

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE UN SUSTITUTO DE TURBA DE MUSGO (PEAT MOSS) COMO SUSTRATO Y UN ESTIMULADOR RADICULAR EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE MAÍZ DULCE (*Zea Mays* L.) y Tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ.

PABLO FRANCISCO TOLEDO CHAVES

GUATEMALA. NOVIEMBRE del 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE UN SUSTITUTO DE TURBA DE MUSGO (PEAT MOSS) COMO SUSTRATO Y UN ESTIMULADOR RADICULAR EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE MAÍZ DULCE (*Zea Mays* L.) y Tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ.

TESIS

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

POR

PABLO FRANCISCO TOLEDO CHAVES

EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO.

Guatemala, Noviembre del 2006.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes
VOCAL I	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL II	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL III	Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL IV	MEPU Elmer Antonio Álvarez Castillo
VOCAL V	PMP Miriam Eugenia Espinoza Castillo

Guatemala, noviembre del 2006

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

Señores miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de tesis titulado:

EVALUACIÓN DE UN SUSTITUTO DE TURBA DE MUSGO (PEAT MOSS) COMO SUSTRATO Y UN ESTIMULADOR RADICULAR EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE MAÍZ DULCE (*Zea Mays* L.) y Tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ.

Presentando como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado de Licenciado.

En espera de su aprobación, de ustedes,

Respetuosamente,

Pablo Francisco Toledo Chaves.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: POR TODAS LAS BENDICIONES QUE HE RECIBIDO.

MIS PADRES: POR EL APOYO INCONDICIONAL Y EJEMPLO.

MIS HERMANOS: BÁRBARA Y SAMUEL, CON MUCHO CARIÑO.

A MI FAMILIA:

A MIS AMIGOS:

AGRADECIMIENTOS:

A:

Mi asesor, Ing. Agr. Marino Barrientos por su apoyo y colaboración para la realización de este proyecto.

Jose Luis González, por haber facilitado las instalaciones para la realización de la investigación.

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.....	iv
INDICE DE CUADROS.....	v
RESUMEN.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Marco Conceptual.....	4
3.1.1 ¿Qué es un sustrato?.....	4
3.1.2 Las propiedades de los sustratos para plantas.....	4
3.1.2.1 Porosidad.....	4
3.1.2.2 Densidad.....	5
3.1.2.3 Estructura.....	5
3.1.2.4 Reactividad Química.....	5
3.1.2.5 Propiedades Biológicas.....	6
3.1.3 Características del sustrato ideal.....	7
3.1.3.1 Propiedades físicas.....	7
3.1.3.2 Propiedades químicas.....	8
3.1.3.3 Otras propiedades.....	8
3.1.4 Tipos de sustrato.....	8
3.1.4.1 Según sus propiedades.....	9
3.1.4.2 Según el origen de los materiales.....	9
3.1.5 Descripción general de algunas de las materias primas utilizadas en la elaboración de sustratos.....	10
3.1.5.1 Materias primas naturales.....	10
3.1.5.2 Materias primas artificiales.....	13
3.1.6 Tecnología del pión.....	15
3.1.6.1 Ventajas de la bandeja.....	16
3.1.6.2 Ventajas de la producción de plántulas en bandejas.....	17
3.1.6.3 Desventajas de la producción o utilización de plántulas.....	17
3.1.7 Características de los sustratos utilizados.....	17
3.1.7.1 Turba de musgo (<i>Peat moss</i>).....	17

