilizar como sustratos restos de animales muertos, restos de huesos, pieles, etc., además de otros materiales orgánicos, como de los

derivados de excrementos (estiércol), lodos de depuración de aguas, etc. (Burés, 1998).

Los tejidos vegetales, que forman la mayor parte de los sustratos orgánicos, contienen un amplio número de compuestos orgánicos, como los carbohidratos, aminoácidos y proteínas, lípidos, ácidos nucleicos o las ligninas (estos últimos resistentes a la degradación por los microorganismos). Es decir que a mayor contenido de lignina y una mayor relación carbono/nitrógeno, la velocidad de descomposición será menor.

Los carbohidratos pueden dividirse en monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos; estos últimos incluyen a la celulosa y la hemicelulosa y pueden hidrolizarse dando lugar a monosacáridos. Los polisacáridos tienen un papel importante en las reacciones químicas de los medios orgánicos. Por su parte, los residuos de origen animal tienen aminoácidos en forma de proteínas, también tienen restos lignocelulósicos y aportan una gran cantidad de elementos minerales (Abad *et al.*, 2004).

La composición de los residuos orgánicos varía ampliamente, según el tipo y manejo previo que se haya hecho de ellos. Así mismo, existen diversas maneras de agrupar esos constituyentes orgánicos. Alexander (1994) da la siguiente lista de los principales componentes y su proporción relativa de los residuos orgánicos: a) celulosa (15-60%), b) hemicelulosa (10-30%), c) lignina (5-30%), d) fracción soluble en agua (azúcares simples, aminoácidos, ácidos alifáticos, etc) (5-30%), e) fracción soluble en alcohol y éter, grasas, aceites, ceras, resinas, pigmentos, etc., y f) proteínas (1-13%) (Rodríguez, 1996).

De acuerdo con los niveles óptimos de las propiedades químicas de los sustratos orgánicos, Abad *et al.*, (2004) mencionan que la materia orgánica total debe tener un 80% como nivel óptimo y de cenizas menor al 20%.

Funciones

La presencia de materia orgánica en un sustrato actúa como un reservorio dosificador de nutrimentos, no sólo en cuanto a su capacidad de intercambio catiónico elevada, sino también por la capacidad de transformar cationes metálicos en complejos metálicos solubles disponibles para las plantas y actuar como inactivadora de metales pesados, reduciendo los riesgos de fitotoxicidad causada por los mismos (Burés, 1997).

A efectos prácticos, la degradación de la materia orgánica se manifiesta en el sustrato orgánico mediante la aparición de deficiencias de nitrógeno, liberación de elementos y sustancias que pueden ser beneficiosas o fitotóxicas, cambios en el balance de la reacción O_2/CO_2 , reducciones de volúmenes del sustrato, etc. (Burés, 1998).

La presencia de materia orgánica en un sustrato actúa como un reservorio dosificador de nutrimentos, no solo en cuanto a su capacidad de intercambio catiónico elevada, sino también por la capacidad de transformar cationes metálicos en complejos metálicos solubles disponibles para las plantas y actuar como sumidero de metales pesados, reduciendo los riesgos de fitotoxicidad causada por los mismos (Burés, 1997).

Importancia

La materia orgánica y las sustancias húmicas, derivadas de su descomposición sufren continuamente ataques microbianos, liberando compuestos carbonatados a la vez mineralizan elementos como el nitrógeno y el fósforo que son nutrimentos para las plantas, contribuyendo de este modo a mejorar la fertilidad del medio. Donde las sustancias húmicas tienen un papel importante en la disponibilidad de micronutrimentos para las plantas, puesto que forman complejos con los metales como el hierro, manganeso, cinc y cobre, y contribuyen a mejorar

la absorción por las plantas del fósforo, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio (Burés, 1997).

La materia orgánica y los productos, o sustancias húmicas (materiales más estabilizados bioquímicamente) derivados de la descomposición sufren continuamente ataques microbianos, liberando compuestos carbonatados a la vez que se mineralizan elementos como el nitrógeno y el fósforo que son nutrimentos para las plantas, contribuyendo de este modo a mejorar la fertilidad del medio (Burés, 1998).

3.5.2.7. Relación carbono/nitrógeno

Definición

La relación C/N se ha utilizado ampliamente como indicador del origen, del grado de madurez y de la estabilidad de la materia orgánica, puesto que su valor depende del material y decrece a medida que fermenta la materia orgánica (Burés, 1998; Abad *et al.*, 2004).

En general varía entre 5 y 30 para un material compostado y una C/N inferior a 20 se suele tomar como indicadora de madurez y estabilidad (Burés, 1999). Sin embargo, Abad *et al.*, (2004) consideran que una relación C/N inferior a 40 es considerada como óptima para el cultivo en sustrato y es un índice de un material orgánico maduro y estable.

Funciones

Existen diversas características que se toman en cuenta para estimar la bioestabilidad de los sustratos, lo cual implica la posibilidad de reutilizar los materiales varios ciclos de cultivo. Por lo que la relación C total / contenido de N total, entre más alta, más lenta es la descomposición y mejor será la bioestabilidad. Así las cortezas y aserrín de pino y la cascarilla de arroz parecen interesantes desde este punto de vista (Lemaire *et al.*, 2005).

A su vez esta relación C/N tiene que ver con la presencia de microorganismos heterotróficos (que requieren carbono orgánico como fuente de energía) que se encargan de la transformación de los residuos orgánicos (Campbell, 1978).

Importancia

Los daños que aparecen en las plantas cultivadas sobre 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 y utilizan el nitrógeno para la síntesis de sus proteínas celulares. El oxígeno es también consumido por la actividad microbiana (Abad *et al.*, 2004).

3.5.2.8. Sustancias húmicas y sustancias con efecto regulador de crecimiento (fenoles y hormonas).

Definición

Los residuos orgánicos que se transforman a través de compostaje o vermicompostaje, son la fuente del humus de los sustratos, así como la principal fuente de energía para la mayoría de los microorganismos y organismos que habitan el sustrato. La actividad de estos organismos genera la formación de sustancias húmicas (Rodríguez *et al.*, 1994).

La materia orgánica usualmente se subdivide en dos grandes categorías: sustancias no húmicas y sustancias húmicas (Rodríguez, 1996).

La fracción no húmica de la materia orgánica consiste de compuestos orgánicos aún no descompuestos; la mayor parte de estos son de bajo peso molecular y pueden ser utilizados como sustratos por los microorganismos y como tales pueden tener una existencia relativamente corta en el suelo. Entre estas sustancias están: carbohidratos, proteínas,

auxinas, alcoholes, aminoácidos, ligninas, grasas, ceras, resinas, pigmentos y otras sustancias de bajo peso molecular que pueden llegar a representar entre un 10 a 15% del total de la materia orgánica (Rodríguez, 1992).

Funciones

Algunos productos derivados de la descomposición de la materia orgánica, como los derivados fenólicos, afectan el balance hormonal inhibiendo o favoreciendo la actividad de las hormonas vegetales. Algunos materiales como las cortezas, contienen sustancias que inhiben el crecimiento y que se eliminan generalmente mediante el compostaje. Existen también algunas hormonas ligadas a la materia orgánica, como las auxinas, o el etileno que se liberan en condiciones reductoras (por ejemplo, exceso de agua).

Importancia

Las sustancias húmicas de la materia orgánica son moléculas complejas con diversas características, como las siguientes: elevado peso molecular, propiedades coloidales, capacidad de adsorción y desorción iónica, liberación de nutrimentos a mediano y a largo plazo, etc. (Rodríguez, 1996).

Las sustancias húmicas pueden mejorar la estructura o la agregación del sustrato, y consecuentemente la aireación, capacidad de retención de humedad, permeabilidad y otras características esenciales para la producción de cultivos (Abad *et al.*, 2004).

En el aspecto químico las sustancias húmicas actúan como un reservorio de nutrimentos, los cuales son liberados de manera paulatina, así como almacén de contaminantes. La adsorción química de moléculas por las sustancias húmicas en el sustrato; es de gran relevancia ambiental y

puede usarse en el control de los contaminantes como los pesticidas en los sustratos (Rodríguez, 1992).

3.5.2.9. Toxicidad del sustrato

Definición

La utilización directa de muchos materiales orgánicos frescos, es decir sin tratar, presentan diferentes inconvenientes como la toxicidad a los cultivos, ocasionado por sustancias orgánicas, metales pesados, etc.), inmovilización del nitrógeno, deficiencia de oxígeno a nivel de raíces, etc. Dentro de las toxinas orgánicas (fenoles, resinas, taninos, etc.) e inorgánicas (manganeso) de la corteza de los árboles (pino, píceas, etc.) (Abad *et al.*, 2004).

La preparación de sustratos consiste en mezclar los materiales constituyentes de los mismos de un modo uniforme. Aunque las mezclas a nivel práctico suelen contener entre dos y cuatro ingredientes que nos den las características adecuadas para el cultivo en cuestión, es importante conocer el origen de cada material ya que principalmente los de origen orgánico son más reactivos sobre todo cuando están poco descompuestos como las turbas y que en presencia de agua y oxígeno tienden a descomponerse. De ahí que se tiene que poner atención en ciertas sustancias que pueden causar un efecto tóxico para cualquier cultivo. Como ejemplo podemos mencionar a los compuestos fenólicos, los cuales se describirán en este apartado en mayor detalle.

Funciones

Existe evidencia de que los ácidos orgánicos fenólicos se originan mediante la descomposición de residuos vegetales.

En residuos de diversos cultivos de cereales se han encontrado e identificado varios ácidos fenólicos (ácido cafeico, ácido ferúlico, p-

cumárico, ácido siríngico, ácido vainillico) donde el p-cumárico por lo general es el que se encuentra en mayores proporciones con respecto a los demás (Rodríguez, 2004).

Lo que demuestra que el mecanismo fisiológico de la acción alelopática (interacciones recíprocas de estimulación, inhibición o autotoxicidad que interfiere con el crecimiento de las plantas a través de sustancias producidas por ellas o liberadas al medio), involucra la alteración de las funciones de la membrana celular, despolarizando el diferencial en el potencial eléctrico en las membranas, siendo esta una fuerza primaria para la absorción activa de iones.

Síntomas de toxicidad en plantas

- Medida de la reducción del crecimiento.
- Medidas de cambios de color (diferencias de color en hojas y en contenido de clorofila).
- Medidas de índices que puedan asociarse con las características específicas que interesan estudiar (por ejemplo para la salinidad, el número de estomas por unidad de área foliar o el contenido de agua por unidad de área foliar).

Importancia

Se han encontrado efectos de los ácidos fenólicos en las plantas, con respecto a la acción de los mismos en la absorción nutrimental, ya que presentan cambios en la concentración de nutrimentos en plantas que tuvieron algún contacto o interacción con ácidos fenólicos específicos.

Otra efecto de los ácidos fenólicos es la de inhibir la mitosis de las raíces de las plantas, donde la presencia del ácido p-cumárico bloquea la mitosis de raíces del cultivo de cebolla. Por otra parte ciertos ácidos fenólicos reducen el contenido de clorofila y con ello la producción de fotosintatos (Putman, 1984; en Rodríguez, 2004).

Rodríguez-Macías *et al.* (2005) realizaron compostas y vermicompostas a partir de bagazo de agave tequilero, con y sin estiércol de borrego precompostado en proporciones de 4:1, los cuales fueron evaluados como sustratos en plantas de brócoli. Los resultados en altura de la plantas de brócoli no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de vermicompostado (T1), compostado (T2) y testigo musgo Sunshine (T3) a diferencia del bagazo bruto (T4). El peso seco obtenido en las plántulas desarrolladas en el T1 resulto igual al T3. El diámetro de tallo fue igual en todos los tratamientos. En el peso seco (g) fue mayor en los tratamientos T1 y T3. Estos valores se deben a diferencias en sus propiedades físicas, como, la porosidad, y por lo tanto menor retención de humedad. Así las plántulas de brócoli pueden desarrollarse sin problema en sustratos de bagazo de agave tequilero, en concentraciones menores a $20 \mu\text{g mL}^{-1}$ de ácidos fenólicos totales (Rodríguez, 2004).

3.5.3. Propiedades biológicas

3.5.3.1. La bioestabilidad

Definición

Está relacionada con la resistencia a la biodegradación de los materiales orgánicos, que pueden entrar de nuevo en la descomposición del sustrato (Lemaire *et al.*, 2005).

Todos los sustratos orgánicos, incluso los relativamente estables, son susceptibles de degradación biológica, viéndose favorecida esta situación por las condiciones ambientales que prevalecen en los invernaderos. La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en los sustratos de

cultivo, considerada de modo global, es desfavorable es desfavorable desde el punto de vista hortícola, debiéndose tomar precauciones con el objeto de minimizar sus efectos sobre las plantas. La bioestabilidad implica la velocidad de transformación física y química de los sustratos (Abad *et al.*, 2004).

Funciones

La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, proteínas, etc.), determina la velocidad de descomposición. Desde el punto de vista práctico, se puede reducir el contenido relativo de dichas sustancias mediante compostaje y, también, manteniendo niveles suficientes de nitrógeno asimilable (Abad *et al.*, 2004).

Las consecuencias por la falta de estabilidad biológica, se ven reflejados en las características físicas y químicas del sustrato son (Lemaire *et al.*, 2005):

- La aparición de una compactación por pérdida de volumen y disminución de la porosidad total, agravado por el fraccionamiento y precipitación del material, debido a los elementos nuevamente formados finos y coloidales;
- La disminución del contenido en aire y el aumento del contenido en agua a -1 kPa;
- La alteración en las dimensiones de las partículas: Lemaire *et al.* (1980) han mostrado que las cortezas de pino llegan a ser más gruesas después de ocho meses en ausencia de plantas cultivadas.
- La modificación de la composición de la fase gaseosa con un aumento del contenido en CO₂ y una disminución del contenido en

O₂ como consecuencia de la actividad de la actividad de los microorganismos que compiten con la de las raíces

- El aumento del pH (H₂O) y de la CIC.
- El aumento de la salinidad por la producción de elementos minerales por mineralización con un riego de exceso.
- La síntesis de materiales orgánicos nuevos (ácidos húmicos, ácidos orgánicos alifáticos y aromáticos, etc.), que pueden tener efectos fitotóxicos y/o de estimulación sobre el crecimiento de las plantas.

Importancia

La bioestabilidad es una propiedad importante sobre todo cuando se pretende trabajar con ellos en más de un ciclo de cultivo (reciclamiento de materiales), pero dicho proceso dependerá de los componentes de los sustratos y manejo que se les dé a los mismos, así como la presencia de microorganismos. Además esta propiedad repercute directamente en el factor económico, ya que el hecho de reutilizar un sustrato por más de un ciclo, tendrá un efecto en el precio de producción de cualquier cultivo (Abad *et al.*, 2005).

3.6. La clasificación de los sustratos por su naturaleza química

Los sustratos se dividen de acuerdo a su naturaleza química en dos grandes grupos: a) Sustratos orgánicos, y b) Sustratos minerales o inorgánicos (Urrestarazu y Salas, 2004):

3.6.1. Sustratos orgánicos: El concepto de sustrato orgánico se aplica a un grupo muy amplio de materiales sólidos para fines hortícolas, y que a su vez se subdividen en (Urrestarazu y Salas, 2004):

- **Los de origen natural:** que se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica como lo son las turbas.
- **Los materiales de síntesis:** como polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (por ejemplo, espuma de poliuretano o poliestireno expandido).
- **Los residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo:** la mayoría de estos materiales deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos dentro de los que tenemos residuos sólidos orgánicos, fibra de coco, bagazo de agave, etc.

3.6.2. Sustratos inorgánicos (minerales): Este grupo se subdivide a su vez en tres tipos de materiales dentro de los que encontramos a:

- **Los de origen natural,** que se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, los cuales no son biodegradables y de los cuales podemos mencionar a la arena, grava y piedras volcánicas.
- **Los transformados o tratados industrialmente** que se derivan de rocas minerales, mediante tratamientos físicos y a veces también químicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida, como lo son la perlita, vermiculita, agrolita, etc., y
- **Los residuos y subproductos industriales** que comprenden los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles de carbón, etc.).

3.7. Elaboración de mezcla de sustratos

Los sustratos orgánicos o inorgánicos no reúnen por sí solos las características más adecuadas físicas, químicas y biológicas, para lograr las condiciones de cultivo adecuadas. En la mayoría de los casos se requiere mezclarlo con otros materiales, en distintas proporciones, para adecuarlo a las condiciones requeridas de cultivo. Siempre que se mezclan dos o más materiales, deberá prestarse una especial atención a la homogeneidad de la mezcla resultante, con objeto de obtener materiales bien homogeneizadas (Abad *et al.*, 2004).

Tradicionalmente, los sustratos se obtienen por el método de “ensayo y error”. Es decir, se parte de una serie de materiales conocidos, se mezclan en distintas proporciones, y se analizan los sustratos resultantes, seleccionando aquellos que tienen las características más adecuadas. Si el número de materiales es muy elevado, esto puede resultar en numerosas muestras a analizar. Evidentemente, el sentido común y la práctica evitan muchas mezclas innecesarias. Sin embargo, si a esto añadimos optimizar el coste de los materiales, o maximizar la dosis de un determinado material, resultaría extremadamente complicado elaborar sustratos (Burés, 1997).

Durante los últimos años se han desarrollado diversas técnicas para obtener mezclas con propiedades adecuadas. A través de programas de cómputo se ha implementado el trabajo de decidir que mezcla se puede preparar o como se puede elegir un determinado sustrato, situación que facilitado considerablemente el proceso de fabricación de mezclas (Burés, 1998).

Existen dos técnicas conocidas de mezclas que se han aplicado a nivel experimental a los sustratos. Una de ellas es la programación lineal y la otra es la teoría de las mezclas. Ambas técnicas han sido aplicadas a los sustratos en dos aspectos distintos: la programación lineal se utiliza para

la obtención de proporciones de materiales y la teoría de mezclas para el estudio de la contracción del volumen en sustratos (Burés, 1999).

Las técnicas de programación lineal consisten en establecer un sistema de ecuaciones que contienen las propiedades de las materias primas y definir a la vez las propiedades del sustrato a elaborar. Mediante un programa de cómputo se obtienen las mezclas que cumplen las características deseadas. A este programa se pueden añadir otros factores, como la optimización del coste del sustrato. La teoría de las mezclas fue aplicada más recientemente para el estudio de la contracción del volumen de las mezclas (Burés, 1997).

Hay diversos sustratos y mezclas que se usan en la multiplicación de tubérculos, enraizamiento de esquejes y producción de plántulas, esquejes o tubérculos procedentes de invernadero en macetas o camas de almácigos. Específicamente en cultivares de papa enraízan con facilidad en una gran diversidad de sustratos. El sustrato puede influir no sólo en el porcentaje de enraizamiento, sino también en la calidad del sistema radicular (Hidalgo *et al.*, 1999).

3.8. Desinfección de sustratos

La producción de plantas en sustratos, busca con la desinfección garantizar el estado sanitario del sustrato y permitir en su caso la reutilización del mismo. Así la desinfección representa un costo dentro del proceso de producción, y es un proceso que deberá evitarse de ser posible (Martín, 1999).

Las opciones que existen para desinfectar sustratos son dos (Martín, 1999):

- a) eliminación del sustrato y establecimiento de uno nuevo y
- b) desinfección y reutilización del sustrato desinfectado.

La desinfección de los sustratos es recomendable ya que con este procedimiento se eliminan microorganismos patógenos, además de semillas de hierbas, insectos y nematodos (Martínez, 1994).

La opción finalmente escogida es una decisión económica para la explotación, que debe contemplar además las consecuencias medio ambientales que están implícitas en las opciones (Burés, 1997).

En el momento de elegir el sustrato se deben considerar los problemas que pueden acarrear su reutilización al final de su vida útil. El sustrato si es nuevo no será necesaria su desinfección, al final del ciclo de cultivo puede ser reutilizado fuera de la explotación para otras finalidades. Si se utilizan sustratos orgánicos (turba, fibra de coco, etc.) al acabar su vida útil lo podrán integrar en un suelo de cultivo, ahorrándose así un problema de residuos. En otros casos, como en el cultivo en maceta de planta ornamental, el sustrato forma parte del producto final y por lo tanto no será reutilizado en la explotación (Martin, 1998).

La desinfección del sustrato debe estar justificada desde el punto de vista económico y ambiental. Técnicamente la desinfección se tiene que llevar a cabo de manera que proporcione resultados efectivos a un costo aceptable. La elección de los sustratos para su posterior mezcla, condiciona el método de desinfección a emplear antes de reutilizar los materiales. No es recomendable desinfectar una turba, o en general cualquier sustrato de origen orgánico, con bromuro de metilo u otros fumigantes que puedan fijar residuos tóxicos, mientras que esto no sucede con sustratos más inertes como la perlita (Lemaire, 2005).

La desinfección es una esterilización del sustrato, originando un medio inicial sin la presencia de microorganismos, o como una esterilización parcial en la que solo es eliminada una parte de la microbiota del sustrato. Es recomendable la eliminación de organismos patógenos, dejando los benéficos para una posterior recolonización del medio (Burés, 1997).

Sánchez (2005) evaluó el comportamiento microbiológico y de producción de una mezcla de sustratos (15% de lombricomposta de pulpa de café + 15% de estiércol composteado de bovino + 70% de agrolita), con dos dosis de radiación gamma (0 y 3 Mrad) a nivel invernadero en la producción de minitubérculos de la variedad Atlantic, en bolsas de polietileno de 2 litros. El tratamiento con radiación mostró una tendencia de presentar mayor peso seco de tubérculos (12.07 g) que el testigo con 11.43 g (producción final). De igual forma se comportó la variable número de tubérculos > a 1.5 cm donde en el tratamiento testigo se obtuvieron 160 tubérculos contra 169 en el tratamiento 3.0 Mrad sin diferencias significativas. Concluyendo que al aplicar 3 Mrad como método de desinfección al 1er conteo de microorganismos (2º día de la aplicación de la radiación) se eliminaron al 100% los microorganismos (hongos, bacterias y actinomicetos), sin embargo hubo una recuperación de la población durante los siguientes muestreos.

La desinfección con ozono y luz ultravioleta son apropiadas para las soluciones nutritivas o para el agua de riego, por lo que no aplica para sustratos propiamente, además de que ambos métodos son muy costosos (Burés, 1998).

3.8.1. Desinfección con vapor de agua

Los métodos de desinfección física se basan en la aplicación del calor al sustrato, ya sea a través de vapor de agua o utilizando técnicas que eleven la temperatura del sustrato, mediante la energía solar desinfección o solarización.

La desinfección por vapor de agua consiste en aplicar éste, mezclado con aire o no, a temperaturas de 70-80 °C durante 20 a 30 minutos para la desinfección de sustratos, eliminando a la mayoría de patógenos, dejando a los microorganismos que son en general más resistentes a elevadas temperaturas. No origina problemas de acumulación o emisión de

residuos químicos. Aunque puede llegar a afectar el tamaño de los materiales y por consiguiente el volumen del sustrato.

El método es eficaz si el sustrato permite una buena penetración del vapor (sustrato no compactado), por lo que requerirá de movimiento durante la aplicación de vapor, de humedad, y temperatura. Además de que los microorganismos a eliminar no deben presentar formas de resistencia. En general puede darse una acumulación de amonio y, en sustratos que presenten sales minerales éstas podrían transformarse a formas más solubles y generar salinidad. El inconveniente principal de este sistema es el gasto energético que supone la producción de vapor. Aunque este costo podría verse amortizado cuando el sustrato es reutilizado a través de esta metodología.

3.8.2. Solarización

Este método consiste en cubrir el sustrato (o mezcla) con un plástico transparente y exponer a la radiación solar durante un periodo de tiempo (mínimo 30 días). En zonas de clima cálido y bajo invernadero se pueden conseguir temperaturas de 36 a 50 °C en los primeros 30 cm del sustrato. La eficiencia de este método depende del material que se utilice para cubrir el suelo para la desinfección con vapor de agua; su costo energético es bajo. Su principal desventaja es el tiempo necesario para su aplicación.

3.8.3. Desinfección con bromuro de metilo

Los métodos de desinfección química más habituales consisten en la aplicación al sustrato de productos químicos de elevada volatilidad. Básicamente se pueden clasificar en dos grupos: los hidrocarburos alifáticos en los que se incluyen el bromuro de metilo y el dicloro-propeno y los que liberan metil-isocianato, entre los que se incluyen el dazomet y el metam-sodio. También se utilizan pesticidas de espectro más específico, como algunos fungicidas, bactericidas y nematocidas. Se está

limitando mucho el uso de bromuro de metilo, lo que repercute en una utilización cada vez más frecuente de otros pesticidas, especialmente de metamsodio y dazomet (Martín, 1999).

3.9. Importación de la turba en México

La utilización en México de residuos orgánicos como sustitutos de la turba importada de norte de Europa, Estados Unidos y Canadá empezó en los años 80's con motivo del incremento de los precios de la misma (Esquivel, 2001).

La dinámica de la importación de sustratos en México, es una buena prueba de la importancia que los cultivos sin suelo están tomando en la actualidad, ya que la turba tuvo su mayor cuota de importación en 2009 con 2 308 toneladas y un costo de 1 174, 440.00 dólares americanos con. Sin embargo, en 2010 y 2011 se disminuyeron ligeramente los volúmenes importados 1,831 y 2,214 toneladas, con un costo de \$698, 673.00 dólares americanos (2010) y 894,782.00 (2011) dólares americanos respectivamente (Cuadro 1). Estas cifras son una muestra de la demanda de los horticultores nacionales y de la importancia económica que representan respecto a la producción hortícola, ornamental y viverística del país. Así como de la necesidad de consolidar una alternativa tecnológica, encaminada a satisfacer con productos alternativos de calidad, la demanda interna de estos materiales (García, 1999).