3.1.7.2	Sustrato alternativo.....	20
3.1.8	Características del estimulador radicular.....	21
3.1.9	El fósforo en la planta.....	22
3.1.10	Fitohormonas.....	23
3.1.10.1	Auxinas.....	24
3.1.11	Tomate.....	27
3.1.11.2	Origen.....	27
3.1.11.1	Morfología del tomate.....	28
3.1.11.2	Requerimientos edafoclimáticos.....	30
3.1.12	Maíz Dulce.....	31
3.1.12.1	Descripción general del cultivo.....	31
3.1.12.2	Aspectos agroecológicos ideales.....	32
3.2	Marco Referencial.....	33
3.2.1	San Jerónimo, Baja Verapaz.....	33
3.2.2	Sitio Experimental.....	35
4.	Objetivos.....	37
5.	Hipótesis.....	38
6.	Metodología.....	39
6.1	Sitio Experimental.....	39
6.2	Tratamientos.....	39
6.3	Unidad Experimental.....	41
6.4	Diseño Experimental.....	41
6.5	Manejo del experimento.....	42
6.5.1	Preparación de sustratos.....	42
6.5.2	Remojo de sustratos.....	42
6.5.3	Desinfección de sustratos.....	42
6.5.4	Siembre.....	42
6.5.5	Riego.....	43
6.5.6	Cubrimiento de las bandejas.....	43
6.5.7	Fertilización.....	44
6.6	Variables de respuesta.....	44
6.7	Análisis de la información.....	44
6.7.1	Análisis estadístico.....	44

6.7.1.1 Modelo estadístico.....	44
6.7.1.2 Análisis postandeva.....	45
7. Resultados y Discusión.....	46
7.1 Tomate.....	46
7.1.1 Altura de planta.....	46
7.1.2 Diámetro del tallo.....	48
7.1.3 Peso seco de raíz.....	50
7.1.4 Peso seco de hojas.....	51
7.1.5 Análisis integrado.....	52
7.2 Maíz dulce.....	53
7.2.1 Altura de planta.....	53
7.2.2 Diámetro del tallo.....	55
7.2.3 Peso seco de raíz.....	57
7.2.4 Peso seco de hojas.....	58
7.2.5 Análisis integrado.....	59
8. Conclusiones.....	60
9. Recomendaciones.....	61
10. Bibliografía.....	62

INDICE DE FIGURAS

1. Peat Moss utilizado, casa comercial Sungro.....	19
2. Mantillo y arena blanca.....	21
3. Vista interior del invernadero.....	35
4. Ubicación de Pilonos El Obrero.....	36
5. Bandeja utilizada.....	41
6. Siembra de semilla.....	43
7. Bandejas cubiertas.....	43
8. Tomate. Efecto del % de sustitución de peat moss en la altura de planta.....	47
9. Tomate. Efecto de la aplicación de estimulador radicular en la altura de plántula.....	48
10. Tomate. Interacción entre el % de sustitución y el fertilizante en el diámetro del tallo.....	49
11. Tomate. Resultados del peso seco de raíz.....	51
12. Maíz dulce. Promedio de altura de plántula bajo el efecto del % de sustitución de peat moss.....	54
13. Maíz dulce. Promedio de altura de plántula bajo el efecto de la aplicación del estimulador radicular.....	55
14. Maíz dulce. Efecto del % de sustitución de peat moss en el diámetro de plántulas.....	56
15. Maíz dulce. Efecto del estimulador radicular en el peso seco de raíz.....	58

INDICE DE CUADROS

1. Clasificación taxonómica del musgo Sphagnum.....	19
2. Componentes del Peat moss.....	20
3. Características físicas del “mantillo”.....	21
4. Características físicas de las mezclas de los sustratos evaluados.....	21
5. Componentes del Raizal 400.....	22
6. Clasificación taxonómica del tomate.....	28
7. Clasificación taxonómica del maíz dulce.....	31
8. Características climáticas de San Jerónimo, Baja Verapaz.....	34
9. Población del departamento de Baja Verapaz.....	34
10. Tratamientos evaluados.....	39
11. Costo por metro cúbico de los materiales y mano de obra.....	40
12. Costo de la aplicación del estimulador radicular.....	40
13. Costo por bandeja de los tratamientos.....	40
14. Características de la bandeja utilizada.....	41
15. Tomate. Análisis de Varianza para variable altura.....	46
16. Tomate. Datos de los valores medios de altura de plántula, para el análisis de regresión.....	47
17. Tomate Promedios de la altura de plántula de tomate para el efecto del estimulador radicular.....	48
18. Tomate. Análisis de varianza para el diámetro del tallo.....	49
19. Tomate. Comparación de medias de Tukey para el diámetro del tallo. Interacción entre sustrato y estimulador radicular.....	49
20. Tomate. Análisis de varianza para peso seco de raíz.....	50
21. Tomate. Promedio del peso seco de raíz. Efecto del sustrato.....	50
22. Tomate. Análisis de varianza para el peso seco de hojas.....	52
23. Maíz dulce. Análisis de varianza para altura de plántulas.....	53
24. Maíz dulce. Comparación de medias por efecto del sustrato para altura de plántula.....	53
25. Maíz dulce. Promedio de altura del plántulas bajo el efecto del estimulador radicular.....	54
26. Maíz dulce. Análisis de Varianza para la variable diámetro del tallo.....	56
27. Maíz dulce. Comparación de medias por efecto del sustrato para el diámetro del tallo.....	56
28. Maíz dulce. Análisis de varianza para la variable peso seco de raíz.....	57
29. Maíz dulce. Valores promedio del diámetro del tallo bajo efecto del estimulador radicular.....	57
30. Maíz dulce. Análisis de varianza para la variable peso seco de hojas.....	59