Cuadro 1. Importación nacional de turba en dólares americanos, durante la década de 2000 al 2011 (INEGI, 2012).

Año	Importación	
	Toneladas	Dólares
2000	646.68	\$185,821.00
2001	714.57	\$208,486.00
2002	823.14	\$238,712.00
2003	570.35	\$158,278.00
2004	1 633.09	\$503,021.00
2005	1 924.43	\$619,418.00
2006	1 943.55	\$733,021.00
2007	807.56	\$360,783.00
2008	2 145.94	\$1 124,887.00
2009	2 308.83	\$1 174,440.00
2010	1 831.33	\$698, 673.00
2011	2 214.77	\$894, 782.00

3.10. Importancia del cultivo de papa en México

La papa ocupa el sexto lugar en importancia como alimento en México con un consumo anual *per capita* de papa de 13.6 kilogramos, para el año 2010 (INEGI, 2012).

Comparada con otros cultivos básicos como el maíz, arroz, trigo, la papa es un cultivo eficiente en la producción de energía asimilable por el ser humano (en términos de materia seca, carbohidratos y proteínas), lo cual es una de las razones de su amplia aceptación como uno de los productos básicos en la alimentación de muchos países (Rubio y Flores, 1997).

En relación a las variedades de papa sembradas en México, el 64% de la superficie se siembra con variedades extranjeras o introducidas, entre las que destacan: Alpha (40 de la superficie nacional), Atlantic (7%), Mondial (5%) y Gigant (5%). Las variedades mexicanas se siembran en el 36% de la superficie y entre ellas sobresalen: Rosita (15%), Marciana (6%), Tollocan (6%) y San José (5%) (Rubio *et al.*, 2000).

Los productores de papa en la región de los Valles Centrales de México (Puebla, Tlaxcala, México, Hidalgo, y Veracruz), utilizan un bajo nivel tecnológico, y no cuentan con semilla con alta sanidad, por lo que sus volúmenes de producción llegan a ser de 17.9 ton ha⁻¹ a lo que están muy por debajo de la media nacional que es de 27.7 ton ha⁻¹.

Muchos agricultores han dejado de cultivar papa, por los altos costos de producción, dentro de los cuales se incluye el costo de la semilla de papa, que puede llegar a representar hasta el 40% de los costos de producción.

En México existen programas formales de producción de tubérculo-semilla de papa del tipo asexual, y de la que actualmente, los productores hacen uso comercial en forma de plántulas *in vitro*, esquejes de tallos, esquejes de brotes y tubérculos semilla (Egúsquiza, 2000)

Sin embargo, se requiere generar un paquete tecnológico para la producción de tubérculo-semilla de papa, donde se implemente el uso de sustratos orgánicos alternativos de bajo costo y alto potencial, que permita a los productores generar un material de alta calidad fitosanitaria y además obtener recursos adicionales por la venta de semilla de papa, entre los mismos productores de la región.

3.10.1. Importancia económica del cultivo de papa en México

En México se siembran anualmente cerca de 55 359 hectáreas de papa (INEGI, 2012) con elevados costos de producción que para el año 2012 fluctuaron entre \$30, 000.00 y \$150, 000.00 pesos por hectárea, dependiendo del nivel tecnológico. Con bajo nivel tecnológico los costos van de \$30, 000.00 a \$40, 000.00, con una producción entre 30 y 40 ton ha⁻¹, y hasta \$60,000.00 cuando el productor invierte en la compra de semilla de calidad o llega a introducir riego por goteo. Con alto nivel tecnológico los costos fluctúan entre los \$100, 000.00 y \$150, 000.00 con producciones que van de 50 a 60 ton ha⁻¹, empleando semillas registradas

(Alpha, Fiana, Adoras, etc.), fertilizantes, agroquímicos y riegos por goteo (Rubio *et al.*, 2000).

El rendimiento promedio nacional (27.7 ton ha^{-1}) (INEGI, 2012), se ve influenciado por el hongo *Phytophthora infestans* (tizón tardío) y que se encuentra con mayor incidencia en los Valles Centrales de México (Puebla, Tlaxcala, Estado de México, Hidalgo y Veracruz), así como de otras enfermedades virósicas y de nemátodos (Flores *et al.*, 1997). Dichas zonas tienen un rendimiento promedio de $17.96 \text{ ton ha}^{-1}$. Entre los factores que influyen para obtener bajos rendimientos en esta región está la falta de semilla de buena calidad, la topografía accidentada, clima propicio para el desarrollo de enfermedades (principalmente tizón tardío) y bajo nivel económico y tecnológico de los productores (INEGI, 2012).

La importancia del cultivo de papa en México está en la generación de mano de obra, que anualmente ocupa 4 millones de jornales para las labores de campo en este cultivo. El 17% de la producción nacional se destina a la industria, principalmente a la elaboración de hojuelas fritas (Rubio *et al.*, 2000).

3.10.2. Clasificación de la semilla de papa

Es importante considerar algunos conceptos y definirlos de acuerdo al Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas (CINCP) en el año 1969, antes de especificar las categorías de semilla de papa (Hidalgo, 1999):

- a) **Cultivar:** Es un conjunto de plantas cultivadas que se pueden distinguir por sus caracteres morfológicos, fisiológicos, citológicos, químicos, etc., y los cuales, cuando se reproducen (sexual o asexualmente), mantienen sus características diferenciales.
- b) **Variedad:** Es una subdivisión de una variedad (por ejemplo papa, maíz) que es distinta, uniforme y estable. Variedad y

cultivar se consideran términos equivalentes de acuerdo a CINPC (1969). A las progenies de Semilla Sexual de Papa (SSP), pese a ser una población de individuos donde cada semilla tiene un genotipo diferente, se les puede también categorizar como variedades o cultivares, dado que el CINPC indica que los individuos pueden mostrar diferencias genéticas, pero tienen una o más características por las que pueden diferenciarse de otros cultivares parecidos o de diferentes orígenes. Este es el caso de las progenies de SSP, las cuales como población muestran uniformidad, resistencia y otras características peculiares (cita).

- c) Clon:** Individuos derivados por propagación vegetativa o apomixis de un individuo (padre) original. En la papa este término se emplea dos formas: 1) Los mejoradores identifican como clones a los individuos dentro de una misma familia, donde cada uno de ellos es un genotipo definido que permanecerá así en el tiempo. En la producción de semilla en cambio, se denomina clon a un individuo o planta dentro de una misma variedad o cultivar, que presenta buenas características de tipo de planta y sanidad dentro de una misma población genéticamente uniforme. 2) En el sistema de producción de semilla que se denomina “sistema clonal” los lotes de semilla son el producto de la multiplicación vegetativa sucesiva (clonal) de una planta originalmente elegida como clon (Hidalgo, 1999).

Toda categoría de semilla certificada desciende directamente, a través de una o más generaciones, de auténtica semilla básica de la variedad. En cualquier sistema de producción de tubérculos-semillas de categoría certificada, la multiplicación repetida de un mismo material trae consigo un deterioro progresivo de ese material. La papa es un cultivo de reproducción vegetativa o asexual y el uso sucesivo de un mismo material de plantación lleva consigo una acumulación progresiva de patógenos y plagas. De ahí que para mantener la calidad de los tubérculos-semillas de categoría certificada se debe recurrir constantemente al material de una etapa de nivel superior.

Dentro de la multiplicación de un sistema de certificación de semilla de papa se tienen las siguientes categorías:

- Prebásico I (Prenuclear): Plántulas y/o microtubérculos producidos *in vitro*, en laboratorio, bajo condiciones asépticas.
- Prebásica II (Nuclear): Progenie de material prenuclear producida en un medio ambiente protegido en sustrato y diagnosticada libre de plagas (esta es la etapa del presente estudio).
- Básica: Primera generación de campo.
- R1: Registrada (segunda generación de campo).
- R2: Registrada (tercera generación de campo).
- R3: Registrada 3 (cuarta generación de campo).

La C= Certificada = G5 (quinta generación de campo). Esta es la que reúne todos los requisitos y especificaciones de calidad y sanidad establecidos por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), los cuales fueron verificados por una unidad de verificación o personal oficial.

La Norma Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002, tiene como objetivo establecer los requisitos y especificaciones fitosanitarias que debe cumplir el material propagativo asexual de papa en el territorio nacional, para prevenir el establecimiento y diseminación de plagas cuarentenarias y plagas no cuarentenarias reglamentadas. Es de aplicación en todo el territorio nacional y está dirigida a las personas físicas o morales que produzcan material propagativo de papa.

De este modo la certificación de semillas garantiza al usuario que ellas son producidas, seleccionadas y analizadas bajo normas, inspecciones y controles tendientes a asegurar los requisitos de identidad y pureza varietal y alta calidad (Santos, 1989).

3.10.3. Semilla de papa en México.

Para el establecimiento como en el caso de las gramíneas su obtención y preservación es relativamente fácil; sin embargo, al hacer referencia a semilla asexual se encuentran problemas para su multiplicación y mantenimiento, tal es el caso de la semilla de papa (tubérculo-semilla); específicamente en la adquisición y contaminación de enfermedades causadas por virus y micoplasmas, sobre todo en las fases de campo y almacén.

Los agricultores necesitan semillas de alta calidad para que sus cultivos de papa tengan altos rendimientos. Mientras los agricultores demandan semillas que cumplan estrictas normas de calidad, los productores de semillas señalan que las normas muy rigurosas repercutan negativamente en los costos de producción y prolongan el tiempo necesario para producir mayores volúmenes (García, 1999).

La incidencia de insectos vectores de enfermedades en las áreas productoras de papa, la presencia de plagas huéspedes del tubérculo-semilla (palomilla de la papa, picudo), las condiciones agroclimáticas desfavorables entre otras, altas temperaturas; en conjunto limitan la ubicación de áreas semilleras, productoras de material con sanidad adecuada y si a esto se agrega la falta de tecnología de producción de semilla, de fácil acceso para los productores, es claro que se requiere en primer lugar actualizar la información disponible acerca de la tecnología de semilla de papa, así como caracterizar los sistemas donde se produce semilla en la región centro.

Generar y desarrollar tecnologías para el establecimiento de fuentes de semilla sana, con el propósito de establecer semilleros artesanales entre los productores de escasos recursos, en las áreas agroecológicas convenientes, para evitar el uso de papa comercial de calidad sanitaria pésima como semilla y el traslado de ésta de áreas infestadas con plagas y enfermedades a zonas libres de ellas.

En la producción de tubérculos semilla en invernadero es importante tanto el número de tubérculos como el tamaño de los mismos, con el fin de darles mejor manejo y aprovechar la mayor cantidad de ellos en el campo.

La disponibilidad de semilla de papa en México es uno de los principales factores que limitan y constituye el problema primordial en la producción de este tubérculo (Flores, 1997).

3.10.4. Demanda de semilla de papa en México

A nivel de Latinoamérica, México fue el primer país certificador de semilla de papa en el año de 1957. La producción de semilla certificada de papa en México se inició con materiales importados de Europa, particularmente de Holanda, y este hecho fue fundamental para establecer el programa mexicano de certificación. Los productores de semilla tuvieron importantes logros al ser reconocidos como exportadores de semilla certificada, hasta 1972, año en el cual se hizo oficial la presencia del nematodo dorado (*Globodera rostochiensis*) en el país, evitando con esto la continuidad de las exportaciones. En 1973, México dejó de importar semilla de papa por problemas fitosanitarios. Cerrando sus fronteras a la introducción de tubérculo-semilla como material para siembra. Años más tarde debido a intereses comerciales, se reanudó la importación de semilla de Europa y Canadá (variedad de preferencia industrial). Esta situación propició que en estas zonas paperas se crearan programas de producción de semilla certificada a partir de la semilla importada de Canadá, lo que tuvo repercusiones negativas en los productores de semilla de papa mexicanos, a esa semilla se le considero de “alta

categoría” con lo que se partió para establecer los programas de producción de semilla certificada. Al conocer el problema fitosanitario de la semilla importada, en 1988 los productores iniciaron la producción de semilla en ambientes semicontrolados, mediante el sistema laboratorio-invernadero-campo (Flores *et al.*, 1997).

La producción de semilla de papa en México tuvo un conjunto de disposiciones legales para prevenir la introducción o diseminación de plagas al país, e implicó restricciones a la movilización y comercio nacional e internacional. Por una parte, eso implica una restricción al libre comercio y por otra, minimiza los riesgos de introducir organismos dañinos y causar pérdidas cuyo impacto económico va más allá de los beneficios.

Por lo que se estableció la NOM-025-FITO-2000, aplicable a la exportación de tubérculos-semilla producidos bajo condiciones controladas (invernadero) por parte de México a Canadá. Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer las regulaciones que permitan declarar zona bajo protección y zona libre a las áreas geográficas que se encuentren libres de plagas cuarentenarias de la papa, así como las medidas de prevención y erradicación que deben aplicarse para mantener dicha condición fitosanitaria. Las disposiciones de esta Norma son aplicables a: zonas bajo protección y zonas libres de plagas cuarentenarias de la papa, papa para consumo, semilla tubérculo, plántula o cualquier otro material propagativo de papa, empacadoras de tubérculos y otros productos hospederos de plagas de la papa, autotransportes de carga en general que movilizan papa, centros de acopio, abasto comercialización de tubérculos de papa y otras especies hospederas de plagas de la papa, maquinaria y equipo utilizado en la producción, manejo y empaque de papa y otros tubérculos y en toda clase de vehículos de pasajeros, en puntos de verificación interna, terminales de ferrocarriles y autotransportes.

La Norma Oficial Mexicana NOM-012-FITO-1995, en la que se establece la cuarentena exterior para prevenir la introducción de plagas de papa.

La NOM-069-FITO-1995, para el establecimiento y reconocimiento de zonas libres de plagas de papa.

La Norma Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002, tiene como objetivo establecer los requisitos y especificaciones fitosanitarias que debe cumplir el material propagativo asexual de papa en el territorio nacional, para prevenir el establecimiento y diseminación de plagas cuarentenarias y plagas no cuarentenarias reglamentadas.

La demanda potencial de semilla de papa en México es de alrededor de 210 mil toneladas, pero solo se produce semilla con alguna categoría para sembrar cerca del 20 por ciento de la superficie en nuestro país; la demanda de semilla certificada de las variedades Alpha, Atlantic y Gigant, es cubierta en su totalidad debido a que muchos productores incrementan estos materiales por un año y lo utilizan en el siguiente ciclo (Flores *et al.*, 1997). Esta cantidad ha variado de 2007 se cultivó en promedio 66 400 hectáreas de papa a nivel nacional, y para 2012 esta superficie cultivada disminuyó a 55 359 ha (INEGI, 2012).

3.10.5. Perspectivas de la producción de papa

En México se siembra papa, tanto variedades criollas como mejoradas, para las que no existen producción de semilla certificada. Esto ha provocado, que los tubérculos acarrean plagas y enfermedades (Rubio *et al.*, 2000).

Así mismo, es importante considerar que existen en México zonas apropiadas para la producción de semilla certificada que deben contar con protección y preservación oficial, de tal manera que se limite en ellas la

siembra de papa con fines distintos al incremento de material o con semilla de dudosa sanidad.

Para el incremento de los materiales que no se enmarcan en esquemas formales de producción de semilla, existe la tecnología de producción de semilla artesanal de papa, mediante procedimientos de selección por síntomas observables a simple vista y complementados por un manejo en almacén. Por ello, es indispensable la difusión de las diversas tecnologías a productores con diferentes niveles tecnológicos para la producción de semilla de papa (Rubio *et al.*, 2000).

3.10.6. Propagación de tubérculos-semilla de papa en invernadero

En la producción de tubérculo-semilla de papa con material de la más alta calidad sanitaria, se dispone de núcleos iniciales generados de plantas *in vitro* o de plantas que provengan de un programa de multiplicación clonal. A partir de estas plantas o de sus descendientes se pueden reproducir por medio de la multiplicación acelerada. Lo importante, en todo caso, es aumentar la tasa de multiplicación de los materiales.

Para producir materiales de la más alta sanidad, la semilla prebásica se produce en ambientes confinados (invernaderos) donde se evita la entrada de vectores.

Las instalaciones requeridas para la producir tubérculos-semillas de papa pueden incluir áreas totalmente cubiertas con malla anti-áfidos o áreas aisladas con acceso restringido. Cuando las condiciones ambientales lo requieran, se puede implementar ambientes más cerrados con temperatura y luz controladas, por ejemplo un invernadero. Lo importante en todos los casos es que los ambientes estén limpios (Hidalgo *et al.*, 1999).

La producción de minitubérculos de papa puede ser mediante el trasplante de plantas *in vitro* directamente a contenedores o bien de esquejes enraizados de brote, tallo juvenil y tallo lateral (Flores *et al.*, 1997).

Para cubrir una hectárea de plantas de papa se necesitan 50, 000 tubérculos-semilla, por lo que se requiere trasplantar a invernadero 12, 500 plántulas de papa de "*in vitro*" (cada planta produce al menos cinco tubérculos de papa) que ocupan 250 m² de invernadero.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Proceso experimental

En el presente trabajo de investigación, se evaluaron agronómicamente siete sustratos orgánicos nacionales y uno importado (turba), en la producción de tubérculos semilla de papa, en dos experimentos a nivel invernadero.

La primera actividad consistió en elegir algunos materiales orgánicos nacionales, que cumplieran con ciertos estándares de producción: volúmenes generados, obtención durante cualquier periodo del año, fáciles de conseguir y metodologías de producción estandarizadas.

Después se revisó el proceso de producción de los tubérculos-semilla de papa en invernadero, determinándose cuál sería el volumen de la mezcla a utilizar para sustituir a la turba. Posterior a esto se procedió a elaborar las mezclas de los materiales en laboratorio, utilizando 40 % de materiales orgánicos en relación a su volumen, más 40 % de fibra de coco y 20 % de perlita, estos últimos como materiales base.

En laboratorio se realizaron pruebas a las mezclas de sustratos. Físicas: densidad aparente, granulometría, espacio poroso total, capacidad de aireación y capacidad de retención de humedad; químicas: pH y conductividad eléctrica, además se determinó la presencia de la bacteria *Streptomyces scabies* causante de la enfermedad roña común en los tubérculos de papa producidos desarrollados en sustratos.

El experimento 1 se realizó en el periodo del 2 de junio al 4 de septiembre de 2009 (94 días) durante el verano. El cual tuvo un área experimental útil de 4.32 m². Evaluándose los sustratos fibra de pulpa de café molido, cascarilla de arroz, compost de agave tequilero, cascarilla de pulpa de café tamizado y bagazo molido de caña de azúcar, y la turba como testigo, todos los materiales fueron nuevos y no se esterilizaron. Se

evaluaron dos variedades de papa: Alpha y Atlantic. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro plantas de papa, como se muestra en las Figuras 4 y 5, desarrolladas en camas de sustrato con dimensiones de 0.5 m X 0.5 m y 0.15 m de altura, divididas en sus orillas con bloques de construcción y como base en el piso se colocó una malla ground cover.

Se determinó en la planta, el número total de tubérculo-semilla de papa y el peso seco de los mismos; se midió el diámetro de tubérculo-semilla de papa para determinar su uso como tubérculos-semilla para resiembra, siembra en campo o material de desecho.

El experimento 2 se llevó a cabo del 14 noviembre de 2009 al 26 de febrero de 2010 (105 días) durante las estaciones de otoño e invierno. Tuvo un área experimental útil de 12.96 m² y dos pasillos de 0.15 m, cubriendo un área total de 14 m². En el cual se evaluaron los materiales aserrín de pino, compost de agave tequilero, vermicompost de pulpa de café tamizado y bagazo de caña de azúcar molido. El aserrín de pino fue esterilizado previamente debido a la presencia de *Streptomyces scabies* que produce la roña común. Se evaluaron las mismas variedades de papa y se tuvo el mismo diseño de tratamientos que en el primer experimento, aumentando a 12 el número de repeticiones, las cuales estuvieron conformadas por cuatro plantas de papa cada una. Se cuantificaron los mismos parámetros de producción que en el primer experimento.

Para evaluar estadísticamente los datos obtenidos, se aplicaron pruebas estadísticas como análisis de varianza, pruebas de medias y correlaciones, mediante la utilización del paquete estadístico para microcomputadoras *Statistical Analysis System (SAS)*.

Se determinó la factibilidad económica de la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero a partir del sustrato orgánico con mayor rendimiento durante la etapa experimental, comparándolo con la turba (material de importación) a través de un análisis financiero.

4.2. Ubicación del estudio

La fase experimental se realizó en los invernaderos pertenecientes a la empresa Agrícola Villarreal & Villarreal productores de semilla prebásica de papa, que se ubica en el poblado de San Juan La Isla, municipio de Santa María Rayón en el estado de México (Figura 2).

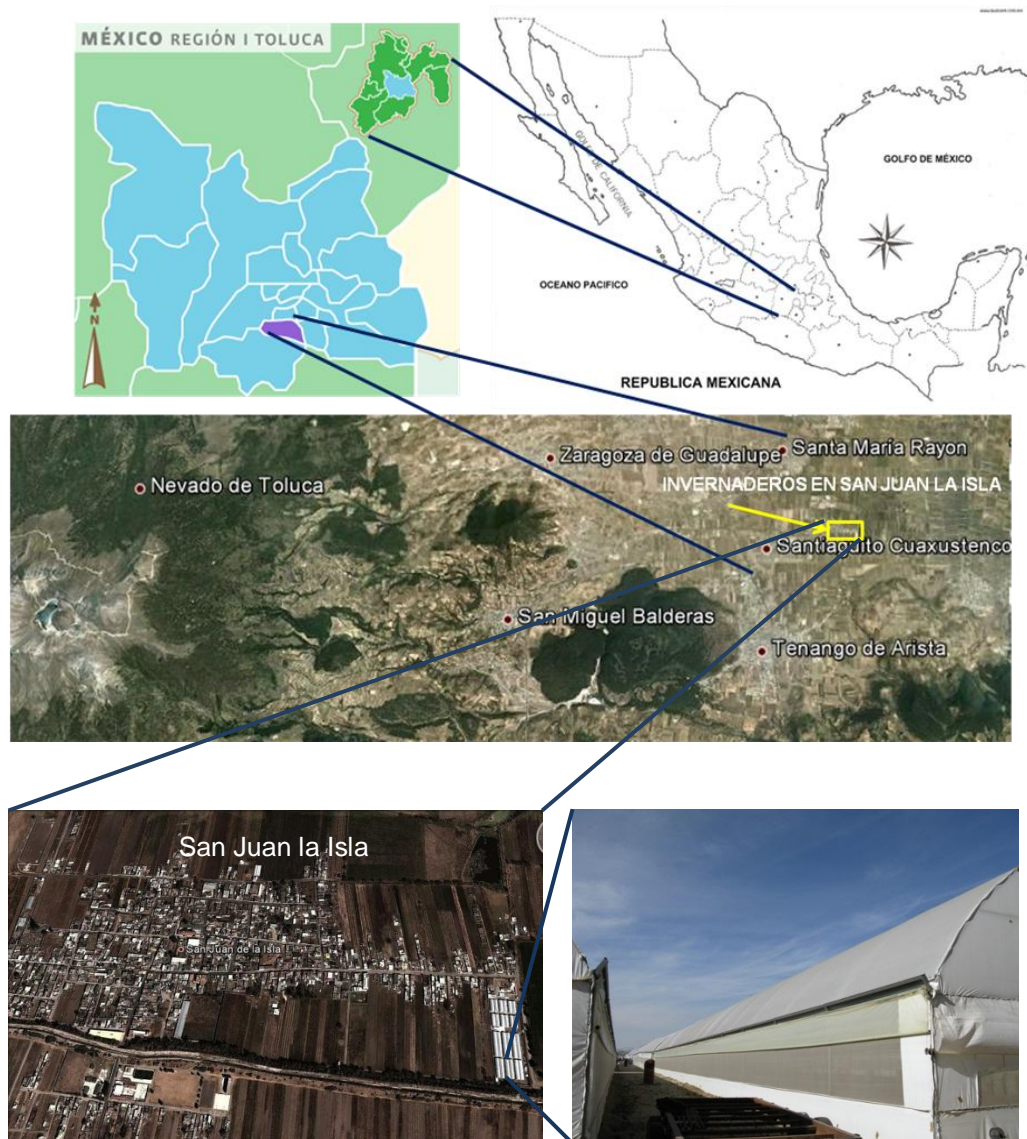


Figura 2. Ubicación de los invernaderos de la empresa Agrícola Villarreal & Villarreal productores de semilla prebásica de papa, donde se realizaron los dos experimentos.

4.3. Área de estudio

Los invernaderos donde se realizaron los dos experimentos son de arco simple circulares con paredes verticales, sin ventilación cenital solo lateral (Figura 3). El agua usada para aplicar el fertirriego es extraída de pozo profundo que se encuentra dentro del mismo terreno donde se ubican los invernaderos, el agua presenta un pH de 6.8 y una conductividad eléctrica de 0.5 dS m^{-1} . El invernadero tiene a la entrada un tapete fitosanitario, malla ground cover como material base en toda la superficie del suelo, no hubo control de las bajas temperaturas por la noche, ya que el uso de calefactores incrementa el costo de producción y durante el día en caso de temperaturas altas se subieron los plásticos laterales con el objetivo de disminuir las altas temperaturas, quedando el invernadero solamente con malla antiáfidos en las paredes.



Figura 3. Invernadero donde se realizaron los experimentos para evaluar la producción de tubérculo-semilla de papa en diversos sustratos orgánicos.

4.4. Identificación y selección de sustratos orgánicos adecuados para la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero.

Para realizar dicha actividad se buscaron sustratos orgánicos diferentes a los importados (turberas). Se consultó en literatura (artículos científicos y tesis) las características físicas, químicas y agronómicas que deben tener los sustratos para satisfacer los requerimientos del cultivo de tubérculo-semilla de papa en invernadero (estructura, porosidad, densidad, nutrición, fitosanidad y capacidad de reutilización). Después de seleccionar los sustratos más prometedores de acuerdo a sus características, se consultaron a los principales proveedores de insumos agrícolas (EcoDir, 2007) para constatar los volúmenes en existencia y los costos de los mismos, como es el caso del compost de agave tequilero y el tamizado de vermicompost de pulpa de café. También se consultó a empresas productoras de sustratos aunque directamente no se comercializaban como tales ya que son subproductos de procesos agroindustriales, como la cascarilla de arroz, el bagazo de caña de azúcar, aserrín y fibra de pulpa de café. En todos los materiales se realizaron las pruebas respectivas de laboratorio e invernadero.

4.5. Unidad experimental

Los materiales orgánicos empleados para sembrar los tubérculo-semilla de papa en ambos experimentos fueron colocados dentro de camas divididas con blocks de construcción con un tamaño de 0.5 m X 0.5 m y a una altura de 0.15 m del sustrato. En cada orificio se colocó un tubérculo-semilla de papa de las variedades Alpha o Atlantic, a una profundidad de 5 a 6 cm. En cada cuadro se sembraron 16 tubérculos-semilla de papa a una densidad de siembra de 0.12 m x 0.12 m, de las cuales se tomaron cuatro plantas como una muestra o repetición, aunque no existió una división física entre cada una de las cuatro plantas que conformaban el grupo de 16 plantas (Figura 4). En el primer experimento se tuvo una

cantidad de 192 semillas (96 para cada una de las dos variedades) y 576 semillas (288 para cada variedad) en el segundo experimento (Figura 5).



Figura 4. Muestra las 6 mezclas de sustratos para sembrar cada una de las variedades de papa (Alpha y Atlantic). Y la unidad experimental conformada por 16 plantas con 4 repeticiones y a su vez 4 plantas por cada una.



Figura 5. Muestran las 6 mezclas de sustratos con tres repeticiones cada una por variedad de papa (Alpha y Atlantic). Y la unidad experimental conformada por cuatro plantas por repetición.

4.6. Tratamientos

Sustratos

Los sustratos orgánicos utilizados consistieron en un material testigo (turba) que forma parte de la mezcla de sustratos utilizada de manera tradicional por los productores de semilla de papa: fibra de coco 40% + turba 40% + perlita 20% (volumen / volumen) y los restantes materiales

orgánicos evaluados, fueron empleados con el objetivo de sustituir a la turba como material de importación, los cuales fueron utilizados en la misma proporción del 40% (v/v) que el testigo. Estos fueron: 1) fibra de pulpa de café molida, 2) cascarilla de arroz, 3) compost de fibra de agave tequilero, 4) tamizado de cascarilla de pulpa de café y 5) bagazo de caña de azúcar molido (experimento 1).

El sustrato fibra de pulpa de café, que se deriva del proceso de vermicompostaje, al consumir las lombrices el mucilago de la pulpa de café dejan la fibra en la capa superficial de las camas, que al ser colectada para su uso como sustrato, requiere de una molienda debido a que las fibras no permiten dar una estructura adecuada al medio de crecimiento, por lo que se realizó la actividad con un molino de martillos, marca Wiley Mill con malla de 2 mm.

De igual forma el sustrato bagazo de caña de azúcar, que es obtenido de un proceso agroindustrial, se molió en el mismo molino con una malla de 2 mm, debido al tamaño grande de la fibra que sale del proceso.

Para el experimento 2 se cambiaron dos materiales, la fibra de pulpa de café molida por aserrín de pino (que fue esterilizado en autoclave LabTech) y el tamizado de cascarilla de pulpa de café por el tamizado de vermicompost de pulpa de café, el resto de los materiales fue el mismo, empleandose los mismos volúmenes de las mezclas del experimento 1.

A excepción de la mezcla con aserrín de pino, que contenía la bacteria *Streptomyces scabies* (con base a un análisis microbiológico previo) causante de la enfermedad roña de la papa, ninguno de los tratamientos (mezclas) fue desinfectado con vapor, siendo materiales nuevos con el objetivo de conocer si es o no necesaria la desinfección en la producción de tubérculo-semilla de papa en invernadero.

Variedades de papa

El material biológico estuvo compuesto de semillas de papa de las variedades Alpha y Atlantic (Figura 6), ambas variedades representan el 20% de los requerimientos de semilla a nivel nacional. La elección de las variedades de tubérculos-semillas de papa, se hicieron por sugerencia de los productores, ya que existe el interés de evaluar la variedad Alpha para mercado fresco y Atlantic para el de las frituras.



Figura 6. Variedades de tubérculo-semilla de papa Alpha y Atlantic usadas en los experimentos 1 y 2 del presente trabajo.

4.7. Diseño experimental

En ambos experimentos se utilizó un diseño experimental completamente al azar, siendo el ideal para los ensayos en invernadero (Martínez, 1994) donde se consideran condiciones homogéneas.

En el experimento 1, se tuvo solo un bloque, con 12 divisiones, cada división fue 0.5 m X 0.5 m, seis de cada lado, con el objetivo de colocar en cada uno, alguna de las seis mezclas de sustratos (sustrato orgánico % + fibra de coco 40% + perlita 20 %) y una de las dos variedades (Alpha o Atlantic) (Cuadro 2). En cada división se sembraron 16 tubérculos-semillas de papa y se consideraron cuatro plantas de papa como una repetición, sin tener una división física para cada grupo de cuatro plantas, generando un total de 48 unidades experimentales que se formaron por

los 12 tratamientos y 4 repeticiones. Cuatro repeticiones por tratamiento y 24 repeticiones por variedad de papa.

En el experimento 2, se realizaron tres bloques, triplicando lo realizado en el experimento 1, donde el número de unidades experimentales aumento a 144 (Cuadro 3) y estas fueron totalmente aleatorizadas en los 3 bloques.

Cuadro 2. Mezclas de sustratos, variedades de tubérculo-semilla de papa empleadas y el número de repeticiones de cada tratamiento que se evaluaron durante el experimento No. 1.

Mezcla de sustratos	Variedades	Repeticiones (4 plantas por cada repetición)
Fibra de coco 40% + turba 40% + perlita 20% (testigo) T1	Alpha	4
	Atlantic	4
Fibra de coco 40% + fibra pulpa café molida 40% + perlita 20% T2	Alpha	4
	Atlantic	4
Fibra de coco 40% + cascarilla de arroz 40% + perlita 20% T3	Alpha	4
	Atlantic	4
Fibra de coco 40% + fibra de agave tequilero 40% + perlita 20% T4	Alpha	4
	Atlantic	4
Fibra de coco 40% + tamizado de pulpa de café 40% + perlita 20% T5	Alpha	4
	Atlantic	4
Fibra de coco 40% + bagazo de caña de azúcar molido 40% + perlita 20% T6	Alpha	4
	Atlantic	4
TOTAL: Mezclas 6	2	48

Cuadro 3. Mezclas de sustratos, variedades de tubérculo-semilla de papa empleadas y el número de repeticiones de cada tratamiento que se evaluaron durante el experimento No. 2.

Mezcla de sustratos	Variedades	Repeticiones
Fibra de coco 40% + turba 40% + perlita 20% T1 (testigo)	Alpha	12
	Atlantic	12
Fibra de coco 40% + aserrín de pino 40% + perlita 20% T2 (desinfectado con vapor)	Alpha	12
	Atlantic	12
Fibra de coco 40% + cascarilla de arroz 40% + perlita 20% T3	Alpha	12
	Atlantic	12
Fibra de coco 40% + Fibra de agave de tequila 40% + perlita 20% T4	Alpha	12
	Atlantic	12
Fibra de coco 40% + tamizado de lombricompost de pulpa de café 40% + perlita 20% T5	Alpha	12
	Atlantic	12
Fibra de coco 40% + bagazo de caña de azúcar 40% + perlita 20% T6	Alpha	12
	Atlantic	12
TOTAL: Mezclas 6	2	144

Turba 40%
+
fibra de coco 40%
+
perlita 20%

tratamiento sustrato orgánico ¿? 40%
+
fibra de coco 40%
+
perlita 20%

T5
Tamizado de
pulpa de
café 40%

T3
cascarilla de
arroz 40%

T4
fibra de
agave 40%

T2
fibra de
pulpa de
café 40%

T6
bagazo de
caña 40%

T1
turba
40%

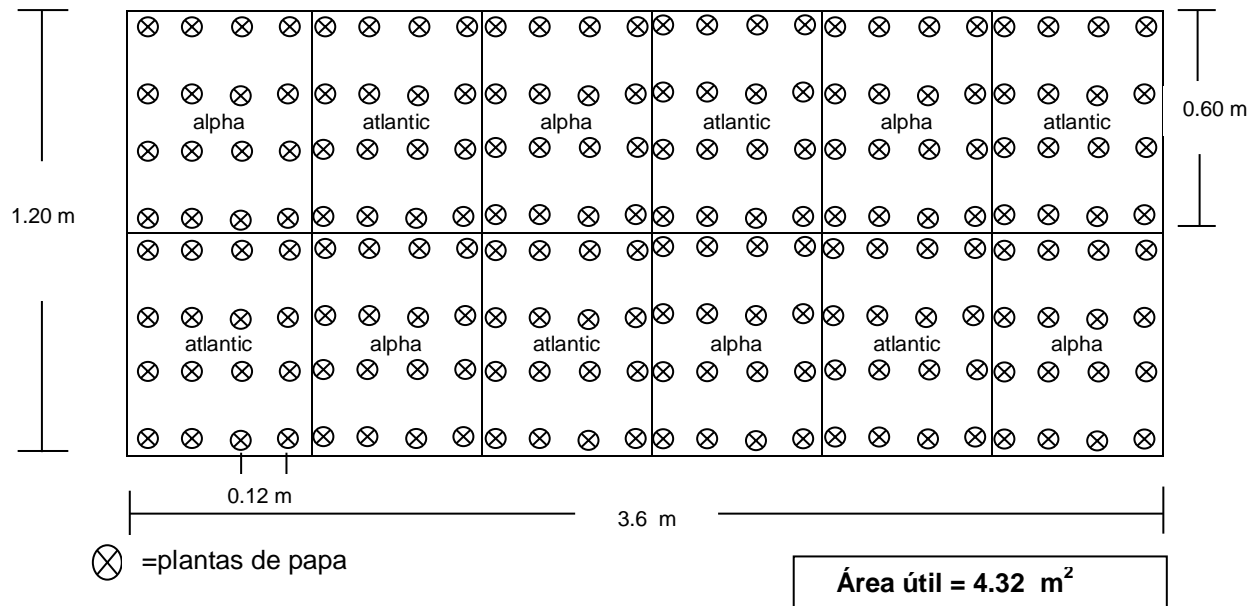


Figura 7. Diseño experimental en la evaluación de mezclas de sustratos en la producción de semilla de papa en invernadero en el experimento 1.

Fibra de coco 40% + **turba 40% (testigo)*** + perlita 20%
 Fibra de coco 40% + **sustrato orgánico ¿?** + perlita 20%

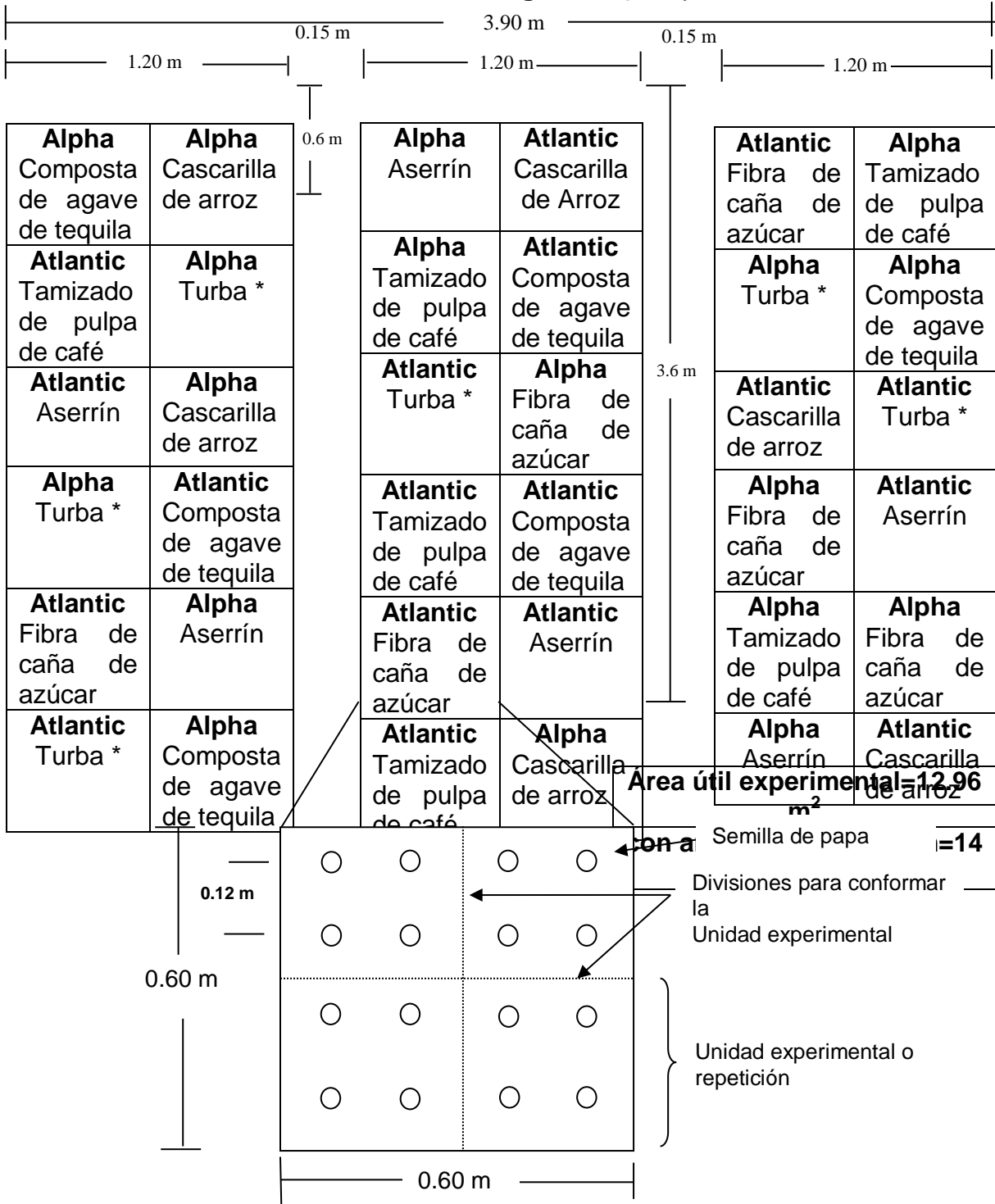


Figura 8. Diseño experimental y distribución de un tratamiento, con unidades experimentales en la producción de semilla de papa variedad Alpha y Atlantic en invernadero en el experimento 2.

4.8. Manejo del invernadero durante el proceso experimental

4.8.1. Riegos

La humedad se mantuvo a capacidad contenedor en todas las mezclas de sustratos, entendiendo esto como el estado de la humedad después del libre drenaje de un sustrato previamente saturado de agua en un contenedor (Burés, 1997).

4.8.2. Temperatura

La temperatura ideal para el cultivo de papa es de entre 25 y 10 °C. Sin embargo, las temperaturas bajas no se controlaron debido a que el uso de calefactores incrementa el costo de producción, además de que la planta de papa se puede adaptar a temperaturas bajas intermitentes y durante el día en caso de temperaturas altas se subieron los plásticos laterales y se mantuvo el invernadero solo con la malla antiáfidos con el objetivo de compensar las temperaturas altas.

Las temperaturas que se registraron dentro del invernadero fue una máxima promedio de 30 °C y una mínima promedio de 12 °C en el experimento 1 (2 de junio al 4 de septiembre de 2009).

Para el experimento 2 realizado del 14 de noviembre de 2009 al 26 de febrero de 2010, la temperatura máxima promedio fue de 27 °C y una mínima promedio de 8 °C.

El equipo para registrar las temperaturas en ambos experimentos fue un equipo Onset modelo HOB0 datalogger, el cual se colocó a la altura de las plantas en uno de los postes del invernadero cercano a las mismas.

La alternancia de los fertilizantes compuestos se debe a que inicialmente el cultivo de papa requiere una gran concentración de fertilizantes fosfatados (12-43-12) que permiten una mayor división celular ya que este elemento se acumula en tejidos activos, en los meristemas y sobre todo en frutos. Por su parte, el fertilizante 19-19-19, permite un mayor vigor vegetativo ya que promueve la velocidad de crecimiento, determinado por un aumento de volumen y peso (debido a los alargamientos celulares y la multiplicación celular). Finalmente el fertilizante 13-02-44, usado en la etapa fisiológica de la formación del fruto, añade el potasio necesario para la síntesis de azúcar y almidón, traslado de azúcares y síntesis de proteínas (Rodríguez, 1992).

4.9. Determinación y selección de las muestras (experimento 1 y 2)

4.9.1. Parámetros de producción

En el ciclo de cultivo para producción de tubérculos-semilla de papa en invernadero, y se evaluaron los siguientes parámetros:

- En tubérculos-semilla de papa:

Número total

Número por rangos de diámetro

Peso seco total

Para el número total de tubérculos-semilla de papa se contabilizó la producción total de cuatro plantas de las 16 existentes en Cada unidad experimental (Figura 9) y se dividió entre cuatro para obtener el promedio de tubérculos-semilla de papa por planta.

Para obtener el número de tubérculos-semilla por rango de diámetro, se tomó en cuenta el intervalo utilizado por los productores con respecto al

tamaño de los tubérculos-semilla de papa producidos en las diferentes mezclas de sustratos (Cuadro 5, Figura 9). El rango 1 son tubérculos que por su tamaño son de desecho, los rango 2 y 3 son reutilizados para resiembra en invernadero, los rangos 4, 5, 6 y 7 son los de mayor importancia económica, ya que son los comercializados para siembra en campo. La medición se realizó con vernier manual marca Trupper.

Cuadro 5. Rangos comerciales de acuerdo al diámetro de los tubérculos-semilla de papa.

Rangos	Diámetro de tubérculos (mm)	Empleo en:
R1	<12	Son de desecho
R2	13-14	Resiembra en invernadero
R3	15-19	
R4	20-24	Para siembra en campo
R5	25-29	
R6	30-39	
R7	>40	



Figura 9. Producción en una unidad experimental de tubérculo-semilla de papa variedad Atlantic con la mezcla de tamizado de vermicompost de pulpa de café y su clasificación por rangos de acuerdo a su diámetro.

Para obtener el peso seco total, se consideró el peso fresco de todos los tubérculos-semilla de papa por tratamiento de cuatro plantas (balanza OHAS) y se tomó un solo tubérculo-semilla para meterlo a un horno (Cole Parmer con extracción de aire forzado) y obtener el peso seco constante del mismo, finalmente se relacionó el peso seco constante obtenido de un solo tubérculo con el de peso fresco total y obtener el peso seco total por tratamiento.

4.9.2. Análisis físicos, químicos y biológicos de los sustratos en laboratorio.

Se realizaron diversos análisis físicos, químicos y presencia en sustratos y tubérculos-semilla de la bacteria *Streptomyces scabies* causante de la enfermedad roña común, antes de iniciar la etapa de siembra de los experimentos 1 y 2, para verificar sus principales características al estar mezclados (40 % de los sustratos orgánicos + 40 % de fibra de coco + 20 % de perlita).

4.9.2.1. Análisis físicos

- Densidad aparente g cm^{-3} (método del porómetro-Anexo 1).
- Espacio poroso total % (método del porómetro-Anexo 1).
- Capacidad de aireación % (método del porómetro-Anexo 1).
- Capacidad de retención de humedad % (método del porómetro-Anexo 1).
- Análisis granulométrico % en peso (Método de tamices-Anexo 1).
- Curva de retención de humedad (De Boodt *et al.*, 1974-Anexo 1).

a) Agua difícilmente disponible.

- b) Agua de reserva.
- c) Agua fácilmente disponible.
- d) Material sólido.

4.9.2.2. Análisis químicos

- pH (extracto de saturación-Anexo 1).
- Conductividad eléctrica (extracto de saturación-Anexo 1)

4.9.2.3. Presencia de roña común *Streptomyces scabies*

La presencia de roña común (*Streptomyces scabies*) se realizó en las mezclas de materiales utilizadas para evaluar la producción de tubérculos semilla de papa, antes de sembrar con el objetivo detectar la presencia de la roña común en los diferentes sustratos orgánicos, la metodología propuesta por Loria *et al.*, 2001 se detalla en el anexo 1.

La cuantificación en los tubérculos semilla de papa producidos que presentan roña común se realizó de forma manual, usando algunas herramientas como una regla con perforaciones que determinan la magnitud de la lesión en milímetros (Figura 10), lo cual se correlaciona con el diámetro del tubérculo-semilla de papa, para obtener un daño en porcentaje, el cual no debe ser mayor al 2% de la superficie total del tubérculo semilla ya que en caso de sobrepasar el porcentaje de área dañada el tubérculo-semilla se rechaza.



Figura 10. Muestra el daño por roña común (*Streptomyces scabies*) en tubérculos-semilla de papa y el método para evaluar su daño en porcentaje.

4.10. Metodología de análisis de resultados

Se realizaron análisis de varianza factorial, comparación de medias (Tukey Además que en el experimento 1 se tuvieron cuatro repeticiones y en el experimento 2 se tuvieron 12 repeticiones y cada repetición fue el promedio de cuatro plantas cada uno.

P<0.05) y pruebas de correlación, mediante la utilización del paquete estadístico SAS (*Statistical Analysis System*-Sistema de Análisis Estadístico) versión 8.1 para microcomputadoras.

Se realizaron análisis de varianza para las variables físicas (densidad aparente, granulometría, capacidad de aireación, espacio poroso total, capacidad de retención de humedad y curva de retención de humedad), y químicas (pH y conductividad eléctrica), en todos los casos se hicieron pruebas por triplicado, con las seis mezclas de sustratos de igual forma para sus extractos de saturación.

También se realizaron análisis de varianza a las determinaciones agronómicas (número total de tubérculo-semilla, peso seco de tubérculo-semilla, diámetro de tubérculo-semilla), y al número de tubérculo-semilla, que presentaron la enfermedad roña común (*Streptomyces scabies*).

Se realizaron correlaciones entre sí de las determinaciones físicas, de ambos experimentos (1 y 2), además se correlacionó entre sí otras propiedades físicas y químicas y con propiedades agronómicas y de sanidad de los tubérculos-semilla de papa: en todos los casos se manejaron por triplicado el número de observaciones para el análisis estadístico.

4.11. Análisis financiero para la producción de tubérculo-semilla de papa a partir de diversos sustratos orgánicos de crecimiento.

El análisis financiero se realizó comparando la turba como material de importación con el sustrato orgánico con mayor rendimiento (vermicompost de pulpa de café tamizado) durante la etapa agronómica del experimento 2, el cual fue comparado con la turba, considerando el nivel de producción de la empresa Agrícola Villarreal & Villarreal productores de semilla prebásica de papa, que cuentan con 12 invernaderos.

Los principales costos que se consideraron para realizar el análisis financiero fueron el del tubérculo-semilla o plántulas que es de \$1.20 pesos y un precio de venta por tubérculo-semilla de \$2.60 pesos. Se consideró para el presente análisis financiero un promedio de producción de cinco tubérculo-semilla de papa por planta del diámetro 20 mm a >40 mm (anexo 2 y anexo 3).

4.11.1. Rentabilidad en la producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Para tal efecto se emplean diversos indicadores dentro de una evaluación económica, que son valores que expresan la rentabilidad de una

determinada inversión, que a su vez permiten al inversionista tomar una decisión de aceptar o rechazar la puesta en marcha de un proyecto. Dentro de estos indicadores se pueden mencionar (Gittinger, 1989):

4.11.2. Valor Actual Neto (VAN).

Se determina por la diferencia entre el valor actualizado de la corriente de beneficio, menos el valor actualizado de la corriente de costos, a una tasa de actualización previamente determinada y que se expresa en la siguiente ecuación (Gittinger, 1989):

$$VAN = \sum_{t=1}^n B_t (1+i)^{-t} - \sum_{t=1}^n C_t (1+i)^{-t}$$

Donde:

B_t= Beneficios en cada periodo del proyecto.

C_t= Costos en cada periodo del proyecto

n= duración del proyecto

i= tasa de interés

t= Cada periodo del proyecto (año 1, 2,...n)

(1+i)⁻¹= Factor de actualización.

A través del indicador VAN se pueden rechazar o aceptar proyectos. Los valores negativos se rechazan, mientras que los valores positivos se aceptan, siendo de una mayor importancia todos los proyectos que maximicen ese valor positivo.

4.11.3. Relación Beneficio-Costo (B/C).

Es el cociente que resulta de dividir el valor actualizado de la corriente de beneficio entre el valor actualizado de la corriente de costo, a una tasa de

actualización previamente determinada (Gittinger, 1989). Se expresa en la siguiente ecuación:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n B_t (1+i)^{-t}}{\sum_{t=1}^n C_t (1+i)^{-t}}$$

Donde:

B_t= Beneficios en cada periodo del proyecto.

C_t= Costos en cada periodo del proyecto

n= duración del proyecto

i= tasa de interés

t= Cada periodo del proyecto (año 1, 2,...n)

(1+r)⁻¹= Factor de actualización.

El criterio de este indicador, es aceptar todos los proyectos cuyas B/C sean igual o mayor que uno.