EVALUACIÓN DE UN SUSTITUTO DE PEAT MOSS COMO SUSTRATO Y UN ESTIMULADOR RADICULAR EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE MAÍZ DULCE (*Zea mays* L.) Y TOMATE (*Lycopersicon esculentum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ.

EVALUATION OF A REPLACEMENT OF PEAT MOSS AS GROWING MEDIA AND A RADICULAR PROMOTER IN THE PRODUCTION OF SEEDLINGS (PLUG PRODUCTION) OF SWEET CORN (*Zea mays* L.) AND TOMATO (*Lycopersicon esculentum* L.) UNDER GREENHOUSE ENVIRONMENT, IN SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ.

RESUMEN

El área de San Jerónimo, en el departamento de Baja Verapaz, se caracteriza por la producción de tomate y maíz dulce, ya que la zona reúne las características climáticas (10) adecuadas para el cultivo de los mismos. El tomate y el maíz dulce, son cultivos que se han beneficiado por la tecnología del pilón, que consiste en producir plántulas en bandejas, bajo condiciones de invernadero, previo a su trasplante al campo definitivo. Las principales ventajas de la producción de plántulas en bandejas, es el hecho que la planta se desarrolla en una celda individual con su porción de sustrato independiente, lo cual le permite desarrollar un buen sistema radicular y plantaciones uniformes en el campo. En la empresa Pilonés El Obrero, en San Jerónimo Baja Verapaz, se producen plántulas de tomate y maíz dulce, y se utiliza únicamente la turba de musgo (peat moss) como sustrato, el cual es importado de Canadá. Además se utiliza un fertilizante rico en fósforo, como estimulador radicular, con el objetivo de proveer a los productores plántulas vigorosas. La presente investigación busca encontrar un sustituto del peat moss, con un sustrato de origen local, que elimine la dependencia de las importaciones del peat moss, y evaluar la eficacia del fertilizante rico en fósforo utilizado como estimulador radicular. Como sustrato de origen local se utilizó una mezcla 1:1 de mantillo con arena blanca. El mantillo es un suelo extraído de los bosques de la región y es utilizado por viveristas de la zona (11). Para lograr dichos objetivos, se evaluaron 5 diferentes porcentajes de sustitución de peat moss, 0, 25, 50, 75 y 100%, y el estimulador radicular se evaluó con la aplicación y no aplicación del mismo. La combinación de los dos factores dio como resultado 10 tratamientos, los cuales tuvieron 4 repeticiones cada uno. La unidad experimental fue una bandeja de 105 celdas, con un volumen de sustrato de 32 centímetros

cúbicos por celda. Los resultados se analizaron por medio de un modelo estadístico completamente al azar con arreglo bifactorial y las variables que se evaluaron fueron altura de planta, diámetro del tallo, peso seco de raíz y peso del de hojas.