4.11.4. Tasa Interna de Retorno (TIR).

Se define como la tasa de actualización que hace que el valor actualizado de la corriente de beneficios se iguale al valor actualizado de la corriente de costos, o sea que se iguale a cero (Gittinger, 1989), como se expresa en la ecuación:

$$TIR = \sum_{t=1}^n B_t (1+i)^{-t} - \sum_{t=1}^n C_t (1+i)^{-t} = 0$$

Donde:

B_t= Beneficios en cada periodo del proyecto.

C_t= Costos en cada periodo del proyecto

n= duración del proyecto

i= tasa de interés

t= Cada periodo del proyecto (año 1, 2,...n)

$(1+r)^{-1}$ = Factor de actualización.

El criterio de aceptación del proyecto a través del presente indicador es aprobar todos aquellos que tengan una TIR por arriba del costo de oportunidad del capital, que va de mayor a menor de acuerdo al valor alcanzado por la TIR.

Para que un productor de tubérculo-semilla de papa en invernadero, cambie un sustrato orgánico en su proceso de producción, requiere determinar la factibilidad económica a través de un análisis financiero.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la presentación de los resultados y discusión de los experimentos 1 y 2, se describirán de manera conjunta en un mismo apartado, en primer término se analizaron los resultados estadísticos (comparación de medias) de las propiedades físicas y químicas de los sustratos, así como las determinaciones agronómicas como: número total de tubérculos semilla y el peso seco de los mismos, diámetro de tubérculos-semilla por rangos de tamaño. Se determinó la curva de retención de humedad a 10, 50 y 100 cm de columna de agua, en todas las mezclas de sustratos con el objetivo de compararlas con los rangos óptimos de la capacidad de aireación, agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible; además en cada apartado se realizaron pruebas de correlación, para conocer la relación entre los diferentes parámetros físico, químicos y agronómicos evaluados. Se analizó la presencia de la enfermedad roña común *Streptomyces scabies* en tubérculos-semilla de papa como factor de calidad del tubérculo. Finalmente se realizó un análisis financiero, donde se tomó como parte del análisis, la mezcla de sustratos que mejores resultados agronómicos presentó, comparándola con el sustrato turba que es el material de importación. Este análisis es de importancia ya que permite a los productores tomar decisiones no solo en el aspecto agronómico sino también financiero.

5.1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos

5.1.1. Propiedades físicas

Al respecto Cabrera (1999) menciona que el espacio poroso total (EPT) y en particular, su distribución entre capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de humedad (CRH), drenaje y densidad aparente son consideradas las propiedades físicas más importantes para el crecimiento y desarrollo de

un cultivo en contenedor debido a que si la estructura física es inadecuada, difícilmente se podrá mejorar una vez establecido el cultivo (Pineda-Pineda *et al.*, 2008; Callejas-Ruíz *et al.*, 2009). En el cultivo de tubérculo-semilla de papa es fundamental la humedad retenida en la mezcla de sustratos, ya que ésta correlaciona positivamente con la propagación de enfermedades de tipo fungoso como la pudrición seca (*Fusarium solani*) y bacterianas como la roña común (*Streptomyces scabies*) (Egusquiza, 2000).

5.1.1.1. Densidad aparente

En el experimento 1, la densidad aparente (D_a) presentó diferencias ($P \leq 0.05$) entre sustratos. El valor mayor $0.189 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ correspondió al compost de agave tequilero, seguido por cuatro sustratos que fluctuaron entre $0.105 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ para cascarilla de arroz y $0.111 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ para fibra de pulpa de café y el tratamiento con el valor más bajo de todos los tratamientos fue el de bagazo de caña de azúcar con $0.091 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Cuadro 6).

En el experimento 2, nuevamente el tratamiento compost de agave tequilero presentó la mayor D_a con $0.318 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, seguido por el tamizado vermicompost de pulpa de café con $0.174 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, y los restantes cuatro tratamientos fueron iguales con valores que oscilaron entre $0.103 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ en el tratamiento aserrín de pino hasta $0.110 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ en bagazo de caña de azúcar (Cuadro 7).

El compost de agave tequilero aún mezclado con la fibra de coco y la perlita, no fue adecuado para su manejo por el mayor peso que presentó. Esta característica es debida a su proceso de elaboración donde posiblemente es mezclado con otros materiales distintos a la fibra de agave tequilero, de ahí que no presentó las mismas características entre lotes utilizados en los experimentos 1 y 2.

La densidad aparente en todas las mezclas de sustratos experimento 1 y 2 se encontraron dentro de los niveles óptimos, $<0.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Abad *et al.*, 2004) (Cuadros 6 y 7). Es recomendable tener sustratos con una Da baja, lo que facilita su transporte y manejo en el invernadero (Vargas *et al.*, 2008).

5.1.1.2. Espacio poroso total

En lo referente al espacio poroso total (EPT), en el experimento 1, los tratamientos fibra de pulpa de café y bagazo de caña de azúcar presentaron el valor mayor con 80.75%, con respecto al resto de los tratamientos, mientras que los que presentaron el menor EPT fueron compost de agave tequilero con 70.82 % y cascarilla de arroz con 66.87 % (Cuadro 6).

En el experimento 2, los dos tratamientos que presentaron el mayor valor de EPT fueron la turba con 76.04 % y el bagazo de caña de azúcar con 75.39 %, mientras que la cascarilla de arroz con 66.87 % fue el tratamiento con el menor valor ($P \leq 0.05$) (Cuadro 7). Con excepción de la cascarilla de arroz, todos los sustratos presentaron un espacio poroso total óptimo, que de acuerdo con Cabrera (1999), debe estar entre 70 a 85 %. El mismo autor menciona que un medio de cultivo o sustrato debe diseñarse para aumentar al máximo su contenido de agua y aire, dados por la porosidad total.

En los tratamientos fibra de pulpa de café molida y bagazo de caña de azúcar molida en el experimento 1 y en el bagazo de caña de azúcar en el experimento 2, se dificultó la entrada del agua de riego al inicio del experimento. Al respecto, Blok *et al.*, (2008) indican que algunos materiales como turbas y compostas pueden desarrollar hidrofobicidad, la cual puede ser causada por moléculas específicas ya sea formadas o depositadas en las paredes de los poros. Sin embargo, es difícil distinguir entre los efectos de la hidrofobicidad y los efectos en la disminución de retención de humedad que tienen la distribución del tamaño de poros o cambios en la geometría del

poro durante los procesos de contracción de los sustratos. En el experimento 2 el tratamiento tamizado de fibra de pulpa de café y la cascarilla de arroz, fueron los que mejor comportamiento presentaron al momento del riego inicial, permitiendo la entrada del agua de forma vertical y homogénea en todo el material.

Cuadro 6. Características físicas en mezcla de sustratos (experimento 1).

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Características físicas *			
	densidad aparente	EPT	CA	CRH
	-----g·cm ⁻³ -----	-----	%	-----
Turba	0.106 b	76.04 b	5.63 d	70.40 a
Fibra de pulpa de café	0.111 b	80.75 a	9.42bcd	71.15 a
Cascarilla de arroz	0.105 b	66.87 c	12.82 ab	54.05 c
Compost de agave tequilero	0.189 a	70.82 c	7.87 cd	62.94 b
Tamizado de fibra de pulpa de café	0.107 b	75.38 b	15.67 a	59.71 b
Bagazo de caña de azúcar	0.091 c	80.75 a	11.29 bc	69.45 a
DMS	0.01	3.96	4.05	5.47

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). EPT=espacio poroso total. CA=capacidad de aireación. CRH=capacidad de retención de humedad. DMS= diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

Cuadro 7. Características físicas de mezcla de sustratos, experimento 2.

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Características físicas *			
	densidad aparente ----- g·cm ⁻³ -----	EPT ----- % -----	CA ----- % -----	CRH ----- % -----
Turba	0.106 c	76.04 a	5.63 cd	70.40 a
Aserrín de pino (desinfectado con vapor)	0.103 c	69.55 b	15.98 a	53.56 c
Cascarilla de arroz	0.105 c	66.87 b	12.82 ab	54.05 c
Compost de agave tequilero	0.318 a	68.47 b	3.44 d	64.78 b
Tamizado vermicompost pulpa de café	0.174 b	68.35 b	15.89 ab	52.45 c
Bagazo de caña de azúcar	0.110 c	75.39 a	10.27 bc	65.06 a
DMS	0.01	5.17	5.62	5.59

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). EPT= espacio poroso total. CA= capacidad de aireación. CRH=capacidad de retención de humedad. DMS= diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

5.1.1.3. Capacidad de aireación

En el experimento 1, los tratamientos de tamizado de fibra de pulpa de café con 15.67 % y la cascarilla de arroz con 12.82 % presentaron los valores más altos en la capacidad de aireación (CA), con respecto al resto de los tratamientos; las demás mezclas no presentan diferencias entre ellas con valores que fluctúan entre 11.29 % en bagazo de caña de azúcar molido a 5.63 % en turba (Cuadro 6).

En el experimento 2, la CA en los tratamientos aserrín de pino y el tamizado de vermicompost de pulpa de café tuvieron valores muy similares de 15.98 y 15.89 % respectivamente, seguidos de la cascarilla de arroz con 12.82 % que presentaron los valores más altos; los valores más bajos se tuvieron en la turba con 5.63 % y en el compost de agave tequilero con 3.44 % (Cuadro 7). De la misma forma se comportaron en la producción de tubérculo-semilla de papa en la variedad Alpha siendo los que produjeron más tubérculos-semilla de papa, así el único que no cubre dicha característica es el compost de agave tequilero con la menor y ocupando el 3er. sitio en la producción de tubérculo-semillas de papa en ambas variedades Alpha y Atlantic.

En la capacidad de aireación en el experimento 1 solamente el 50% y en el experimento 266.6 % de los tratamientos estuvieron dentro del rango recomendable que es de 10-20% (Cabrera, 1999), y ningún tratamiento dentro de los criterios establecidos por Abad *et al.*, (2004) quienes mencionan que el rango adecuado es entre 20 y 30%. Los tratamientos tamizado de fibra de pulpa de café y la cascarilla de arroz que presentaron la mayor CA, fueron dos de las cuatro mezclas que tuvieron el mejor comportamiento en la producción de tubérculo-semilla de papa en el experimento 1, las demás mezclas no presentan diferencias (Cuadro 6).

5.1.1.4. Capacidad de retención de humedad

En el experimento 1 y específicamente en la capacidad de retención de humedad (CRH) hubo tres tratamientos con los valores más altos, la fibra de pulpa de café molida 71.15 %, turba con 70.40 % y el bagazo de caña de azúcar molido con 69.45 %, mientras que la cascarilla de arroz con 54.05 % fue significativamente menor al resto de los tratamientos (Cuadro 6).

En esta misma propiedad (CRH) en el experimento 2, la turba presentó 70.40 % y el bagazo de caña de azúcar molido 65.06 %, presentaron el mayor valor con respecto a las demás mezclas y los que presentaron valores menores fluctuaron entre 54.05 % en cascarilla de arroz y 52.45 % en el tamizado de vermicompost de pulpa de café (Cuadro 7).

La CRH óptima está en el intervalo 55-70% (Abad *et al.*, 2004). En el experimento 2 hay tres valores que se salen de los rangos mencionados y son las mezclas de sustratos de cascarilla de arroz, aserrín de pino y tamizado de vermicompost de pulpa de café con un promedio de 53 % de CRH. Sin embargo, el hecho de que presenten rangos óptimos de CRH no le confiere a las mezclas las propiedades adecuadas al momento de realizar el ensayo, sino que depende de la conjunción de otras características físicas, para que se obtenga el óptimo desarrollo de los cultivos.

5.1.1.5. Granulometría

En el experimento 1, el análisis granulométrico indica que el tratamiento de tamizado de fibra de pulpa de café fue el que presentó mayor porcentaje 86.73 de tamaño de partículas entre 0.297-2.38 mm, el cual fue diferente ($P \leq 0.05$) al resto de los tratamientos. El tratamiento con menor granulometría fue la fibra de pulpa de café molida con 51.63 % (Cuadro 9).

En el experimento 2, el aserrín de pino tuvo 89.45% con tamaño de partícula entre 0.297 a 2.38 mm y fue significativamente mayor que el resto de los tratamientos, seguido por el tamizado de vermicompost de pulpa de café 82.74% y cascarilla de arroz 79.29%, estas dos últimas mezclas de sustratos fueron iguales, el penúltimo lugar lo ocuparon el bagazo de caña de azúcar molido 70.30% y la turba con 68.32% de igual forma fueron iguales, y el último lugar fue para el tratamiento compost de agave tequilero con 57.82 % (Cuadro 10).

Las mezclas en el experimento 1 que presentaron mayor porcentaje del rango intermedio (0.297-2.38 mm) fue el tamizado de fibra de pulpa de café y cascarilla de arroz, presentaron un mejor comportamiento en la producción de tubérculos-semilla de papa (Cuadro 9).

La granulometría considerada como óptima va de 0.25 a 2.50 mm (Abad *et al.*, 2004), intervalo que es muy aproximado al encontrado en el presente experimento que va de 0.297-2.38 mm. Esta propiedad tiene que ver directamente con la capacidad de aireación y capacidad de retención de humedad (Cabrera, 1999). Sin embargo, para que estas mejoras surtan efecto, es necesario que los componentes del sustrato o mezcla tengan un tamaño deseable de partículas. La mayoría de las partículas para componentes orgánicos, así como inorgánicos, deseables para la elaboración de sustratos deberán encontrarse entre 0.5 y 4 mm y con menos del 20 % presente en partículas más finas que 0.5 mm (Bunt, 1988).

En el experimento 2, el porcentaje de partículas en el intervalo de 2.38-0.297 mm fue superior en el tratamiento aserrín de pino, propiedad que le confiere a dicha mezcla un estupendo drenaje al momento de aplicar riegos, mientras que el compost de agave tequilero, presentó el menor porcentaje de partículas en este rango, lo que se vio reflejado en los valores mayores de D_a 0.318 g·cm⁻³ (Cuadro 10).

Cuadro 8. Granulometría en diversas mezclas de sustratos (experimento 1).

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla	Tamaño de partículas (mm)*		
	<4.76-9.52	0.297-2.38	< 0.297
	----- % en peso-----		
Turba	0.89 a	68.31 cd	30.78 bc
Fibra de pulpa de café	0.25 a	51.63 e	47.84 a
Cascarilla de arroz	0.67 a	79.29 b	20.03 d
Compost de agave tequilero	0.89 a	64.49 d	34.61 b
Tamizado de fibra de pulpa de café	0.42 a	86.73 a	12.83 e
Bagazo de caña de azúcar	0.80 a	70.30 c	28.89 c
DMS	0.72	5.76	5.55

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS=diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

Cuadro 9. Granulometría en diversas mezclas de sustratos (experimento 2).

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Tamaño de partículas (mm)*		
	<4.76-9.52	0.297-2.38	< 0.297
	----- % en peso-----		
Turba	0.89 bc	68.32 c	30.79 b
Aserrín de pino (desinfectado con vapor)	0.07 c	89.45 a	9.52 d
Cascarilla de arroz	0.67 bc	79.29 b	20.03 c
Compost de agave tequilero	2.22 b	57.82 d	34.96 a
Tamizado vermicompost pulpa de café	11.30 a	82.74 b	5.96 d
Bagazo de caña de azúcar	0.80 bc	70.30 c	28.89 b
DMS	1.89	5.06	6.10

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS=diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

5.1.1.6. Correlación entre las propiedades físicas de los sustratos.

Los coeficientes de correlación entre las propiedades físicas en el experimento 1 muestran que existe una relación positiva entre la densidad aparente y el espacio poroso total ($r=0.868$), con la capacidad de retención de humedad ($r=0.836$) y con el diámetro de partículas en el rango de 0.297 a 2.38 mm ($r=0.804$), en todos los casos $P\leq 0.01$ (Cuadro 10). Así las correlaciones son positivas cuando las variables dependiente e independiente aumentan, en este caso variables que tienen que ver con espacio poroso (como son la densidad aparente y el espacio poroso total), afectaran directamente a la Capacidad de Retención de Humedad ya que a mayor cantidad de espacios vacíos porosos estos son ocupados por agua, lo anterior es confirmado por Burés (1997) que menciona que una capacidad de aireación adecuada se consigue aumentando el número de poros mayores a un cierto tamaño de umbral (0.290 mm de diámetro) que se obtiene generalmente aumentando el tamaño de las partículas, por su parte el tamaño de partículas al incrementar su rango intermedio (0.297 a 2.38 mm) aumentará la densidad aparente, debido a que las partículas del sustrato ocupan un espacio dentro de la relación peso-volumen.

Por su parte, el EPT presenta un coeficiente de correlación positivo con la CRH ($r=0.967$) y con el diámetro de partículas ($r=0.910$) ($P\leq 0.01$). Si el EPT se define como el porcentaje de espacios vacíos (percolantes o no) Burés, 1998), esto estará directamente correlacionado con la CRH, y en lo referente a la correlación entre EPT y el diámetro de partículas de igual forma como se comentó en el párrafo anterior.

En el experimento 2, se muestra un coeficiente de correlación entre el EPT con la CRH de $r=0.726$. Por su parte, la CA presenta una correlación alta con CRH ($r=-0.846$) y con el Diámetro de partículas en el rango de 0.297 a 2.38

mm ($r=0.877$), así la distribución del tamaño de los poros es el factor clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos (Abad *et al.*, 2004) Finalmente la CRH se correlaciona con el EPT ($r=0.726$), con la CA ($r=-0.846$) y con el diámetro de partículas ($r=-0.760$) en el rango de 0.297 a 2.38 mm (Cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficientes de correlación en diversas propiedades físicas de mezclas de sustratos para la producción de tubérculos-semilla de papa a nivel invernadero (experimento 1 y 2).

Experimento 1				Experimento 2					
	Da	EPT	Ca	Da	EPT	Ca	CRH	DIAMPART	
Da	1.00000	0.86885	-0.03245	Da	1.00000	-0.35710	-0.51407	0.16886	-0.64379
		<.0001	0.8983			0.1457	0.0291	0.5030	0.0053
	18	18	18		18	18	18	18	17
EPT	0.86885	1.00000	0.06913	EPT	-0.35710	1.00000	-0.24988	0.72655	-0.23138
	<.0001		0.7852		0.1457		0.3173	0.0006	0.3716
	18	18	18		18	18	18	18	17
Ca	-0.03245	0.06913	1.00000	Ca	-0.51407	-0.24988	1.00000	-0.84686	0.87758
	0.8983	0.7852			0.0291	0.3173		<.0001	<.0001
	18	18	18		18	18	18	18	17
				CRH	0.16886	0.72655	-0.84686	1.00000	-0.76027
					0.5030	0.0006	<.0001		0.0004
					18	18	18	18	17
				DIAMPART	-0.64379	-0.23138	0.87758	-0.76027	1.00000
					0.0053	0.3716	<.0001	0.0004	
					17	17	17	17	17

Da=densidad aparente, EPT=espacio poroso total, Ca=capacidad de aireación, CRH=capacidad de retención de humedad, DIAMPART=diámetro de partículas.

5.1.1.7. Curva de retención de humedad

Abad *et al.*, (2004) mencionan que los rangos óptimos de los sustratos en cuanto a la retención de agua son:

- 55-70 % v/v a 10 cm de columna de agua (cm c.a.)
- 31-40 % v/v a 50 cm c.a.
- 25-31 % v/v a 100 cm c.a.

La turba que presento 61.5 % de retención de agua a una tensión de 10 cm de c.a., está dentro de los niveles óptimos, no así la fibra de pulpa de café molida con 84.94 % y la cascarilla de arroz con 80.89 % . Para la tensión de 50 cm c.a., donde se tiene el agua fácilmente disponible el único sustrato que está dentro del nivel óptimo es la cascarilla de arroz con 33.66 % y ligeramente inferior la turba con 28.96 % y la fibra de pulpa de café molida con 63.83 %. A la tensión de 100 cm c.a., donde se tiene el agua difícilmente disponible, los sustratos que están muy cerca del óptimo son turba y cascarilla de arroz con 22.93 y 23.89 % respectivamente, y fuera del rango óptimo la fibra de pulpa de café molido con 43.68 % (Figura 11).

Burés (1997) y Abad *et al.*, (2004), mencionan que rango óptimo del agua fácilmente disponible es de e 20 a 30 %, donde la mezcla de fibra de pulpa de café molida con 21.11 % es la que está dentro del rango. El agua de reserva que debe tener un rango óptimo de 4 a 10 % vol (Abad *et al.*, 2004), lo cumplen solo la turba con 6.03 % y cascarilla de arroz con 9.77 %.

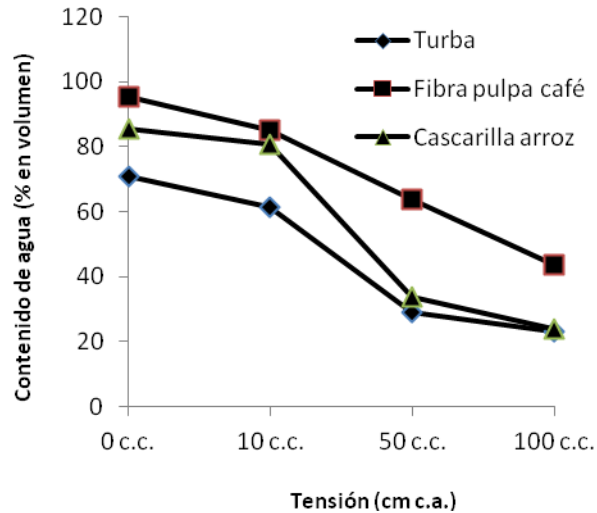


Figura 11. Curva de retención de agua en diversas mezclas de sustratos usados en los experimentos 1 y 2.

En la Figura 12 se muestra que a 10 cm c.a. el único sustrato que está dentro de los niveles óptimos es el tamizado de pulpa de café con 68.94 %, y por arriba del óptimo la mezcla de compost de agave tequilero (78.20 % vol) y el bagazo de caña de azúcar molido (81.43 %). A 50 cm de c.a. las tres mezclas de sustratos están fuera del rango óptimo, dos ligeramente arriba del rango, el compost de agave tequilero 41.11 % y tamizado de fibra de pulpa de café con 43.11 % vol y más alejado el bagazo de caña de azúcar molido con 54.65 %. Para los 100 cm c.a., el único que está dentro de rango óptimo es el compost de agave tequilero con 26.63 % y fuera de rango el tamizado de pulpa de café con 34.51 % y bagazo de caña de azúcar con 36.50 %.

El agua fácilmente disponible en las mezclas de sustratos tamizado de pulpa de café con 25.83 % y bagazo de caña de azúcar con 26.78 % están dentro del rango óptimo, y en el agua de reserva la mezcla de tamizado de fibra de pulpa de café es la única que está dentro de rango óptimo.

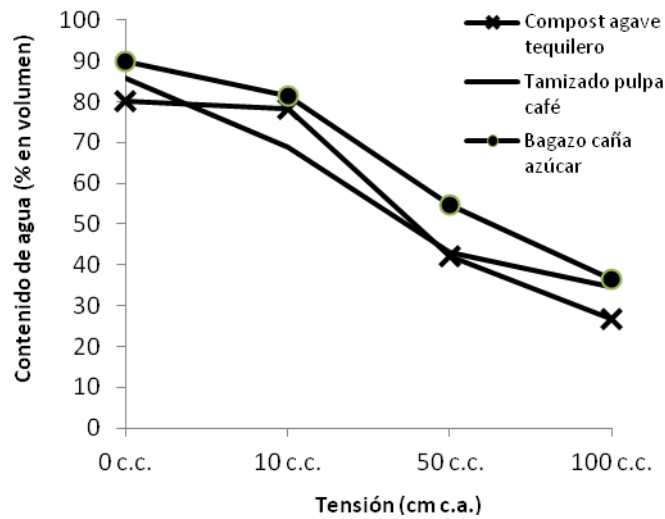


Figura 12. Curva de retención de agua en diversas mezclas de sustratos usados en los experimentos 1 y 2.

En la Figura 13, se muestran los dos de los seis sustratos empleados en el experimento 2, a 10 cm c.a. ambos están fuera de rango óptimo con 82.60 % para aserrín de pino y 76.9 % para tamizado de vermicompost de pulpa de café. A los 50 cm c.a. el aserrín de pino está dentro del nivel óptimo con 35.5 %, no así el tamizado de vermicompost de pulpa de café con 52.26 %. A 100 cm c.a. el aserrín de pino con 28.23 % está dentro del rango óptimo, no así el tamizado de vermicompost de pulpa de café con 37.33 %.

El rango óptimo de agua fácilmente disponible se cumple en el tamizado de vermicompost de pulpa de café con 23.74 %, no así en aserrín de pino con 47.1 %, el agua de reserva en su rango óptimo se cumple en aserrín de pino con 7.27 % y en el tamizado de vermicompost de pulpa de café con 14.93 % queda fuera de dicho rango.

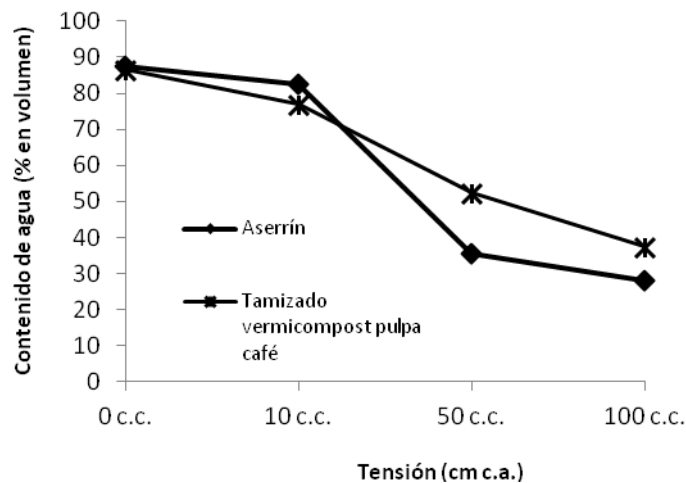


Figura 13. Curva de retención de agua en diversas mezclas de sustratos usados en el experimento 2.