Los resultados indican que es posible sustituir hasta 35% el peat moss, para la producción de plántulas de tomate, y 25% para la producción de plántulas de maíz dulce. Ya que la plántulas producidas tuvieron el mismo desarrollo que al ser producidas únicamente con peat moss. En cuanto al estimulador radicular, los resultados indican que es eficaz para el maíz dulce, mientras que para el tomate, las plántulas no mostraron diferencias significativas. En cuanto a las características físicas del sustrato, para producción de plántulas de tomate, la densidad aparente y porosidad del sustrato con 35% de peat moss sustituido, según los análisis físicos hechos, indican que sería de 0.4 gr/ml y 71% respectivamente. Para el sustrato con 25% de peat moss sustituido, la densidad y porosidad son de 0.25 gr/ml y 77% respectivamente. Además, al realizar la sustitución del peat moss, se produce un ahorro de Q400.00 por cada 20,000 plántulas de tomate, y Q450.00 por cada 42,000 plántulas de maíz dulce, cantidad de plántulas necesarias para sembrar una hectárea de terreno.

1. Introducción

A través del tiempo los sistemas de producción agrícola han tenido que desarrollar nuevas tecnologías para poder ser más eficientes en el uso de los recursos y obtener mayores rendimientos en las plantaciones. El uso de los pilones es una de tantas respuestas a estas necesidades de aumentar la productividad de las inversiones agrícolas. El área de San Jerónimo, Baja Verapaz, se caracteriza por ser una zona que reúne las características edáficas y climáticas necesarias para la producción de cultivos agrícolas anuales como tomate y maíz dulce. “Existen alrededor de 600 productores de tomate y 15 productores de maíz dulce en el área, se siembran 263 hectáreas de tomate y 26 hectáreas de maíz dulce al año” (11).

Entre las ventajas de los pilones están: menor cantidad de semillas utilizadas, plántulas de excelente calidad, sanas con buen desarrollo radicular y foliar, menor tiempo de siembra hasta la cosecha, fácil manejo de plántulas para el transplante y disminución de pérdida por transplante. La tecnología del pilón es importada, y entre sus desventajas esta el aumento de los costos de producción. El sustrato utilizado en las bandejas para la germinación de las semillas generalmente proviene de Canadá, es un sustrato a base de turba del musgo *Sphangum*, conocido como *Peat Moss*

En El Obrero se utiliza únicamente *Peat Moss* para producir plántulas de varios cultivos hortícolas anuales, entre ellos tomate y maíz dulce, el cual reúne las características necesarias para una buena germinación y enraizamiento de las mismas, pero por ser un producto importado mantiene la dependencia de los productores e impide bajar los costos de producción ni los precios de venta. En esta investigación, se evaluó el sustrato compuesto por una combinación de peat moss con una mezcla 1:1 de “mantillo” con arena blanca. Con el propósito de obtener plántulas de igual o mejor calidad que las plántulas producidas con *peat moss*. El “Mantillo”, es el suelo extraído de los bosques de la región, que por sus características es utilizado como sustrato en viveros y almácigos.

Además de las mezclas de los sustratos evaluados, se evaluó un fertilizante rico en fósforo, como estimulador radicular, que responde a la necesidad de producir plántulas de calidad, que satisfagan las necesidades de los productores. En la producción de plántulas, el crecimiento radicular y la salud vegetal son lo más importante, pero a un costo que sea accesible para los productores.

Tanto la evaluación de la sustitución parcial o total del *Peat Moss*, como la aplicación del fertilizante rico en fósforo, responden al deseo de proveer a los productores plántulas de buena calidad, con un excelente desarrollo radicular y al mejor precio a los productores de tomate y maíz dulce de la región.

Los resultados obtenidos indican que tanto para la producción de plántulas de Tomate como para Maíz dulce, bajo condiciones de invernadero en el municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz, es posible sustituir el peat moss por la mezcla 1:1 mantillo + arena blanca, en proporciones de 35 y 25% respectivamente. La aplicación de un fertilizante rico en fósforo como estimulador radicular, favoreció el desarrollo de plántulas de maíz dulce, mientras que para tomate, el efecto del mismo no presentó diferencias significativas.