5.1.2. Propiedades químicas

5.1.2.1. pH

El experimento 1 muestra que el tratamiento Compost de agave tequilero presentó el mayor pH de 7.74, siendo diferente estadísticamente al resto de las mezclas, el tratamiento con menor pH fue el bagazo de caña de azúcar con 5.96 (Cuadro 11).

En el experimento 2, el pH más alto estadísticamente se encontró en la mezcla de compost de agave tequilero con 8.06 y el menor pH se registró en los tratamientos aserrín de pino con 6.11 y bagazo de caña de azúcar molido con 6.08, estos dos no presentaron diferencias entre ellos (Cuadro 12).

En el experimento 1, el pH inicial del bagazo de caña de azúcar molido y compost de agave tequilero (Cuadro 13), rebasan los valores óptimos

recomendados que debe tener un sustrato que van de 5.2 a 6.3 (Abad *et al.*, 2004), pero los tratamientos con turba y bagazo de caña de azúcar molida se encuentran dentro de este rango.

En el experimento 2, el pH inicial del bagazo de caña de azúcar molido y el compost de agave tequilero sobrepasaron los valores óptimos recomendados que debe tener un sustrato que son de 5.2 a 6.3. (Abad *et al.*, 2004), cumpliendo este rango solamente los tratamientos con turba, aserrín de pino y bagazo de caña de azúcar (Cuadro 12).

5.1.2.2. Conductividad eléctrica

En el experimento 1, la Conductividad Eléctrica (CE) fue mayor en el tamizado de fibra de pulpa de café con $3.46 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, el penúltimo lugar lo ocuparon la fibra de pulpa de café molida con $1.68 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y la turba con $1.64 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (ambos sin diferencias) y la CE más baja la presentó el tratamiento bagazo de caña de azúcar molido con $1.33 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadro 11).

En el experimento 2, el compost de agave tequilero dio el valor más alto de CE con $5.52 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y la conductividad más baja se presentó en los tratamientos turba con $1.64 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y en aserrín de pino con $1.59 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, ambas mezclas sin diferencias estadísticas (Cuadro 12).

La CE óptima que debe tener un sustrato va de 0.75 a $1.99 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, presentándose en todos los tratamientos diferencias ($P \leq 0.05$) en el experimento 1. Los dos tratamientos que están fuera del rango óptimo son el tamizado de fibra de pulpa de café y el compost de agave tequilero.

En el experimento 2, los tres tratamientos que están fuera del rango óptimo son el compost de agave tequilero, el tamizado de vermicompost de pulpa de café y bagazo de caña de azúcar molido (Cuadro 12). Sin embargo, las plantas de papa no se consideran susceptibles a un exceso moderado de

sales, el cual podría ser lixiviado con el riego (Noguera *et al.*, 2000). La eficacia con la que las sales solubles residentes en la solución del sustrato son desplazadas o lixiviadas depende de ciertas características físicas del sustrato, principalmente su granulometría. Estudios efectuados al respecto indican que la mayoría de las sales son removidas con tan solo aplicar 1.5 veces la cantidad de agua retenida por el sustrato a capacidad de contenedor (Bunt, 1988). En la práctica y asumiendo que se utilice agua de buena calidad, el volumen de agua equivalente al volumen total de la maceta o contenedor será suficiente para corregir problemas comunes de salinidad (Nelson, 1991). En la presente investigación de producción de tubérculos-semilla de papa, donde no se empleó propiamente un contenedor en el sentido estricto, ya que eran camas de 0.15 m de altura con varios metros de largo y ancho y en la base o piso se contaba con una malla *ground cover*, que permitía que los residuos de humedad se filtraran al suelo.

Las propiedades químicas son importantes porque influyen en la nutrición de los cultivos (Pineda-Pineda *et al.*, 2008) y a diferencia de las propiedades físicas iniciales de un sustrato, las propiedades químicas pueden ser modificadas a lo largo de un ciclo de producción. La evaluación inicial de las propiedades químicas de un sustrato se concentra principalmente en aquellos parámetros que podrían afectar más significativamente al cultivo en su fase de establecimiento, en especial pH y CE (García *et al.*, 2001).

Cuadro 11. Determinaciones químicas en mezclas de sustratos (experimento 1).

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Características químicas*			
	pH		conductividad eléctrica dS·m ⁻¹	
Turba	6.20	d	1.64	d
Fibra de pulpa de café	6.86	b	1.68	d
Cascarilla de arroz	6.48	c	1.80	c
Compost de agave tequilero	7.74	a	2.67	b
Tamizado de fibra de pulpa de café	6.89	b	3.46	a
Bagazo de caña de azúcar	5.96	e	1.33	e
DMS	0.08		0.04	

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

Cuadro 12. Determinaciones químicas en mezcla de sustratos (experimento 2).

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Características químicas*	
	pH	conductividad eléctrica dS·m ⁻¹
Turba	6.20 d	1.64 e
Aserrín de pino (desinfectado con vapor)	6.11 de	1.59 e
Cascarilla de arroz	6.48 c	1.80 d
Compost de agave tequilero	8.06 a	5.52 a
Tamizado vermicompost pulpa de café	7.01 b	4.99 b
Bagazo de caña de azúcar	6.08 e	2.06 c
DMS	0.05	0.08

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

Las propiedades químicas de las mezclas de sustratos en el experimento 1 no presentaron ninguna correlación con las propiedades físicas ni con la producción de tubérculos-semilla (Cuadro 13).

En el experimento 2 las propiedades químicas como el pH y la CE no se correlacionan con ninguna propiedad física y química (Cuadro 14).

Cuadro 13. Coeficientes de correlación en diversas propiedades físicas y químicas de mezclas de sustratos en la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero (experimento 1).

	Da	EPT	Ca	CRH	DIAMPART	pH
CRH	0.83639 <.0001 18	0.96778 <.0001 18	-0.12885 0.6104 18	1.00000 18	0.82897 <.0001 18	0.51952 0.0271 18
DIAMPART	0.80427 <.0001 18	0.91056 <.0001 18	0.27450 0.2703 18	0.82897 <.0001 18	1.00000 18	0.37426 0.1260 18
pH	0.52723 0.0246 18	0.40830 0.0925 18	-0.17040 0.4990 18	0.51952 0.0271 18	0.37426 0.1260 18	1.00000 18
CE	0.42397 0.1488 18	-0.22317 0.4636 18	0.52172 0.0675 18	-0.46747 0.1072 18	0.48407 0.0937 18	0.66260 0.0136 18
ALPHASAN	-0.80737 <.0001 18	-0.85857 <.0001 18	-0.21320 0.3956 18	-0.78810 0.0001 18	-0.81956 <.0001 18	-0.40318 0.0971 18
ATLSANI	0.10051 0.6915 18	0.31311 0.2058 18	0.37383 0.1265 18	0.26053 0.2964 18	0.42474 0.0789 18	0.01016 0.9681 18
PETUALPH	-0.87294 <.0001 18	-0.98700 <.0001 18	-0.14742 0.5594 18	-0.93530 <.0001 18	-0.93395 <.0001 18	-0.38649 0.1131 18
PETUATL	0.36043 0.1418 18	0.36731 0.1337 18	0.47277 0.0475 18	0.30232 0.2227 18	0.44034 0.0674 18	0.35561 0.1475 18
NOTUBALP	-0.89255 <.0001 18	-0.97591 <.0001 18	-0.08923 0.7248 18	-0.93604 <.0001 18	-0.91381 <.0001 18	-0.41757 0.0847 18
NOTUATL	-0.88101 <.0001 18	-0.97320 <.0001 18	-0.08639 0.7332 18	-0.91329 <.0001 18	-0.92337 <.0001 18	-0.30732 0.2148 18

Da=densidad aparente, EPT=espacio poroso total, Ca=capacidad de aireación, CRH=capacidad de retención de humedad, DIAMPART=diámetro de partículas, pH=potencial de hidrógeno, CE=conductividad eléctrica, ALPHASAN=sanidad en tubérculos-semilla Alpha, ATLSANI=sanidad en tubérculos-semilla Atlantic, PETUALPH=peso seco tubérculos-semilla Alpha, PETUATL=peso seco tubérculos-semilla Atlantic, NOTUBALP=número tubérculos-semilla Alpha y NOTUATL=número de tubérculos-semilla Atlantic.

Cuadro 14. Coeficientes de correlación en diversas propiedades físicas y químicas de mezclas de sustratos en la producción de tubérculo-semilla de papa a nivel invernadero (experimento 2).

	Da	EPT	Ca	CRH	DIAMPART	pH	CE
pH	0.94319	-0.53248	-0.35230	-0.04230	-0.51595	1.00000	0.60085
	<.0001	0.0229	0.1516	0.8676	0.0340		0.0084
	18	18	18	18	17	18	18
CE	0.42055	-0.41811	0.27246	-0.42281	0.04577	0.60085	1.00000
	0.0822	0.0842	0.2740	0.0804	0.8615	0.0084	
	18	18	18	18	17	18	18
ALPHASAN	0.31452	-0.06600	0.03455	-0.06000	-0.25982	0.28646	0.27733
	0.2037	0.7947	0.8918	0.8130	0.3139	0.2491	0.2652
	18	18	18	18	17	18	18
ATLSANI	0.40481	0.05477	-0.43065	0.33576	-0.41643	0.35856	-0.15965
	0.0956	0.8291	0.0744	0.1731	0.0964	0.1440	0.5269
	18	18	18	18	17	18	18
PETUALPH	0.43087	-0.27217	-0.26259	0.03679	-0.23313	0.59612	0.42454
	0.0742	0.2746	0.2925	0.8848	0.3678	0.0090	0.0791
	18	18	18	18	17	18	18
PETUATL	0.56687	-0.24372	-0.54250	0.25111	-0.43298	0.62075	0.19195
	0.0142	0.3298	0.0200	0.3148	0.0826	0.0060	0.4454
	18	18	18	18	17	18	18
NOTUBALP	0.24394	-0.47298	0.36087	-0.51561	0.25097	0.49729	0.85669
	0.3293	0.0474	0.1412	0.0285	0.3312	0.0357	<.0001
	18	18	18	18	17	18	18
NOTUATL	0.35659	-0.55597	-0.01711	-0.29304	-0.00097	0.57162	0.75726
	0.1464	0.0166	0.9463	0.2380	0.9971	0.0132	0.0003
	18	18	18	18	17	18	18

Da=densidad aparente, EPT=espacio poroso total, Ca=capacidad de aireación, CRH=capacidad de retención de humedad, DIAMPART=diámetro de partículas, pH=potencial de hidrógeno, CE=conductividad eléctrica, ALPHASAN=sanidad en tubérculos-semilla Alpha, ATLSANI=sanidad en tubérculos-semilla Atlantic, PETUALPH=peso seco tubérculos-semilla Alpha, PETUATL=Peso seco tubérculos-semilla Atlantic, NOTUBALP=Número tubérculos-semilla Alpha y NOTUATL=número de tubérculos-semilla Atlantic.

5.1.3. Determinaciones agronómicas

5.1.3.1. Número total de tubérculos-semilla de papa

En el experimento 1, los tratamientos con mayor número total de tubérculos-semilla en la variedad Alpha fueron el tamizado de fibra de pulpa de café con 13.2 tubérculos-semilla por planta, seguido por fibra de pulpa de café molida 8.2, cascarilla de arroz 7.6 y turba 7.3, los dos tratamientos con menor cantidad de tubérculos-semilla fueron el bagazo de caña de azúcar 5.2 y el compost de agave tequilero con 4.6 tubérculos-semilla por planta, estos dos últimos fueron iguales (Cuadro 15). Para la variedad Atlantic los mejores tratamientos fueron tamizado de fibra de pulpa de café con 7.6 tubérculos-semilla por planta, el compost de agave tequilero con 5.4 y la fibra de pulpa de café con 5.3; la mezcla con menor número de tubérculos-semilla por planta fue el bagazo de caña de azúcar molido con 2.9 (Cuadro 15).

Para el experimento 1 el número promedio de tubérculos-semilla por planta no presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos tamizado de fibra de pulpa de café, fibra de pulpa de café, cascarilla de arroz y turba (para la variedad Alpha) y para la variedad Atlantic los mejores tratamientos fueron tamizado de fibra de pulpa de café, compost de agave tequilero y fibra de pulpa de café. Al comparar los resultados obtenidos por Sarquís-Ramírez (2005) que estudió el rendimiento comercial de diversas progenies de tubérculo-semilla de papa entre ellas la de Alpha, en un sustrato conformado por suelo franco arenoso, mezclado con composta de hojarasca del bosque, obtuvieron 1.7 tubérculos por planta, con un peso de 18.5 g por tubérculo, rendimiento que fue superado ampliamente en el presente trabajo en todas las mezclas utilizadas, donde el sustrato de vermicompost produjo 9.5 tubérculos por planta. Por su parte, Carrera y Ortega-Cartaya en 2004 realizaron un experimento con plántulas de papa provenientes de laboratorio de la variedad Atlantic en macetas de 18 cm de alto, 21 y 15 cm de diámetro superior e inferior respectivamente, reportan el mayor

rendimiento con un promedio de 8.7 tubérculos planta, superando al del presente trabajo que obtuvo 5.9 tubérculos planta obtenidos en el tratamiento con vermicompost de pulpa de café. Sin embargo, el sustrato empleado en el presente experimento era nuevo y no se desinfectó por ningún método.

En el experimento 2, el tratamiento tamizado de vermicompost de pulpa de café produjo 9.5 tubérculos-semilla por planta superando ($P \leq 0.05$) al tratamiento testigo de turba y a todos los demás tratamientos en la variedad Alpha, que se caracteriza por producir un mayor número de tubérculos-semilla aunque de menor tamaño que la variedad Atlantic. El mismo tratamiento de tamizado de vermicompost de pulpa de café produjo 5.9 tubérculos-semilla por planta en la variedad Atlantic, en este caso no supero al tratamiento de turba con 4.4 aunque sí mantuvo una tendencia positiva (Figura 16). El tratamiento de bagazo de caña de azúcar molida en ambas variedades fue el que presentó la menor producción.

En el experimento 2, el número total de tubérculos-semilla variedad Alpha en el tratamiento de tamizado de vermicompost de pulpa de café con 9.5 tubérculo-semilla por planta fue el mayor, seguido por cuatro mezclas (cascarilla de arroz 6.3, turba 5.8, aserrín 6.4 y compost de fibra de agave tequilero con 6.2 tubérculo-semilla) sin diferencias significativas y el tratamiento menor fue la mezcla de bagazo de caña de azúcar con 3.2 tubérculo-semilla por planta. Para la variedad Atlantic, el tratamiento tamizado de vermicompost de pulpa de café fue el que produjo mayor cantidad de tubérculos-semilla con 5.8 por planta, seguido de tres mezclas de sustratos que oscilaron de 4.6 tubérculo-semilla por planta en la mezcla de compost de agave tequilero, turba 4.4 y cascarilla de arroz 4.4 aunque no hubo diferencias significativas entre estos últimos, y las dos mezclas de sustratos que menor cantidad de tubérculo-semilla presentaron fueron la mezcla de aserrín de pino con 3.89 y el bagazo de caña de azúcar con 3.2 tubérculo-semilla por planta (Figura 16).

El número de tubérculo-semilla de papa de la variedad Alpha en el experimento 1, presenta una correlación negativa significativa con varios parámetros físicos de la mezcla de sustratos, como lo son la Da ($r = -0.892$), los sustratos tienen como característica importante la porosidad pero si esta se ve afectada por una alta densidad aparente, esto influirá en la producción, como en el presente caso donde tubérculos-semilla crecen a nivel sustrato, además las plantas de cultivo intensivo en los invernaderos con riegos de alta frecuencia requieren medios con densidad aparente baja, para disminuir el riesgo de deficiencia de oxígeno (Wallach, 2008). EPT ($r = -0.975$) en esta propiedad física la porosidad de un sustrato es la que contribuye a la retención y movimiento del agua y aire en el sustrato (Burés, 1997), CRH ($r = -0.936$) así la retención de agua por el sustrato, en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determina la posibilidad a la planta para poder utilizarla como vehículo para realizar las funciones metabólicas (Handreck y Black, 2005; Savvas y Pasam, 2002) y Diámetro de partícula del rango 0.297 al 2.38 mm ($r = -0.913$) ésta define a su vez el tamaño de los poros situados entre ellas, los que a su vez determinarán el balance entre agua y aire del sustrato durante el crecimiento de las plantas (Abad *et al.*, 2005 todas las propiedades físicas mencionadas anteriormente presentaron una $P < 0.01$. De igual forma el número de tubérculo-semilla de la variedad Atlantic presenta una correlación con diversos parámetros físicos como Da ($r = -0.881$), EPT ($r = -0.973$), CRH ($r = -0.913$) y diámetro de partículas del rango 0.297 al 2.38 mm ($r = -0.923$) con una $P < 0.01$ (Cuadro 15). Es importante mencionar que una correlación puede ser positiva cuando las dos variables X y Y aumentan; o puede ser negativa cuando al aumentar una variable la otra disminuye (Rebolledo, 1999).

En el experimento 2, el número de tubérculos se correlacionó positivamente con la CE ($r = 0.856$) ($P < 0.01$) en la variedad Alpha y una $r = 0.757$ ($P < 0.03$) en la variedad Atlantic, donde posiblemente los niveles altos de sales solubles son permisibles en medios de crecimiento como turbas u otros materiales orgánicos como es el presente experimento, debido a que ellos pueden contener más agua por unidad

de volumen que los suelos minerales (Warncke, 1990). Todas las demás variables no presentaron ninguna correlación (Cuadro 16).

5.1.3.2. Peso seco de tubérculo-semilla de papa

En el peso seco de tubérculos-semilla por planta en la variedad Alpha del experimento 1, no presentó diferencias entre tratamientos fluctuando de 10 g por planta en cascarilla de arroz a 3.8 g por planta en bagazo de caña de azúcar molido. Para la variedad Atlantic la mezcla de tamizado de fibra de pulpa de café presentó 33.9 g por planta junto con el compost de agave tequilero con 25.0 g, ambos fueron los mejores tratamientos, y el que presentó menor peso seco de tubérculos-semilla fue la mezcla de cascarilla de arroz con 8.3 g (Cuadro 15).

El peso seco de tubérculos-semilla en el experimento 2 fue mayor en los tratamientos de turba con 16.6 g por planta y compost de agave tequilero con 16.5 g por planta, y el tratamiento con menor peso seco fue el bagazo de caña de azúcar molido con 5.0 tubérculos-semilla por planta. Por su parte, en la variedad Atlantic el tratamiento de compost de agave tequilero obtuvo 27.4 g de peso seco de tubérculos-semilla por planta, seguido por la mezcla de turba con 25.2 g y la cascarilla de arroz con 20.7 g. El tratamiento con menor peso seco de tubérculo-semilla fue el de bagazo de caña de azúcar molido con 13.3 g (Figura 16).

El peso seco de tubérculos-semilla de la variedad Alpha en el experimento 1 volvió a correlacionarse negativamente con diversas propiedades físicas como son: Da ($r = -0.872$), EPT ($r = -0.987$), CRH ($r = -0.935$) y el diámetro de partículas del rango 0.297 al 2.38 mm con $r = -0.933$, todas con un $P < 0.01$. Pero en el peso seco de tubérculo-semilla en la variedad Atlantic las propiedades de las mezclas de sustratos no tuvieron ninguna correlación (Cuadro 13).

Cuadro 15. Determinaciones agronómicas en la producción de tubérculo-semilla de papa en diversas mezclas de sustratos orgánicos, en las variedades Alpha y Atlantic (experimento 1).

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Determinaciones agronómicas*					
	Número total de tubérculo-semilla †		Peso seco de tubérculo-semilla ‡ (g)		Número de tubérculo-semilla enfermos §	
	Alpha	Atlantic	Alpha	Atlantic	Alpha	Atlantic
Turba	7.31 ab	3.81 b	7.11 a	13.34 bc	0.06 a	0.06 b
Fibra de pulpa de café	8.25 ab	5.25 ab	8.03 a	16.92 bc	0 a	0.06 b
Cascarilla de arroz	7.62 ab	3.75 b	10.09 a	8.34 c	0 a	0.18 ab
Compost de agave tequilero	4.56 b	5.37 ab	8.03 a	24.99 ab	0 a	0 b
Tamizado de fibra de pulpa de café	13.18 a	7.56 a	5.12 a	33.91 a	0 a	0.81 a
Bagazo de caña de azúcar	5.18 b	2.87 b	3.79 a	15.56 bc	0 a	0.43 ab
DMS	7.33	2.64	6.40	15.36	0.11	0.67

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). † = número total y peso seco de tubérculo-semilla de papa promedio de cuatro plantas de las variedades Alpha y Atlantic producidos en diversas mezclas de sustratos. ‡ = peso seco total de tubérculo-semilla de papa del promedio de cuatro plantas de la variedad Alpha y Atlantic. § = Número de tubérculo-semilla de papa enfermos con roña común (*Streptomyces scabies*) por planta de las variedades Alpha y Atlantic producidos en diversas mezclas de sustratos. DMS = diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

Cuadro 16. Determinaciones agronómicas en la producción de tubérculo-semilla de papa en diversas mezclas de sustratos orgánicos, en las variedades Alpha y Atlantic (experimento 2).

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Determinaciones agronómicas*			
	Número total de tubérculo-semilla †		Peso seco de tubérculo-semilla ‡ (g)	
	Alpha	Atlantic	Alpha	Atlantic
Turba	5.7 b	4.4 ab	16.5 a	25.1 ab
Aserrín de pino	5.7 b	3.7 b	11.4 b	19.3 bc
Cascarilla de arroz	6.3 b	4.4 ab	13.1 ab	20.6 ab
Compost de fibra de agave tequilero	6.1 b	4.6 ab	16.4 a	27.4 a
Tamizado de vermicompost de pulpa de café	9.5 a	5.8 a	15.1 ab	20.5 b
Bagazo de caña de azúcar molido	3.2 c	3.1 b	4.9 c	13.2 c
DMS	1.87	1.59	4.42	6.80

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). † = número total y peso seco de tubérculo-semilla de papa promedio de cuatro plantas de las variedades Alpha y Atlantic producidos en diversas mezclas de sustratos. ‡ = peso seco total de tubérculo-semilla de papa del promedio de cuatro plantas de la variedad Alpha y Atlantic. Las variedades Alpha y Atlantic producidos en diversas mezclas de sustratos. DMS = diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

5.1.3.3. Número de tubérculos-semilla de papa en diferentes rangos de diámetro

Los dos rangos más importantes en tamaño de tubérculos-semilla de papa son el de 12 a 19 mm, los cuales se reutilizan para resembrarlos en invernadero y el de 20 a >40 mm, estos tubérculo-semillas se comercializan para su siembra en campo.

El rango de 12 a 19 mm en el experimento 1, no mostro diferencias entre tratamientos y entre variedades, aunque Alpha tuvo una ligera tendencia a producir un mayor número de tubérculo-semilla de papa que la variedad Atlantic (Figura 14).

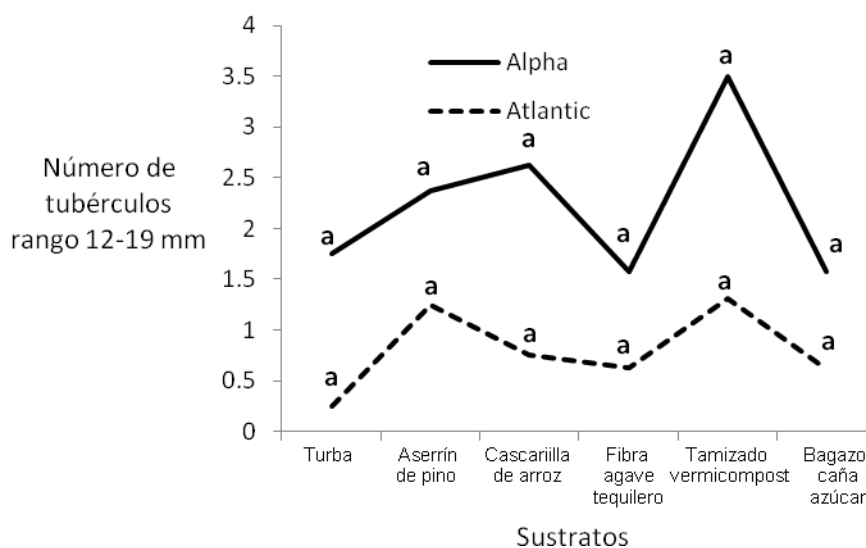


Figura 14. Número de tubérculos del rango de 12 a 19 mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculo-semilla de papa en el experimento 1. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.

En el experimento 2, también en el rango de 12 a 19 mm la variedad Alpha presentó un ligero incremento en el número mayor de tubérculos-semilla producidos, y una diferencia con el resto de los tratamientos en ambas variedades

en el tamizado de vermicompost de pulpa de café con 5.0 tubérculos-semilla en Alpha y 1.4 tubérculos-semilla en Atlantic (Figura 15).

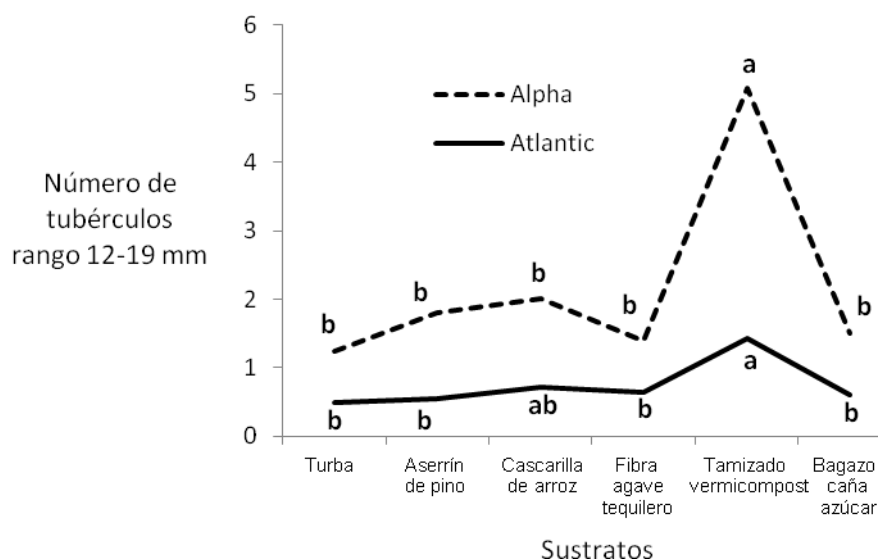


Figura 15. Número de tubérculos del rango de 12 a 19 mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculo-semilla de papa en el experimento 2. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.

En el experimento 1 en el rango de 20 a >40 mm, la variedad Alpha no presentó diferencias entre tratamientos con respecto al número de tubérculos semilla de papa, y en la variedad Atlantic la diferencia entre tratamientos fue entre el tamizado de vermicompost de pulpa de café con 5.9 tubérculos-semilla de papa y la cascarilla de arroz con 2.1, todos los demás tratamientos no presentaron diferencias significativas (Figura 16).

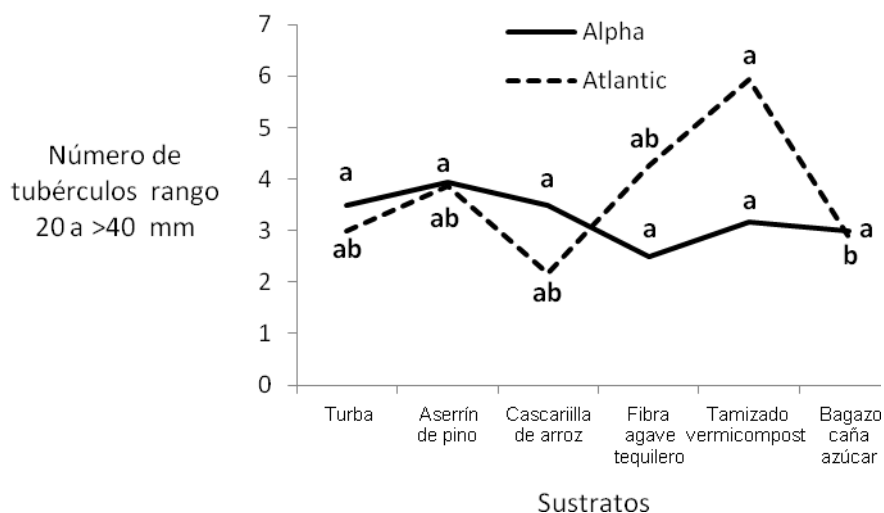


Figura 16. Número de tubérculos del rango de 20 a >40mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculo-semilla de papa en el experimento 1. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.

En el rango de 20 a >40 mm del experimento 2, en la variedad Alpha el único tratamiento que presentó diferencias significativas fue el bagazo de caña de azúcar con 1.6 tubérculo-semilla de papa, ya que el resto de tratamientos fueron iguales; pero en la variedad Atlantic la diferencia fue entre el tratamiento tamizado de vermicompost de pulpa de café con 4.2. tubérculo-semilla con el tratamiento bagazo de caña de azúcar con 2.7 tubérculo-semilla, el resto de los tratamientos no tuvieron diferencias (Figura 17).

Lo anterior confirma que la variedad Alpha produjo un mayor número de tubérculo-semilla de papa que la variedad Atlantic.

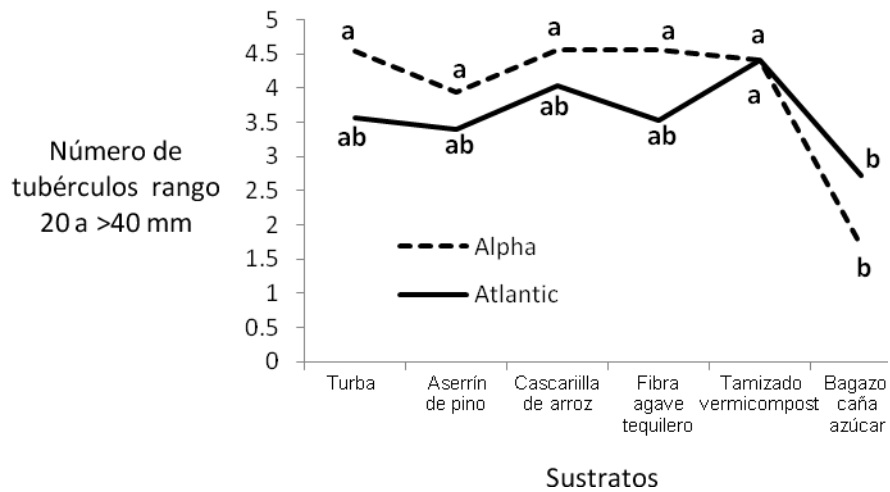


Figura 17. Número de tubérculos del rango de 20 a >40 mm de las variedades Alpha y Atlantic de tubérculo-semilla de papa en el experimento 2. Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades de papa.

5.1.3.4. Presencia de roña común *Streptomyces scabies*

El tratamiento que presentó tubérculos-semilla de papa de la variedad Alpha con la enfermedad de la roña común de la papa (*Streptomyces scabies*) en el experimento 1 fue la mezcla de turba con 0.06 tubérculos-semilla por planta sin diferencias entre todos los tratamientos. En la variedad Atlantic la mezcla de tamizado de fibra de pulpa de café presentó 0.81 tubérculos-semilla enfermos de roña común por planta seguido por bagazo de caña de azúcar molido con 0.43 y cascarilla de arroz con 0.18 tubérculos-semilla por planta, el único que no presentó ningún tubérculo-semilla enfermo fue la mezcla de compost de agave tequilero (Cuadro 15).

Sin embargo, en la sanidad de semilla de papa de la variedad Alpha durante el experimento 1 se tuvo una alta correlación negativa con la Da ($r = -0.807$), EPT ($r = -0.858$), CRH ($r = -0.788$) y en el diámetro de partícula en el rango de 0.297 a 2.38

mm ($r = -0.819$) con una $P < 0.01$ (Cuadro 13). Así a mayor sanidad de la semilla de papa menor fue la Da, EPT y CRH.

En el experimento 2 los tratamientos que presentaron mayor incidencia de roña común (*Streptomyces scabies*) en la variedad Alpha fue la mezcla de tamizado de vermicompost de pulpa de café con 0.12 tubérculos por planta, mientras que la mezcla con menor número de tubérculos-semilla infectadas fue el aserrín de pino con 0.02 tubérculos-semilla por planta (Cuadro 17). En la variedad Atlantic no hubo diferencias entre tratamientos, así el compost de agave tequilero presentó 0.37 tubérculos-semilla por planta infectados por *S. scabies* y la menor incidencia se presentó en la mezcla de tamizado de vermicompost de pulpa de café con 0.12 tubérculos-semilla por planta.

El estado fitosanitario es probablemente el factor más importante para determinar la calidad de los tubérculo-semillas de papa (García, 1999), por lo que en este trabajo se determinó tal variable. En la variedad Alpha solo el tratamiento con turba presento 0.06 tubérculos por planta enfermos con roña común (*Streptomyces scabies*) y en la variedad Atlantic los tratamientos más susceptibles fueron tamizado de fibra de pulpa de café, bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz con 0.81, 0.43 y 0.18 tubérculos-semilla por planta, respectivamente (Cuadro 12). Es importante mencionar que la mezcla de sustratos en el presente trabajo no fue desinfectada, como lo hacen los productores aún en materiales nuevos que son los sustratos que son comprados a las empresas productoras. Posiblemente la semilla utilizada tuvo un efecto como vector de la enfermedad, ya que al momento de la selección se acepta con porcentaje menor al 2 % de incidencia, lo cual se ve reflejado en una presencia menor a un tubérculo por planta de la roña común.

La incidencia de la enfermedad roña común *Streptomyces scabies* en el experimento 2 fue muy baja, menor a 1 tubérculo-semilla por planta, incluso en el tratamiento de aserrín de pino que fue desinfectado con vapor, el cual tuvo un

comportamiento similar a los tratamientos que no fueron desinfectados, todos los tratamientos no presentaron diferencias. Entre variedades, la Atlantic presentó una ligera tendencia a una mayor susceptibilidad en los tratamientos compost de agave tequilero y turba (Cuadro 17).

La sanidad de los tubérculos-semilla de papa, medida por la incidencia de la enfermedad roña común (*Streptomyces scabies*) en la variedad Alpha en el experimento 1, se correlacionó negativamente con la Da ($r = -0.807$), EPT ($r = 0.858$), CRH ($r = -0.788$) y diámetro de partícula del rango 0.297 al 2.38 mm con ($r = -0.819$), todas con una $P < 0.01$. En la sanidad de los tubérculos-semilla de la variedad Atlantic con respecto a la roña común, no hubo una correlación significativa con ninguna propiedad física (Cuadro 13).

Cuadro 17. Número de tubérculo-semilla que presentaron roña común (*Streptomyces scabies*) en diversas mezclas de sustratos orgánicos, en las variedades Alpha y Atlantic en el experimento 2.

Tratamiento usando 40% (v/v) del total de la mezcla**	Número de tubérculos enfermos	
	Alpha	Atlantic
Turba	0.020 a ξ	0.250 a
Aserrín de pino (desinfectado con vapor)	0.020 a	0.146 a
Cascarilla de arroz	0.062 a	0.271 a
Compost de agave tequilero	0.125 a	0.375 a
Tamizado vermicompost pulpa de café	0.125 a	0.125 a
Bagazo de caña de azúcar	0.104 a	0.187 a
DMS	0.224	0.326

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ξ =número de tubérculo-semilla de papa enfermos con roña común (*Streptomyces scabies*) por planta en las variedades Alpha y Atlantic producidos en diversas mezclas de sustratos. DMS=diferencia mínima significativa.

**Los componentes restantes de la mezcla de los sustratos que fueron analizados fue 40% de fibra de coco y 20% de perlita.

5.2. Análisis financiero

El análisis financiero muestra que puede sustituirse la turba (que es un material de importación, utilizado al 40% v/v en las mezclas de sustratos por los productores de semilla de papa a nivel invernadero) por un material de producción nacional (como es el tamizado de vermicompost de pulpa de café), que dio buenos resultados en la evaluación agronómica. Así el Valor Presente Neto (VPN) es de \$7, 071, 575.05 a diferencia con turba que presenta \$3, 376,225.02 (Cuadros 18 y 19) dando una diferencia de \$3, 695 350.03, situación que en esta evaluación financiera indica que es más rentable agronómica y económicamente la utilización de un sustrato nacional (en los anexos 2 y 3 se presentan a detalle los costos y precios involucrados, así como los ingresos).

Cuadro 18. Variables económicas y los valores obtenidos en la producción de tubérculo-semilla de papa en invernadero con sustitución de turba (40% v/v) por tamizado de vermicompost de pulpa de pulpa de café (40 % v/v) dentro de la mezcla de sustratos.

Variable económica	Valor
VPN	\$7,071,575.05
TIR	82%
PR	1 años
VAN	0.80
TREMA	30.00%

VPN=valor presente neto, TIR=tasa interna de retorno, PR=periodo de retorno, VAN=valor actual neto y TREMA= tasa de rendimiento mínima aceptable.

Cuadro 19. Variables económicas y los valores obtenidos en la producción de tubérculo-semilla de papa en invernadero a partir de la utilización de turba (40% v/v) dentro de la mezcla de sustratos.

Variable económica	Valor
VPN	\$3,376,225,02
TIR	55 %
PR	2 años
VAN	0.38
TREMA	30.00 %

VPN=valor presente neto, TIR=tasa interna de retorno, PR=periodo de retorno,
VAN=valor actual neto y TREMA= tasa de rendimiento mínima aceptable.

En lo que respecta a la tasa interna de retorno (TIR) ambas mezclas de sustratos ofrecen una mayor rentabilidad que la tasa interbancaria, por lo que con tamizado de vermicompost da un 82% y con turba 55% (Cuadros 18 y 19). La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima interbancaria o tasa de corte, el costo de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto - expresada por la TIR- supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

El tiempo de recuperación de la inversión es muy importante en todo proyecto, por lo que el material nacional ofrece un tiempo de un año para recuperar lo invertido mientras que con el material de importación se logra en dos años, así cualquier inversionista o institución bancaria al que sea sometido el proyecto decidirá por el del sustrato nacional.

Otro indicador es el valor actual neto (VAN) que consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado ya que la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida, así el valor producido con turba fue de 0.38 y con tamizado de vermicompost de pulpa de café fue de 0.80 (Cuadros 18 y 19).

Finalmente la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA) en ambas mezclas fue de 30% de rendimiento, superior a la que ofrecen los certificados de la Tesorería, comparación que permite decidir si el inversionista decide invertir su capital en un proyecto que implique un grado de riesgo pero que ofrezca un margen mayor de utilidad que simplemente tenerlo invertido en un banco.

Los cálculos del presente análisis financiero de las dos mezclas evaluadas se encuentran en el apartado de anexos 2.

6. CONCLUSIONES

- Las mezclas de sustratos que tenían como base la fibra molida de pulpa de café y bagazo molido de caña de azúcar, presentaron problemas al momento del riego dificultando la penetración del agua en el riego inicial a pesar de que fue mezclado con fibra de coco (40 % V/V) y perlita (20 % V/V).
- En el experimento 1, las mezclas de sustratos con mayor número de minitubérculos por planta en la variedad Alpha fue el tamizado de fibra de pulpa de café con 13.1, fibra de pulpa de café (8.2), cascarilla de arroz (7.6) y la turba (7.3) sin diferencias significativas. Y para la variedad Atlantic el tamizado de fibra de pulpa de café (7.56), supero significativamente al testigo (turba) que obtuvo 3.81 ($P < 0.05$).
- En el experimento 2, en la variedad Alpha con respecto al número total de tubérculos semilla de papa por planta, el tratamiento de tamizado de vermicompost de pulpa de café obtuvo 9.5 y el testigo fue superado estadísticamente ya que produjo 5.7.
- En el experimento 2, los rangos óptimos recomendados para las propiedades químicas pH (5.2 a 6.3) y Conductividad Eléctrica (0.75 a 1.99 dS m⁻¹) no se cumplen para los tratamientos con mayor producción de minitubérculos como tamizado de lombricompost de pulpa de café, fibra de pulpa de café, cascarilla de arroz y fibra de agave de tequila.

- El número de tubérculo-semilla de papa de las variedades Alpha y Atlantic en el experimento 1, presentó una correlación alta con varios parámetros físicos de la mezcla de sustratos, como la Da, EPT, CRH y diámetro de partícula del rango 0.297 al 2.38 mm todas con una $P < 0.01$.
- Se detectó a través de un análisis microbiológico la presencia de la enfermedad roña común *Streptomyces scabies* en el sustrato aserrín de pino, por lo que se requiere de un proceso de esterilización previo a su uso dentro del invernadero.
- El sustrato aserrín de pino que fue desinfectado con vapor, tuvo una baja presencia de la enfermedad roña común, en ambas variedades Alpha y Atlantic, pero el resto de los sustratos no fueron desinfectados por ningún método y presentó de igual forma una baja incidencia, menor de un tubérculo-semilla de papa por planta por tratamiento, indicando con esto a los productores que no es necesario desinfectar cuando los materiales son nuevos, solamente cuando estos son reutilizados. Logrando un ahorro de energía eléctrica y gas al evitar desinfectar los materiales mencionados.
- El análisis económico permitió determinar que el uso de la mezcla de tamizado de vermicompost de pulpa de café permite un mayor margen en lo referente al VPN con \$7, 071,575.05 superando al de Turba \$3, 376,222.02.

- La recuperación de la inversión en turba es de dos años mientras que para el tamizado de vermicompost de pulpa de café es de solamente un año.

7. RECOMENDACIONES

- Es importante que todos los residuos vegetales que se generan al final del ciclo, durante la producción de semilla de papa en invernadero, se reutilicen a través del compostaje de los mismos, ya que estos son eliminados y considerados como un residuo sin utilidad.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, B. M., P. M. Noguera y C. B. Carrión.** 2004. Capítulo 4 Los sustratos en los capítulos sin suelo. *In: Tratado de cultivo sin suelo.* 3.a edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 113-158 p.p.
- Abad. B. M., Noguera, M. P.** 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Capítulo 8. En CADAHIA C. (Ed). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Abad, M., Fornes, F., Carrión, C. and Noguerra, V.** 2005. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *Hort. Science*, 40, 2138–2144.
- Abad, B. M., Noguera, M. P., Carrión, B. C.** 2005. Capítulo 8. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: *Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.* 3ª. Edición revisada, actualizada y ampliada. Cadahía, C. (Ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Impreso en España. 299-354 p.p.
- Alexander, M.** 1994. *Introducción a la microbiología de suelos.* 2ª reimpresión en español. Editorial AGT Editor. México. 491 p.
- Ansorena, M.** 1994. *Sustratos propiedades y caracterización.* Ediciones MundiPrensa. Madrid España. 172 p.
- Blok, C., De Kreij C., Baas R. and G. Wever.** 2008. Chapter 7. Analytical Methods Used in Soilless Cultivation. *In: Michael Raviv J R and L. Heinrich.* (eds). *Soilless Culture:Theory and Practice.* Elsevier 84 Theobald's Road, London WC1X 8RR, UK.
- Bunt, A. C.** 1986. Problems in the analysis of organic and light-weight potting substrates. *Hortic. Sci.* 21:229-231.
- Bunt, A.C.** 1988. *Media and mixes for container-grown plants.* Unwin Hyman LTd., Great Britain.
- Burés, S.** 1997. *Sustratos.* Ediciones Aerotécnicas. Madrid, España. 340 p.

- Burés, S.** 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. En tecnología de Sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Universidad de Lleida. Pastor, S. J. N. (Coordinador). España. 19-36 p.p.
- Burés, S.** 1998. Preparación y Selección de Sustratos. En tecnología de Sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Universidad de Lleida. Pastor, S. J. N. (Coordinador). España. 37-46 p.p.
- Cabrera, R. I.** 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Chapingo. Serie Horticultura 5 (1): 5-11.
- Callejas-Ruíz, B.A., A. M. Castillo-González, M. T. Colinas-León, M. del C. González-Chavez, J. Pineda-Pineda, L. A. Valdez-Aguilar.** 2009. Sustratos y Hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. Chapingo Serie Horticultura. 15 (1): 57-66.
- Campbell, C.A.** 1978. Soil organic carbón, nitrogen and fertility. In Schnitzer, M., and Khan, S. U. (Eds.). Soil organic matter. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Oxford, New York. 173-271 p.p.
- Caraveo, L. F.J., Baca, C. G. A., Tirado, T. J. L. Sanchez, del C. F.** 1996. El cultivo hidropónico de jitomate empleando polvo de bonote de coco como sustrato, y su respuesta al amonio y potasio. Agrociencia. 30: 495-500.
- Carrera, A., y Ortega-Cartaya, E.** 2004. La pulpa de café como sustrato en la producción de tubérculos-semilla de papa. Agronomía de la Producción. INIA Divulga 3. 19-21.
- Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas (CINPC).** 1969. Formulated and adopted by the International Commission for the Nomenclature of Cultivated Plants of the International Union of Biological Sciences. Gilmour, J.S.L., Horne, F.R., Little Jr., E.L., Stafleu, F.A. and Richens, R.H. (Eds.). Edinburgh.

- Colín, M.** 1998. México necesita acceder a tecnología agrícola que permita capitalización de ingresos a los productores. *El Financiero*. 20 de mayo. 21A-22A.
- Chavira, R. J.G. y Castellanos, R.J.Z.** 1987. Sales solubles. En *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación especial No. 1. Santelisis, A. A., Etchevers, B. J. D., y Castellanos, R. J.Z. (Eds.). Canpingo, México. 109-124 p.p.
- De Boodt, M., Verdonck, O., and Cappaert, I.** 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- Diario Oficial de la Federación (México).** 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002. Requisitos y especificaciones fitosanitarias para la producción de material propagativo asexual de papa. 4 de marzo.
- EcoDir.** 2007. Directorio Ambiental 2006-2007. ecoDir Edición. Coss y León, W. (Edt.). Teorema Ambiental. México. 180 p.
- Egúsqiza, B.R.** 2000. La papa, producción, transformación y comercialización. Universidad Nacional Agraria La Molina, Convenio MPS ADEX-USAID, ADXX Asociación de Exportadores. PRISMA-PROYECTO PRODECCE y PROYECTO PAPA ANDINA (CIP-COSUDE). Perú. 192 p.
- Esquivel, T. S.** 2001. Características y usos de los principales sustratos utilizados en los cultivos sin suelo. Tesis de licenciatura. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 125 p.
- Flores-Almaráz, R., Livera-Muñoz, M., Colinas-León, M.T., Gaytan-Acuña, E.A., Muratalla-Lua, A.** 2008. Producción de plántulas de ciclamen (*Cyclamen persicum* Mill) en sustratos basados en polvo de bonote de coco. *Chapingo Serie Horticultura*. 14 (3): 309-318.

- Flores-López, R., Zavala, Q. T. E., Magallanes, G. J. V., Fernández, E. C., Flores, G. F. X., y Rocha, R. R.** 1997. Métodos de Producción de Semilla de Papa en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tema didáctico No. 4. Toluca, México. 33 p.
- García, G. A.** 1999. Fascículo 5.4. Tamaño de Muestra para el Control de Calidad de Tubérculo-Semilla de papa. En Producción de Tubérculos-Semilla de Papa. Manual de Capacitación CIP. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 1-10 p.p.
- García, O.** 1999. Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- García, C. O., G. Alcantar, R. I. Cabrera, F. Gavi, y V. Volke.** 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra 19 (3) 249-258.
- Gittinger, J.P.** 1989. Análisis económico de proyectos agrícolas. Segunda Edición. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial. Editorial Tecnos. Madrid, España. 532 p.
- Hanan, J.J. Holley, W.D., and Goldsberry, K. L.** 1978. Greenhouse Management. New York. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. NY. USA.
- Handreck K., Black, N.** 2005. Growing media for ornamentals plants and turf. 4th Edition. UNSW PRESS. Australia.
- Hidalgo, O. A., Marca, J. L., y Palomino, L.** 1999. Fascículo 4.3. Producción de Semilla Prebásica y Básica usando métodos de multiplicación acelerada. En Producción de Tubérculos-Semilla de Papa. Manual de Capacitación CIP. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 1-20 p.p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2001. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2002. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2003. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2004. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2005. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2006. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2007. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2007. El Sector alimentario en México. Aguascalientes, Ags. 295 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2008. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2009. El sector alimentario en México. Serie de estadísticas sectoriales. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2009. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2010. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2010. Censo Nacional de Población y vivienda. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2011. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2012. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** 2012. El sector alimentario en México. Serie de estadísticas sectoriales. Aguascalientes, Ags. México.
- Jones, B. J.** 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. Boca Ratón, Florida. USA. 363 p.
- Keinath, A. P. and R. Loria.** 1989. Population dynamics of *Streptomyces* scabies and other actinomycetes as related to common scab of potato. *Phytopathology*. 79: 681-687.
- Lemaire, F., Dartigues, A., y Rivière, L. M.** 1980. Properties of substrates with ground pine bark. Symposium "Substrates in Horticulture other than soils in situ". *Acta Hortic.* 99: 67-80.
- Lemaire, F., Dartigues, A., Rivière, L. M., Charpentier, S., y Morel, P.** 2005. Cultivo en macetas y contenedores . Principios agronómicos y aplicaciones. Ediciones Mundi Prensa. España. 210 p.
- Loría, R., Clack, R.A., Bukhalid, R. A., Fry, B.A.** 2001. III. Gram-Positive Bacteria. B. *Streptomyces*. In Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. Thierd Edition. Schaad, N.W., Jones, B.J., and Chun, W. (Eds.). St. Paul Minnesota. USA. p.p. 236-249.

- Lucas, R., E., E. Rieke, P. and C. Doll, E.** 1972. Soil saturated extract method for determining plant nutrient levels in peats and other soil mixes. 4th Int. Peat Congress. 3:221-230.
- Magdaleno-Villar, J.J., Peña-Lomeli, A., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A.M., Galvis-Spinola, A. Ramírez-Pérez, F., Becerra-López, P.A.** 2006. Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). Chapingo Serie Horticultura. 12 (2): 153-158.
- Martín, L.** 1999. Técnicas de saneamiento en el cultivo en sustratos. En Tecnología de Sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Pastor, S.J.N. (Ed.). Universitat de Lleida. 127-146 p.p.
- Martínez, M. F.** 1994. Manual Básico de Sustratos. Oasis Consultoría. Jiutepec, Mor. 30 p.
- Nelson, P. V.** 1991. Greenhouse operation and management. 4th Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Noguera, P., y Abad, C.** 1997. Physical and chemical properties of corri waste and their relation to plant growth. Acta Horticulturae. ISHS.
- Noguera, P., M. Abad, V. Noguera, R. Puchades y A. Maquieira.** 2000. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. Acta Horticulturae. 517: 279-288.
- NOM-012-FITO-1995.** Norma Oficial Mexicana. Para la que se establece la cuarentena exterior para prevenir la introducción de plagas de papa. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- NOM-025-FITO-2000.** Norma Oficial Mexicana. Para el establecimiento de zonas bajo protección y zonas libres de plagas cuarentenarias de la papa. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- NOM-069-FITO-1995.** Norma Oficial Mexicana. Para el establecimiento y reconocimiento de zonas libres de plagas de la papa. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

- Pastor, S.N.** 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17:3. 231-235.
- Pineda-Pineda, J., A.M. Castillo-González, J. A. Morales-Cárdenas, M.T. Colinas-León, L.A. Valdez-Aguilar, E. Evitia-García.** 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Chapingo serie Horticultura*. 14 (2): 131-137.
- Pineda-Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez, Arias, F., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A. Moreno-Pérez, E. del C.** 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (1): 95-111.
- Raviv, M., y Lieth, H. J.** 2008. *Soilless Culture Theory and Practice*. First Edition. Elsevier. USA. 587 p.
- Rodríguez, N.F.** 1996. Formación de sustancias húmicas mineralización del nitrógeno. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 34 p.
- Rodríguez, N. F., Ramírez, S. L.F., y Sustaita, R. F.** 1994. *Materia orgánica. Efecto en el suelo e influencia directa en la planta*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 52 p.
- Rodríguez, M. R.** 2004. Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir del bagazo de agave tequilero. Tesis de doctorado. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 134 p.
- Rodríguez-Macías, R., Quintero-Lizaola, R., Alcantar-González, G., Ordaz-Chaparro, V., y Volke-Haller, V.** 2005. Dinámica y cuantificación de grupos microbianos en compost y vermicompost de bagazo de agave tequilero. *Terra Latinoamericano*. 23: 97-104.
- Rodríguez, S. F.** 1992. *Fertilizantes. Nutrición vegetal*. AGT Editor, S. A. México. 157 p.

- Rubio, C. O. A., y Flores, G. F. X.** 1997. Programa Nacional de Investigación en el cultivo de la papa. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Primera Edición. México. 61 p.
- Rubio, C. O.A., Rangel, G. J.A., Flores, L. R., Magallanes, G. J.V., Díaz, H. C., Zavala, Q. T.E., Rivera, P. A., Cadena, H. M., Rocha, R. R., Ortiz, T. C., López, D. H., Díaz, V. M., y Paredes, T. A.** 2000. Manual para la producción de papa en las Sierras y Valles Altos del Centro de México. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Libro Técnico No. 1. División Agrícola. México. 80 p.
- Sánchez, V.J.L. y Vázquez, H. M.L.** 2000. Impacto de la Radiación Gamma en las propiedades químicas y las poblaciones de microorganismos en cuatro sustratos orgánicos en el cultivo de papa. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Química. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue.124 p.
- Santos, R. J.** 1989. Producción de Tubérculos-Semilla de categoría prebásica de papa y control sanitario. En Avances en la producción de Tubérculo-Semilla de papa en los países del Cono Sur. Hidalgo, O.A., y Rincón, R. H. (Editores). Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 101-110 p.p.
- Sarquís-Ramírez, J.I., y Coria-Gil, N.A.** 2005. Comparación de progenies de papa para producción de tubérculo semilla y rendimiento comercial. Fitotecnia Mexicana. 28:002. 93-98
- SAS Institute.** 2002. Statistical Analysis Systems. User's guide Statistics. Version 9. SAS Institute. Cary, NC. USA.
- Tepale, Z. G.** 2004. Producción de minitubérculos de papa biofertilizados con *Azospirillum brasilense*, en invernadero, empleando sustratos orgánicos nuevos y reutilizados: sometidos a desinfección. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue. 114 p.

- Urrestarazu, M.** 2004. Tratado de Cultivo Sin Suelo. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Urrestarazu, G. M. y Salas, F.** 2004. Manual de Cultivo Sin Suelo. Mundi-Prensa. Almería, España.
- Vargas, T. P., J. Z. Castellanos, P. Sánchez, L. Tijerina, M. López y J. L. Ojodeagua.** 2008. Caracterización física, química y biología de sustratos de polvo de coco. *Fitotecnia Mexicana*. 31: (4). 375-381.
- Volke, H. V.H., Cruz, C. E., Sandoval, V.M.** 2010. Mezcla de materiales para la obtención de sustratos mediante programación. En: 1er. Curso Nacional de Sustratos. Colegio de Postgraduados. 1-5 septiembre.
- Wallach, R.** 2008. Chapter 3. Physical Characteristics of Soilles Media. In Raviv, J., and L. Heinrich (Eds). *Soilles Culture: Theory and Practice*. Elsevier, London, U.K. 587 p.
- Warncke, D.D.** 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 21:223–225.
- Warncke, D. D.** 1990. Chapter 13 Testing artificial growth media and interpreting the results. In: R. L. Westerman (ed.). *Soil testing and plant analysis*. Third edition. Number 3 in the Soil Science Society of America Book Serie. Madison, WI. USA. p.p. 337-357.

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1

9.1.1. Determinaciones físicas

9.1.2. La determinación de las características físicas usando porómetros

9.1.2.1. Principio

La metodología más sencilla que se ha desarrollado para caracterizar físicamente a los sustratos, incluye la medición de la retención de humedad y la capacidad de aireación de los sustratos, pero no determina que cantidad de esa agua estará disponible para las plantas. Con este método solo se conoce la capacidad de retención de agua y de aireación después que el sustrato ha sido saturado y dejado drenar libremente.

En todos los porómetros se aplica el mismo principio: los materiales húmedos se acomodan en el interior de un cilindro de volumen conocido usando presiones conocidas, posteriormente las muestras se secan completamente y se determina el peso alcanzado. De esta manera se puede calcular la capacidad de retención de agua y de aireación después de dejar drenar por determinado tiempo cualquier medio poroso colocado en su interior (Handreck y Black, 2005; Wallach, 2008). Adicionalmente, con los porómetros se puede estimar la porosidad total, la densidad aparente y real del sustrato.

9.1.2.2. Materiales

- Contenedores de plástico y cilindros de PVC de volumen conocido (Figura 18).
- Probetas de 250 y 1000 mL.
- Contenedores (cubetas) de 4-9 L.
- Charolas extendidas de 10 cm de altura.
- Malla o tela nylon.
- Ligas de plástico.

9.1.2.3. Equipo

- Balanza semianalítica (0.1) con precisión en g
- Horno para secado a 105 °C
- Termómetro de mercurio

9.1.3. Procedimiento para cualquier sustrato (especialmente aquellos que se expanden durante la saturación).

Este método se ha estandarizado para sustratos orgánicos y sus mezclas usadas en contenedores.

9.1.3.1. Metodología

- a) Pesar (P_c) y medir el volumen (V) del cilindro de prueba (± 680 mL).
- b) Humedecer el sustrato que será evaluado hasta lograr un contenido de humedad similar a la condición que se debe para producción en maceta (50 – 60 % de humedad). Si las muestras de sustrato están

secas, estas deberán ser humedecidas al menos 24 h antes de ser evaluadas.

- c) Llenar completamente el cilindro con sustrato húmedo (ligeramente por arriba del nivel del cilindro).
- d) Asegurarse que el sustrato queda completamente acomodado dentro del cilindro de prueba. Para ello, sostener el cilindro a una altura de 5 cm y dejarlo caer (caída libre) 5 veces. Al final el cilindro deberá quedar completamente lleno.
- e) Colocar el cilindro dentro de un contenedor (± 9 L) con mayor altura que el cilindro y lentamente adicionar agua dentro del contenedor (no sobre la muestra del sustrato) hasta que el nivel del agua esté justo a la altura de la superficie del sustrato.
- f) Permitir que el agua penetre (por capilaridad) al sustrato durante 30 minutos.
- g) Remover lentamente el cilindro (en posición vertical) del agua en el contenedor y permitir que drene por unos cuantos minutos.
- h) Repetir el remojo y drenaje dos veces más, dejando 10 minutos cada periodo de remojo.
- i) Al finalizar el tercer ciclo de remojo-drenaje, remover el exceso de sustrato en la parte superior del cilindro, cortando el exceso de sustrato con un cuchillo, sin ejercer presión sobre el sustrato.
- j) Cubrir la parte superior del cilindro con una malla fina (podría usarse una pieza de pantimedia) ó tela, que no adsorban agua, con 30 a 50 % de sombra y asegurar con una liga sobre el cilindro. La abertura de malla debe permitir el flujo libre de aire durante la saturación.
- k) Colocar el cilindro sobre la base de una charola de 10 cm de altura. Agregar el agua necesaria para cubrir la base con una altura de 2 a 4 cm de agua.

- l) Después de 10 minutos tomar el cilindro con las dos manos dentro del agua y cubrir los 4 hoyos en el fondo de la base con 4 dedos, dos de cada mano.
- m) Sacar el sustrato saturado con agua. Permitir que el agua salga de las manos y de la base del cilindro (exceso de agua adherida).
- n) Mover el cilindro a otro contenedor de 4 litros. Ponerlo encima de un objeto de 1.5 cm de altura y dejar drenar por 30 minutos (libre drenaje).
- o) Quitar el cilindro del contenedor y medir el agua drenada (V_{ad}).
- p) Quitar la malla fina y pesar el cilindro con el sustrato mojado inmediatamente después de terminar el drenaje (P_{csd}). Considerando que la densidad del agua es $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, se puede estimar el peso del contenedor con sustrato saturado (P_{css}). $P_{css} = P_{csd} + V_{ad}$.
- q) Secar ($105 \text{ }^\circ\text{C}$) el cilindro con el sustrato hasta peso constante y pesar (P_{cssd}). El peso de sustrato seco (P_1) se obtiene con la expresión: $P_1 = P_{cssd} - P_c$.



Figura 18. Muestra los porómetros realizados con PVC, para la medición de la retención de humedad, la capacidad de aireación, la porosidad total, la densidad aparente de los sustratos.

9.1.4. Granulometría

9.1.4.1. Principio

Se refiere al conjunto de fracciones de partículas (porcentaje, peso/peso) de un sustrato con diámetro mayor que el límite inferior dado y diámetro menor que el límite superior dado. Las diferentes fracciones de partículas se obtienen usando una serie de tamices con diámetro de malla de 16.00, 8.00, 4.00, 2.00, 1.00, 0.500, 0.125 y 0.063 mm (Blok *et al.*, 2008).

Abad *et al.* (2005) establecieron que las mejores características de un material se obtienen cuando éste tiene una textura media a gruesa, con una distribución de tamaño de poros entre 30 y 300 μm (equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 mm y 2.5 mm), que retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta un adecuado

contenido de aire. La importancia de conocer el tamaño de las partículas reside en que éstas definen a su vez el tamaño de los poros situados entre ellas (Burés, 1997).

Muchos sustratos están constituidos por una mezcla de partículas con tamaños diferentes. Las características físicas de estos sustratos variarán en función de la distribución del tamaño de sus partículas, por lo que es fundamental la caracterización granulométrica de los materiales. El tamaño de las partículas afecta el crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros (Abad y Noguera, 2005).

La distribución de tamaños de partículas que componen un material se expresa mediante la granulometría, que puede caracterizarse fácilmente mediante tamizado, siendo el tamaño absoluto de las partículas un concepto de difícil cuantificación con métodos convencionales.

9.1.4.2. Materiales

- Porómetros
- Tamices con diámetro de malla de 16.00, 8.00, 4.00, 2.00, 1.00, 0.500, 0.125 y 0.063 mm.
- Brochas.

9.1.4.3. Equipo

- Agitador para tamices
- Balanza digital ± 0.01 g.

9.1.4.4. Procedimiento

Normalmente se determina por tamizado de muestras secas al aire o en estufa, utilizando una batería de tamices ordenados sucesivamente en función del tamaño de la abertura de malla. Se colocan 100 g de sustrato en el tamiz superior (el de mayor abertura de malla) del juego de tamices y se someten a un movimiento de agitación intermitente durante 10 min. Pasado este tiempo se recogen las fracciones de partículas que quedan en cada tamiz y se determina el peso de cada fracción considerando una precisión de 0.01 g.

9.1.4.5. Cálculos

Considerando 100 g de muestra, los resultados se expresan como porcentaje en peso de cada fracción separada por los tamices.

Con los valores de cada fracción de partículas se obtiene el índice de grosor o distribución del tamaño de partículas del sustrato (Urrestarazu, 2004). El índice de grosor indica el porcentaje acumulado, en peso o volumen de partículas, con diámetro superior a 1 mm.

9.1.5. Curva de retención de humedad

9.1.5.1. Principio

La curva de retención de agua se obtiene midiendo en laboratorio la distribución de volúmenes de agua a diferentes tensiones, normalmente en el intervalo de 0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua (Abad *et al.*, 2005). Sin embargo, en algunos laboratorios se mide a tensiones de 2.5, 10, 20, 50, 100, y 500 cm de columna de agua (Blok *et al.*, 2008). Para ello las muestras de sustrato se saturan, se someten a valores de tensión de humedad previamente fijados (0, 10, 50, 100 cm de c. a.) y una vez alcanzado el equilibrio (1-2 días para varios puntos) se mide la distribución del volumen total entre material sólido, aire y agua.

9.1.5.2. Materiales

- Ligas de plástico
- Bolsas de plástico transparente
- Manguera transparente de 0.5 mm
- Contenedores de aluminio para humedad (grandes o pequeños).
- Espátulas metálicas
- Chucharas plásticas y metálicas.
- Pinzas de soporte
- Flexómetro
- Marcadores tinta indeleble.

9.1.5.3. Equipo

- Embudo de vidrio con placa de vidrio filtrante de entre 3 y 10 μm .
- Estufa de secado con extracción de aire forzado.
- Balanza digital con ± 0.001 g.

9.1.5.4. Procedimiento

Para realizar la curva de retención de agua, considérese un embudo de vidrio con placa de vidrio filtrante de entre 3 y 10 μm (Figura 19) y se llena el embudo donde están las muestras de sustrato compactando suavemente (la condición de compactación debe ser similar a la que tiene el sustrato cuando las plantas están creciendo en él). El agua que se añade a través de la punta de la manguera debe ser suficiente para conseguir el llenado completo de la manguera y de la base del filtro hasta la base del filtro de cristal. El sustrato muestra deberá ser llevado a la condición de sustrato saturado, es decir haberlo puesto dentro en una bandeja, que a su vez contendrá el recipiente (con 4 pequeñas cavidades) con el sustrato, para que este durante toda una noche se sature por capilaridad (Figura 20). La manguera flexible-móvil es medida (con una regla) y marcada a partir de la parte media del contenedor donde se vierte el sustrato saturado, se miden 10, 50 y 100 cm, se toma una muestra del sustrato (del material sobrante) a capacidad de saturación para determinarle su contenido de humedad, posteriormente se baja la punta de la manguera a la marca de 10 cm y se deja que el material se someta a esa tensión y pierda la humedad eso ocurrida en 12 horas de mantener dicha tensión, en ese momento se tendrá que tomar un muestra para humedad del contenedor del embudo, la cual se tomara de forma vertical, utilizando una cuchara o una espátula para que se tome todo el perfil de humedad que

presenta el material. Con los mismos tiempos y forma de muestreo se realiza a 50 y 100 cm de columna de agua.

Es conveniente realizar las determinaciones por triplicado para asegurar la veracidad de los resultados.



Figura 19. Embudo con filtro de vidrio incluido, para realizar curva de liberación de humedad en sustratos de crecimiento en invernadero.

9.1.5.5. Cálculos

Los valores de volumen (V_0 , V_{10} , V_{50} , V_{100}) de agua obtenidos para cada valor de tensión de columna de agua, se expresan en porcentaje con relación al volumen total inicial del cilindro (contenedor) (VC) ocupado por la muestra de sustrato. Con los valores en porcentaje se traza la curva de retención de agua y se calculan los principales parámetros hídricos del sustrato.

$$\text{Macroporosidad (\%)} = [V_0/VC] 100$$

$$\text{Capacidad de Aireación (CA, \%)} = [(V_0 + V_{10})/VC]100$$

Agua Extra Fácilmente Disponible (AEFD, %) $= [(V_0 - V_{10}) / VC] 100$

Agua Fácilmente Disponible (AFD, %) $= [(V_{10} - V_{50}) / VC] 100$

Agua de Reserva (AR, %) $= [(V_{50} - V_{100}) / VC] 100$



Figura 20. Contenedores para llevar a capacidad de saturación por capilaridad a los sustratos que posteriormente se les realizará la capacidad de retención de humedad.

9.2.1. Determinaciones químicas

9.2.1.1. Métodos de extracción para determinar características químicas en los sustratos

El extractante más comúnmente utilizado es el agua. Sin embargo, los métodos empleados para determinar el nivel de fertilidad de los sustratos difieren en la relación de volúmenes de sustrato con respecto al extractante: pasta saturada o suspensiones (1:1.5., 1:3., 1:5., etc.). La elección del método depende de dos factores fundamentales: el número de muestras a analizar y la rapidez en la generación de los resultados (Jones, 2001., Raviv y Lieth, 2008).

En los laboratorios de servicio o de rutina, con un elevado número de muestras a analizar y con urgencia en la generación de los resultados, son muy útiles y eficaces los métodos de suspensión. En los laboratorios de investigación con un número de muestras para análisis relativamente reducido y menor urgencia en los resultados, se utiliza comúnmente el método de la pasta saturada, o la extracción de la solución a capacidad de contenedor.

9.2.1.2. Extracto de saturación

9.2.1.2.1. Principio

Lucas *et al.*, (1972) estudiaron el método de extracto de suelo saturado para analizar los sustratos de crecimiento en invernadero (mezclas sin suelo) y encontraron que estos proveen magníficos resultados.

Por lo que es necesario considerar los aspectos prácticos del método y valorar las necesidades de precisión y velocidad. Para propósitos de investigación, el extracto de medio saturado ofrece más ventajas y pocas desventajas que otros métodos, particularmente si se puede alcanzar un acuerdo entre laboratorios en la cantidad de agua requerida para alcanzar el punto de saturación (Bunt, 1986).

Las objeciones al método caen en dos categorías: 1) se considera que es mucho el tiempo consumido cuando un gran número de muestras han de ser analizadas y 2) Puede ser difícil la calibración para obtener el punto final de la cantidad de agua requerida para hacer las pastas de saturación, entre los diferentes laboratorios. Pequeñas variaciones en la cantidad de agua adicionada tienen grandes efectos en la concentración de nutrimentos ya que es muy baja la relación de agua y sustrato usada para obtener el extracto. La dificultad en definir exactamente el punto final se incrementa con la cantidad de turba fibrosa, corteza de árbol y materiales similares en la mezcla. Para resolver este problema se usó un punto de pF final de 1.0 (una tensión equivalente a 10 cm de columna de agua) (Bunt, 1986).

Los métodos de análisis de los nutrimentos asimilables consisten fundamentalmente en equilibrar una muestra del sustrato con una determinada solución extractante (agua, acetato de amonio, u otra) durante un tiempo determinado. Una vez alcanzado el equilibrio se cuantifican los nutrimentos disueltos o extraídos por dicha disolución. Los métodos analíticos más utilizados presentan una correlación alta con la respuesta vegetal, en determinadas condiciones del sustrato (Jones, 2001).

9.2.1.2.2. Importancia y justificación

De acuerdo con Warncke (1986) el extracto de saturación con agua es un buen indicador del estado nutrimental en sustratos que no incluyan suelo en sus mezclas. Con este método se cuantifica principalmente aquellos nutrimentos altamente disponibles (factor intensidad), tales como: sales solubles, N-NO₃, P, K, Ca, Na, Mg, Zn, Mn, Cu y Fe. Cuando el sustrato es saturado solamente con agua este procedimiento elimina posible segregación de los componentes mezclados y asegura el análisis de los medios de crecimiento de los cultivos. Las sales solubles y la concentración de nutrimentos en el extracto saturado de agua es relacionado con la capacidad de retención de humedad de los sustratos (Jones, 2001).

El contenido de agua usado en la prueba es relacionado cercanamente con la capacidad de saturación de agua de un sustrato, así la intensidad y balance de los nutrimentos determinados en el extracto son similares a los experimentados en la planta.

9.2.1.2.3. Material

- Vasos de precipitado de 600 mL
- Espátula
- Agua destilada
- Papel filtro No. 40, 42 ó equivalente libre de cenizas

9.2.1.2.4. Equipo

- Potenciómetro
- Conductímetro
- Bomba de vacío

9.2.1.2.5. Procedimiento

En un vaso de precipitado de 600 mL se agregan dos terceras partes del volumen con el sustrato de crecimiento. Adicionar gradualmente agua hasta que la mezcla está completamente saturada. En esta condición la muestra deberá fluir ligeramente cuando el contenedor se incline y pueda ser fácilmente agitada con una espátula. Dependiendo de la composición del sustrato de crecimiento, la muestra saturada puede brillar emitiendo algunos pequeños destellos de luz (Jones, 2001).

Después de mezclar, dejar a la muestra reposar por 1 hora y verificar el punto de saturación. La muestra saturada no debe presentar agua libre en la superficie de manera perceptible, ni deberá estar compactada. Regular lo anterior adicionando mayor cantidad de sustrato o agua y dejar reposar la muestra por 30 minutos adicionales. Separar el agua del medio por filtrado al vacío, recuperando la solución para la determinación del pH, sales solubles y de macro y micronutrientes (Jones, 2001).

Nota importante

El pH es medido en el sobrenadante de los lixiviados, una vez que los materiales semisólidos se asientan, después 6 horas de tiempo de reposo.

Para sustratos de partículas gruesas, se recomienda usar cilindros de diámetro más ancho. Como regla general, es recomendable usar un cilindro con un diámetro 2.5 veces superior al de las partículas más grandes del sustrato. La altura del cilindro inferior se mantiene a 5 cm.

9.2.1.3. Potencial de hidrógeno (pH)

9.2.1.3.1. Principio.

El pH es una medida de la actividad de los iones hidronio (H_3O^+) o más comúnmente del ion hidrógeno en la solución del sustrato. También es definido como el logaritmo negativo (base 10) de la actividad de H^+ (moles por litro) en la solución del sustrato (Jones, 2001).

9.2.1.3.2. Importancia y justificación.

El pH del sustrato es una de las características más importantes para el cultivo de plantas en contenedores, ya que su medición permite establecer si el medio de crecimiento se encuentra en el rango que permite la máxima disponibilidad de nutrientes para la planta. Es importante señalar que la variación de esta característica en el suelo es a largo plazo, pero en un sustrato varía muy rápidamente.

Se recomienda realizar dos mediciones de pH, una al inicio de la siembra, para hacer algunas modificaciones si fuera necesario, y otra medición es durante el cultivo, con el objetivo de conocer si existe alguna modificación debido al manejo del cultivo (riego, fertilización y drenaje).

9.2.1.3.3. Material.

- 1 probeta de 1 litro
- Botes de plástico de tapa ancha con volumen de 500 a 2000 mL.

9.2.1.3.4. Equipo.

- 1 Agitador mecánico de vaivén
- 1 potenciómetro

9.2.1.3.5. Procedimiento.

Para determinar pH de un sustrato seleccionar la relación sustrato: agua más apropiada (extracto de saturación, 1:1.5, 1:3 y 1:5) de acuerdo a las características del material. Es importante que la medición se realice tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que la temperatura de la solución este entre 19–25 °C.
- Considerar un mínimo de 3 a 5 repeticiones, para obtener un promedio.

Asegurarse que el potenciómetro este calibrado y con una precisión de 0.1 unidades.

9.2.1.4. Conductividad Eléctrica (CE)

9.2.1.4.1. Principio.

La conductividad eléctrica (CE, dS/m o mmhos/cm) representa, de manera aproximada, la concentración de sales en la solución del sustrato. La concentración total de sales afecta el potencial osmótico que está relacionado con la concentración de iones en la fase líquida del sustrato (Bures, 1998).

La conductividad eléctrica o conductancia eléctrica específica es el valor recíproco de la resistencia eléctrica, que es la resistencia de una columna de líquido de sección 1 cm^2 y longitud 1 cm . La conductividad eléctrica se expresa en dS/m o mmho/cm e indica de una manera aproximada la concentración de sales en la solución del sustrato (Bures, 1997).

9.2.1.4.2. Material

- 1 probeta de 1 litro
- Contenedores de plástico boca ancha con tapa
- Papel filtro No. 40 a 42 libre de cenizas.

9.2.1.4.3. Equipo

- 1 conductímetro
- 1 agitador mecánico de vaivén

9.2.1.4.4. Procedimiento.

Para determinar CE de un sustrato seleccionar la relación sustrato:agua más apropiada (extracto de saturación, 1:1.5, 1:3 y 1:5) de acuerdo a las características del material.

9.2.1.4.5. Interpretación de resultados

La respuesta de las plantas a la salinidad depende de la edad de éstas, de las condiciones ambientales, de las prácticas de manejo del cultivo y de las características de la especie. Las fases de germinación y crecimiento inicial son más sensibles a las sales que las de crecimiento posterior y desarrollo.

Las sales solubles incrementan el potencial osmótico de la solución del medio, por lo que afectan la absorción de agua y nutrimentos de las raíces de las plantas. La presión osmótica de la solución del sustrato es un factor importante en la regulación del crecimiento en cultivos bajo invernadero. Niveles altos de sales solubles son permisibles en medios de crecimiento como turbas, debido a que ellos pueden contener más agua por unidad de volumen que los suelos minerales (Warncke, 1990). Así, los valores altos de CE ($>3.50 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) causan inhibición del crecimiento, mientras que valores bajos indican insuficiencia de nutrimentos, particularmente bajo ambientes deficientes de luz, lo cual lleva a condiciones limitadas de desarrollo vegetativo de los cultivos. Las presiones osmóticas en soluciones de sustratos aumentan por la acumulación de sales o por la excesiva aplicación de fertilizantes solubles. De este modo la presión osmótica, el contenido de

sal y la nutrición están estrechamente interrelacionados. Un incremento en la salinidad, si se presentase, puede ser prevenido, o corregido, mediante lixiviación controlada. La lixiviación con agua de buena calidad, hasta conseguir un volumen de lixiviado equivalente al volumen del contenedor, debería corregir el problema de la salinidad.

9.3.1. Determinaciones biológicas

9.3.1.1. Técnicas de aislamiento usando medios diferenciales y semiselectivos en suelo y sustratos, para determinar roña común (*Streptomyces scabies*).

9.3.1.1.1. Principio

El aislamiento de patógenos de plantas como *Streptomyces* spp. de medios naturales son técnicamente muy difíciles. Las especies patógenas son similares en apariencia a muchas especies saprofitas y usualmente representan solo una pequeña porción (<1%) de los *Streptomyces* en el suelo natural. *S. scabies* ha sido aislado de suelos naturales usando el procedimiento descrito por Keinath y Loria (1989).

9.3.1.1.2. Material

- Receta para medios semiselectivos.
- 1) Nystatin, polymyxin, penicillim, cycloheximide (NPPC) agar agua (34)

	<u>Por litro</u>
Stock de solución antibiótica	10.1 ml
Agar	20.0 g

- Matraz Erlenmeyer de 500 mL.
- Torundas elaboradas con gasa y algodón
- Agua destilada y esterilizada.
- Mecheros Bunsen
- Soportes universales
- Pinzas de soporte
- Rejilla con asbesto
- Varilla de vidrio
- Puntas de plástico
- Cajas Petri de plástico
- Agitadores magnéticos diversos tamaños.

9.3.1.1.3. Equipo

- Pipetas automáticas de 0-100 μ L
- Agitadores tipo vortex
- Parrillas de agitación

9.3.1.1.4. Procedimiento

El suelo secado al aire (10 g) es adicionado con 100 mL de agua destilada estéril, y agitado mecánicamente durante 10 minutos. Cinco sucesivos pasos de dilución de la suspensión del suelo son hechos usando agua estéril y 0.1

ml de las tres suspensiones más diluidas son aplicados uniformemente en las cajas con NPPC agar agua e incubadas a 28-30°C durante 7-10 días. El número de bacterias contaminantes en los platos de aislamiento puede reducirse por el secado del suelo antes de preparar la suspensión del mismo (Loria *et al.*, 2001).

Preparar el stock de solución antibiótica adicionando lo siguiente a una botella de agua destilada (100 mL) la cual ha sido esterilizada y enfriada (34): Nystitina 500 mg, Polymixina B sulfato 50 mg, Sodio Penicillina-G 10 mg., Cycloheximida 500 mg. Esta solución stock puede ser filtrada, esterilizada y almacenada por un periodo de 4 semanas a 5 °C o congelación a -20°C. Adicionar la solución del antibiótico al agar la cual ha sido esterilizada por 20 minutos a 15 libras de presión y enfriada a 45-55°C.

9.2. Anexo 2. Análisis financiero del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero empleando como mezcla de sustrato turba en una relación de 40% v/v.

Cuadro 20. Análisis del flujo de efectivo del proyecto de producción de semilla de papa en invernadero, empleando Turba (40 % v/v) dentro de la mezcla de sustratos.

Año	0	1	2	3	4	5
Producción		6,300,000	6,300,000	6,300,000	6,300,000	6,300,000
+ Ingreso		16,380,000	16,380,000	16,380,000	16,380,000	16,380,000
+ Valor de rescate						5,928,140
+Préstamo	-					
- C. Producción		9,263,392	8,533,046	9,037,392	9,571,510	10,140,405
= Utilidad Marginal	-	7,116,608	7,846,954	7,342,608	6,808,490	12,167,735
- C. Admon		243,800	259,159	275,486	292,842	311,291
- C. Ventas		-	-	-	-	-
- C. Financieros		-	-	-	-	-
- Depreciación		467,568	467,568	467,568	465,568	464,568
- Inversión Inicial	8,837,096.00					
= Utilidad Bruta		6,405,240	7,120,226	6,599,554	6,050,079	11,391,876
- I.S.R. 32%		-	1,500,279	2,111,857	1,936,025	3,645,400
- PTU 10%		640,524	712,023	659,955	605,008	1,139,188
= Utilidad neta después de impuestos	8,837,096.00	5,764,716	4,907,925	3,827,741	3,509,046	6,607,288
- Pagos a capital o principal		-	-	-	-	-
+ Depreciaciones y Amortizaciones		467,568	467,568	467,568	465,568	464,568

Cuadro 21. Aprovechamiento de la capacidad instalada a través de los años dentro de la producción de semilla papa a nivel invernadero.

Periodo Anual	Producción cuatrimestral de semilla de papa (piezas)	Aprovechamiento de la capacidad
1	6,300,000	100%
2	6,300,000	100%
3	6,300,000	100%
4	6,300,000	100%
5	6,300,000	100%

Cuadro 22. Costo de materia prima producción de semilla de papa para 12 invernaderos.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total anual
Turba	ton	9,689.72	445.00	4,311,925.40
Perlita	m ³	518.40	920.00	476,928.00
Fibra de coco	m ³	1,036.00	250.00	259,000.00
Semilla o plántula	pza	1,260,000.00	1.20	1,512,000.00
Fertilizante	lote	3.00	189,100.00	567,300.00
Taras plásticas	pza	100.00	70.00	7,000.00
Malla espaldera de soporte	rollo	8.00	1,131.69	9,053.52
Malla ground cover	rollo	29.00	1,201.33	34,838.57
Costal de polipropileno	paca	18.00	350.00	6,300.00
Costal de rafia	pacas	21.00	250.00	5,250.00
Block 20x20x40 cm	pza	14,376.00	0.20	2,875.20
Guantes de plástico	caja	5.00	120.00	600.00
Palas cuchara	Pza	12	175.00	2,100.00
Cernidor	Pza	1	6,000.00	6,000.00
Carretillas 80 L	Pza	6	700.00	4,200.00
Estructura metálica p/siembra	Pza	1	7,000.00	7,000.00
Vernier	Pza	6	280.00	1,680.00
			Total	7,214,050.60

Cuadro 23. Consumo de energía eléctrica de los equipos dentro de la producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Equipo	unidades	Núm motores	HP del motor	Consumo kw-h/motor	Consumo kw/h total	h/día	Consumo o kw/día
Sistema de riego	1	5	3	2.24	11.19	8	89.48
Revolvedora para esterilización	1	1	12	8.95	8.95	8	71.59
Computadora	1	1	0.15	0.11	0.11	8	0.89
Total							161.97

Cuadro 25. Consumo de agua dentro del proyecto de producción de semilla de papa en invernadero.

Consumo de agua			
Oficina	126,000	L/año	70 L/persona/día x 6 personas x 300días
Industria	3,000,000	L/año	100 L/persona/día x 7 personas x 300 días
Producción	3,000,000	L/año	
Limpieza	45,000	L/año	
5% imprevistos	308,550	L/año	
	6,479,550	L/año	
	6,479.55	m ³ /año	
Precio /m³	3.7		
Total	23,974.34	\$ / año	

Cuadro 26. Costo de mano de obra directa e indirecta dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Costo de mano de obra directa				
Plaza	Plazas/turno	Turnos/día	Sueldo mensual/plaza	Sueldo total anual
Obreros	288	1	3,600.00	1,036,800.00
				1,036,800.00
				Total 1,036,800.00
Costo de mano de obra indirecta				
	Sueldo mensual			Sueldo anual
Personal				
Coordinador de campo	14,000.00			168,000.00
				-
				Total 168,000.00

Cuadro 27. Gasto de gas LP dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Combustibles		Costo anual
Gas LP		48000
Equipo de transporte	0.3 L x 8 HP/hora x 8 horas/día x 300 días/año x \$ 6.90/L =	120000
		168,000.00

Cuadro 28. Costo anualizado por mantenimiento en los diversos equipos en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Mantenimiento	
invernaderos, sistema de riego equipo de desinfección	costo anual
60,000.00	

Cuadro 29. Presupuesto de costos de producción en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo total anual
Materia prima	7,193,070.69
Otros materiales	20,980.00
Energía eléctrica	124,997.86
Agua	23,974.34
Mano de obra directa	1,036,800.00
Mano de obra indirecta	168,000.00
Combustible	168,000.00
Mantenimiento	60,000.00
Control de calidad	1.00
Depreciación	467,568.00
Total	9,263,391.89

Cuadro 30. Gastos de administración dentro del proyecto de producción de semilla de papa.

Concepto	Sueldo mensual	Sueldo anual
secretaria	5,000.00	60,000.00
contador	9,000.00	108,000.00
velador	6,000.00	72,000.00
		-
	Total anual	240,000.00
Gastos de administración		
Concepto	Costo	
Sueldos del personal	240,000.00	
Gastos de oficina	3,800.00	(papelería, lápices, plumas, facturas, cd's de pc, teléfono, mensajería)
Total anual	243,800.00	
Gastos de venta		
Personal	Sueldo mensual	Sueldo anual
		-
Subtotal		-
+ 35% de prestaciones		-
		-
Mantenimiento de vehículo		
Combustible		
Total anual vehículo		-

Cuadro 31. Costos totales de producción en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo
Materia prima	7,193,070.69
Otros materiales	20,980.00
Energía eléctrica	124,997.86
Agua	23,974.34
Mano de obra directa	1,036,800.00
Mano de obra indirecta	168,000.00
Combustible	168,000.00
Mantenimiento	60,000.00
Control de calidad	1.00
Depreciación	467,568.00
Total	9,263,391.89

Cuadro 32. Costos de operación del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo	Porcentaje
Costo de producción	9,263,391.89	97.4
Costo de administración	243,800.00	2.6
Costo de ventas	-	0.0
Total	9,507,191.89	100.0

Cuadro 33. Activos fijos de producción en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Activo fijo de producción				Precio unitario/pza
Unidades	Equipo	Precio unitario	Fletes y seguros (5%)	Costo total puesto en planta
1	Tanque estacionario 2200 L	13,440.00		13,440.00
1	Revolvedora para esterilización	342,000.00		342,000.00
12	Palas cuchara	130.00		1,560.00
1	Cernidor	6,000.00		6,000.00
6	Carretillas 80 L	700.00		4,200.00
1	Estructura metálica p/siembra	7,000.00		7,000.00
6	Vernier	280.00		1,680.00
Total		369,550.00		375,880.00

Cuadro 34. Activo fijo de oficinas y ventas en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Unidades	Concepto	Precio unitario	Costo total
1	Computadora e impresora	10,000.00	10,000.00
2	Escritorio secretarial	1,500.00	3,000.00
6	Silla secretarial	650.00	3,900.00
1	Teléfono	600.00	600.00
1	Fax	1,500.00	1,500.00
1	Camión 3 ton	331,300.00	331,300.00
1	Camioneta pick-up	314,200.00	314,200.00
Total			664,500.00

Cuadro 35. Terreno y obra civil con que se cuenta dentro del el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Unidades	Precio	Costo
Terreno (m²)	32,562.00	18.00	586,116.00
Invernaderos tecnificados	12,000.00	500.00	6,000,000.00
Edificio administrativo	100.00	4,000.00	400,000.00
Vivienda velador	32.00	3,500.00	112,000.00
Área de seleccionado	30.00	3,200.00	96,000.00
Cubierta de lámina para estacionamiento	40.00	650.00	26,000.00
Cubierta de teja para reunión al aire libre	28.00	1,200.00	33,600.00
Almacén de tubérculos	60.00	3,500.00	210,000.00
Almacén con cubierta de lámina	80.00	1,850.00	148,000.00
Taller almacén	100.00	1,850.00	185,000.00
Total			7,796,716.00

Cuadro 36. Inversión total en activo fijo y diferido en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo
Equipo de producción	375,880.00
Equipo de oficinas y ventas	664,500.00
Terreno y obra civil	7,796,716.00
Activo diferido	-
Subtotal	8,837,096.00
+ 5% de imprevistos	441,854.80
Total	9,278,950.80

Cuadro 37. Valor de rescate de los diferentes equipos dentro del el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Valor	%	1	2	3	4	5	Valor de rescate
Equipo de producción	375,880.00	10	37,588.00	37,588.00	37,588.00	37,588.00	37,588.00	187,940.00
Camión 3.5 Ton	331,300.00	10	33,130.00	33,130.00	33,130.00	33,130.00	33,130.00	165,650.00
Camión 3.5 Ton	314,200.00	10	31,420.00	31,420.00	31,420.00	31,420.00	31,420.00	157,100.00
Equipo de oficina	19,000.00	10	1,900.00	1,900.00	1,900.00	1,900.00	1,900.00	9,500.00
Computadoras	10,000.00	30	3,000.00	3,000.00	3,000.00	1,000.00	0.00	0.00
Obra civil	7,210,600.00	5	360,530	360,530	360,530	360,530	360,530	5,407,950
Inversión diferida	-	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total			467,568	467,568	467,568	465,568	464,568	5,928,140
Valor de salvamento + Terreno		Total						
5,928,140.00	586,116.00	6,514,256.00						

Cuadro 38. Valor de salvamento dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Valor de salvamento + terreno		Total	
5,928,140.00	586,116.00	6,514,256.00	
Determinación del capital de trabajo			
Valores e inversiones			
Ventas	Días laborables	Crédito	Total
-	300	10	-
Inventarios			
Días	Cantidad de piezas	Precio / pza	Total
4	0	2.60	-
Cuentas por cobrar			
Costo total de producción	Días laborables	Días	Total
9,507,191.89	312		-
Valor del Activo Circulante			
Concepto		Costo	
Valores e inversiones		-	
Inventarios		-	
Cuentas por cobrar		-	
Total AC		-	
Pasivo circulante			
AC	PC=AC/2.5		

Cuadro 39. Clasificación de costos y punto de equilibrio en el proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Clasificación de costos		
Concepto	Costos	
Ingresos	14,414,400.00	
Costos totales	9,507,191.89	
Costos variables	7,591,023.89	
Costos fijos	1,916,168.00	
Punto de equilibrio		
Costo Fijo (CF)	1,916,168.00	
Costo variable unitario (Cvo)	0.00	
Precio / pieza (P)	2.60	
PE = CF / (1-CVo/P)	1,919,132.63	Pesos anuales
PE = PE/P	738,127.93	Piezas anuales

Cuadro 40. Balance general inicial dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Activo		Pasivo	
Activo circulante		Pasivo circulante	
Valores e inversiones	-	Sueldos , deudores, impuestos	-
Inventarios	-		
Cuentas por cobrar	-	Pasivo fijo	
Subtotal	-	Préstamo a 5 años	-
Activo fijo		Capital	
Equipo de producción	375,880.00	Capital social	8,837,096.00
Equipo de oficinas y ventas	664,500.00		
Terreno y obra civil	7,796,716.00		
Subtotal	8,837,096.00		
Activo diferido	-		

9.3. Anexo 3. Análisis financiero del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero empleando como mezcla de sustrato tamizado de vermicompost de pulpa de café en una relación de 40% v/v.

Cuadro 41. Análisis financiero del proyecto de producción de semilla de papa en invernadero, empleando tamizado de vermicompost de pulpa de café en una relación de 40 % v/v dentro de la mezcla de sustratos.

Año	0	1	2	3	4	5
Producción		6,300,000	6,300,000	6,300,000	6,300,000	6,300,000
+ Ingreso		16,380,000	16,380,000	16,380,000	16,380,000	16,380,000
+ Valor de rescate						5,928,140
+Préstamo	-					
- C. producción		6,278,570	5,360,181	5,664,636	5,986,271	6,329,295
= Utilidad marginal	-	10,101,430	11,019,819	10,715,364	10,393,729	15,978,845
- C. administración		243,800	259,159	275,486	292,842	311,291
- C. ventas		-	-	-	-	-
- C. financieros		-	-	-	-	-
- Depreciación		467,568	467,568	467,568	465,568	464,568
- Inversión inicial	8,837,096.00					
= Utilidad bruta		9,390,062	10,293,091	9,972,310	9,635,319	15,202,985
- I.S.R. 32%		-	3,470,738	3,191,139	3,083,302	4,864,955
- PTU 10%		939,006	1,029,309	997,231	963,532	1,520,299
= Utilidad neta después de impuestos	- 8,837,096.00	8,451,055	5,793,044	5,783,940	5,588,485	8,817,732
- Pagos a capital o principal		-	-	-	-	-
+ Depreciaciones y amortizaciones		467,568	467,568	467,568	465,568	464,568
= Flujo Neto de Efectivo	8,837,096.00	8,918,623	6,260,612	6,251,508	6,054,053	9,282,300

Cuadro 42. Aprovechamiento de la capacidad instalada a través de los años, en el proyecto de producción de semilla de papa en invernadero.

Periodo anual	Producción cuatrimestral de semilla de papa (pzas)	Aprovechamiento de la capacidad
1	6,300,000	100%
2	6,300,000	100%
3	6,300,000	100%
4	6,300,000	100%
5	6,300,000	100%

Cuadro 43. Costo de materia prima producción de semilla de papa para 12 invernaderos en el proyecto de producción de semilla de papa.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total anual
Lombricomposta	ton	829.44	1,600.00	1,327,104.00
Perlita	m ³	518.40	920.00	476,928.00
Fibra de coco	m ³	1,036.00	250.00	259,000.00
Semilla o plántula	pza	1,260,000.00	1.20	1,512,000.00
Fertilizante	lote	3.00	189,100.00	567,300.00
Taras plásticas	pza	100.00	70.00	7,000.00
Malla espaldera de soporte	rollo	8.00	1,131.69	9,053.52
Malla ground cover	rollo	29.00	1,201.33	34,838.57
Costal de polipropileno	paca	18.00	350.00	6,300.00
Costal de rafia	pacas	21.00	250.00	5,250.00
Block tepeil 20x20x40 cm	pza	14,376.00	0.20	2,875.20
Guantes de plástico	caja	5.00	120.00	600.00
Palas cuchara	Pza	12	175.00	2,100.00
Cernidor	Pza	1	6,000.00	6,000.00
Carretillas 80 L	Pza	6	700.00	4,200.00
Estructura metálica p/siembr	Pza	1	7,000.00	7,000.00
Vernier	Pza	6	280.00	1,680.00
Total				4,229,229.20

Cuadro 44. Costo de mano de obra directa e indirecta dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Plaza	Plazas/turno	Turnos/día	Sueldo mensual/plaza	Sueldo total anual
Obreros	288	1	3,600.00	1,036,800.00
				1,036,800.00
				Total 1,036,800.00
Costo de mano de obra indirecta				
Personal	Sueldo mensual	Sueldo anual		
Coordinador de campo	14,000.00	168,000.00		
	Total	168,000.00		

Cuadro 45. Costo de combustibles dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Combustibles		Costo anual
Gas LP		48000
Equipo de transporte	0.3 L x 8 HP/hora x 8 horas/día x 300 días/año x \$ 6.90/L	120000
		168,000.00

Cuadro 46. Costo de mantenimiento dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Mantenimiento	
Invernaderos, sistema de riego equipo de desinfección	
Costo mensual	60,000.00

Cuadro 47. Presupuesto de costos de producción dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo total anual
Materia prima	4,208,249.29
Otros materiales	20,980.00
Energía eléctrica	124,997.86
Agua	23,974.34
Mano de obra directa	1,036,800.00
Mano de obra indirecta	168,000.00
Combustible	168,000.00
Mantenimiento	60,000.00
Control de calidad	1.00
Depreciación	467,568.00
Total	6,278,570.49

Cuadro 48. Gastos de administración dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Sueldo mensual	Sueldo anual
Secretaria	5,000.00	60,000.00
Contador	9,000.00	108,000.00
Velador	6,000.00	72,000.00
		-
	Total anual	240,000.00
Sueldos del personal	240,000.00	
Gastos de oficina	3,800.00	(papelería, lápices, plumas, facturas, cd's de pc, teléfono, mensajería)
Total anual	243,800.00	
Gastos de venta		
Personal	Sueldo mensual	Sueldo anual
		-
Subtotal		-
+ 35% de prestaciones		-
		-
Mantenimiento de vehículo		
Combustible		
Total anual vehículo		-
Total anual	-	

Cuadro 49. Costos totales de producción dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo
Materia prima	4,208,249.29
Otros materiales	20,980.00
Energía eléctrica	124,997.86
Agua	23,974.34
Mano de obra directa	1,036,800.00
Mano de obra indirecta	168,000.00
Combustible	168,000.00
Mantenimiento	60,000.00
Control de calidad	1.00
Depreciación	467,568.00
Total	6,278,570.49

Cuadro 50. Costos totales de operación dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo	Porcentaje
Costo de producción	6,278,570.49	96.3
Costo de administración	243,800.00	3.7
Costo de ventas	-	0.0
Total	6,522,370.49	100.0

Cuadro 51. Activo fijo de producción dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Unidades	Equipo	Precio unitario	Costo total puesto en planta
1	Tanque estacionario 2200 L	13,440.00	13,440.00
1	Revolvedora para esterilización	342,000.00	342,000.00
12	Palas cuchara	130.00	1,560.00
1	Cernidor	6,000.00	6,000.00
6	Carretillas 80 L	700.00	4,200.00
1	Estructura metálica p/siembra	7,000.00	7,000.00
6	Vernier	280.00	1,680.00
Total		369,550.00	375,880.00

Cuadro 52. Activo fijo de oficinas y ventas dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Unidades	Concepto	Precio unitario	Costo total
1	Computadora e impresora	10,000.00	10,000.00
2	Escritorio secretarial	1,500.00	3,000.00
6	Silla secretarial	650.00	3,900.00
1	Teléfono	600.00	600.00
1	Fax	1,500.00	1,500.00
1	Camión 3 ton	331,300.00	331,300.00
1	Camioneta pick-up	314,200.00	314,200.00
Total			664,500.00

Cuadro 53. Terreno y obra civil dentro del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Unidades	Precio	Costo
Terreno (m²)	32,562.00	18.00	586,116.00
Invernaderos tecnificados	12,000.00	500.00	6,000,000.00
Edificio administrativo	100.00	4,000.00	400,000.00
Vivienda velador	32.00	3,500.00	112,000.00
Área de seleccionado	30.00	3,200.00	96,000.00
Cubierta de lámina para estacionamiento	40.00	650.00	26,000.00
Cubierta de teja para reunión al aire libre	28.00	1,200.00	33,600.00
Almacén de tubérculos	60.00	3,500.00	210,000.00
Almacén con cubierta de lámina	80.00	1,850.00	148,000.00
Taller almacén	100.00	1,850.00	185,000.00
Total			7,796,716.00

Cuadro 54. Inversión total en activo fijo y diferido del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo
Equipo de producción	375,880.00
Equipo de oficinas y ventas	664,500.00
Terreno y obra civil	7,796,716.00
Activo diferido	-
Subtotal	8,837,096.00
+ 5% de imprevistos	441,854.80
Total	9,278,950.80

Cuadro 55. Depreciación y amortización de activo fijo y diferido del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Valor	%	1	2	3	4	5	Valor de rescate
Equipo de producción	375,880.00	10	37,588.00	37,588.00	37,588.00	37,588.00	37,588.00	187,940.00
Camión 3.5 Ton	331,300.00	10	33,130.00	33,130.00	33,130.00	33,130.00	33,130.00	165,650.00
Camión 3.5 Ton	314,200.00	10	31,420.00	31,420.00	31,420.00	31,420.00	31,420.00	157,100.00
Equipo de oficina	19,000.00	10	1,900.00	1,900.00	1,900.00	1,900.00	1,900.00	9,500.00
Computadoras	10,000.00	30	3,000.00	3,000.00	3,000.00	1,000.00	0.00	0.00
Obra civil	7,210,600.00	5	360,530.00	360,530.00	360,530.00	360,530.00	360,530.00	5,407,950.00
Inversión diferida	-	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total			467,568.00	467,568.00	467,568.00		464,568.00	5,928,140.00
					0		0	0

Cuadro 56. Determinación del capital de trabajo del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Valores e inversiones			
G. de ventas	Días laborables	Crédito	Total
-	300	10	-
Inventarios			
Días	Cantidad de piezas	Precio / pza	Total
4	0	2.60	-
Cuentas por cobrar			
Costo total de producción	Días laborables	Días	Total
6,522,370.49	312		-

Cuadro 57. Valor del activo circulante, pasivo circulante y financiamiento del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Concepto	Costo
Valores e inversiones	
Inventarios	
Cuentas por cobrar	
Total AC	
Pasivo circulante	
AC	PC=AC/2.5
Financiamiento: inversión	
Clasificación de costos	
Concepto	Costos
Ingresos	14,414,400.00
Costos totales	6,522,370.49
Costos variables	4,606,202.49
Costos fijos	1,916,168.00
Punto de equilibrio	
Costo Fijo (CF)	1,916,168.00
Costo Variable unitario (Cvo)	0.00
Precio / pieza (P)	2.60
PE = CF / (1-CVo/P)	1,917,965.83 Pesos anuales
PE = PE/P	737,679.17 Piezas anuales

Cuadro 58. Balance general inicial del proyecto de producción de semilla de papa a nivel invernadero.

Activo		Pasivo	
<i>Activo circulante</i>		<i>Pasivo circulante</i>	
Valores e inversiones	-	Sueldos , Deudores, Impuestos	-
Inventarios	-		
Cuentas por cobrar	-	<i>Pasivo fijo</i>	
Subtotal	-	Préstamo a 5 años	-
<i>Activo fijo</i>		<i>Capital</i>	
Equipo de Producción	375,880.00	Capital Social	8,837,096.00
Equipo de Oficinas y Ventas	664,500.00		
Terreno y Obra Civil	7,796,716.00		
Subtotal	8,837,096.00		
<i>Activo diferido</i>	-		
Total de activos	8,837,096.00	Pasivo + Capital	8,837,096.00