2. Definición del Problema

El área de San Jerónimo, es una región que se caracteriza por la producción de varios cultivos anuales, entre ellos tomate y maíz dulce, para los cuales se ha generalizado el uso de pilones. El utilizar pilones favorece grandemente al productor, entre las ventajas esta el desarrollo radicular que lleva la plántula al momento del trasplante, disminución del estrés, la uniformidad de la plantación y la mejora del rendimiento comparado con la siembra directa o el trasplante con raíz expuesta. Pero debido al precio de los pilones, este sistema de siembra incrementa el costo de producción, y queda fuera del alcance de algunos productores.

Actualmente se utiliza como único sustrato para la producción de los pilones, un material importado principalmente de Canadá, que contiene turba de musgo Sphagnum, conocido como Peat Moss, y en la búsqueda de un sustituto que disminuya los costos, que sea de origen local, que mantenga o mejore la calidad de la plántula, se consideró evaluar la mezcla 1:1 mantillo con arena blanca.

La eficiencia con la que se utilizan los recursos y la eficacia de los mismos es muy importante en la actualidad, en donde la competitividad y los requerimientos de calidad por parte del consumidor son altos. Por eso fue necesario en este caso evaluar si la aplicación del fertilizante rico en fósforo favorece el desarrollo de las plántulas.

3. Marco Teórico

3.1 Marco conceptual

3.1.1 ¿Qué es un sustrato?

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (2).

Por lo tanto, bajo la denominación de sustrato pueden entrar diferentes formulaciones. Comercialmente existen diferentes presentaciones como: “Sustrato universal”, “Especial para plantas de interior”, “Especial para plantas de exterior”, “para cactus”, y otros (2).

3.1.2 Las propiedades de sustratos para plantas

3.1.2.1 Porosidad

La porosidad es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, y por tanto, lo estará por aire o agua en una cierta proporción. Su valor óptimo no debería ser inferior al 80-85 %, aunque sustratos de menor porosidad pueden ser usados ventajosamente en determinadas condiciones (2).

La porosidad debe ser abierta, pues la porosidad ocluida, al no estar en contacto con el espacio abierto, no sufre intercambio de fluidos con él y por tanto no sirve como almacén para la raíz. El menor peso del sustrato será el único efecto positivo. El espacio o volumen útil de un sustrato corresponderá a la porosidad abierta (2).

El grosor de los poros condiciona la aireación y retención de agua del sustrato. Mientras en unos son ocupados por el agua otros lo está por el aire. El equilibrio aire/agua es muy importante ya que influye en la frecuencia de riego (2).

3.1.2.2 Densidad

Hay dos formas de expresar la densidad de un sustrato. La densidad aparente, se define como la masa contenida en la unidad de volumen, incluyendo el volumen ocupado por los poros. La densidad real es la densidad de las partículas sólidas del sustrato (5).

3.1.2.3 Estructura

La estructura es otra de las propiedades de un sustrato y puede ser granular como la de la mayoría de los sustratos minerales o bien fibrilares. La primera no tiene forma estable, acoplándose fácilmente a la forma del contenedor, mientras que la segunda dependerá de las características de las fibras. Si son fijadas por algún tipo de material de cementación, conservan formas rígidas y no se adaptan al recipiente pero tienen cierta facilidad de cambio de volumen y consistencia cuando pasan de secas a mojadas (2).

3.1.2.4 Reactividad Química

La reactividad química es la transferencia de materia entre el sustrato y la solución nutritiva que alimenta las plantas a través de las raíces. Esta transferencia es recíproca entre sustrato y solución de nutrientes y puede ser debida a reacciones de distinta naturaleza (2):

a. Químicas

Se deben a la disolución e hidrólisis de los propios sustratos y pueden provocar:

a.1 Efectos fitotóxicos por liberación de iones.

a.2 Efectos carenciales debido a la hidrólisis alcalina de algunos sustratos que provoca un aumento del pH y la precipitación del fósforo y algunos microelementos.

a.3 Efectos osmóticos provocados por un exceso de sales solubles y el consiguiente descenso en la absorción de agua por la planta (2).

b. Físico-químicas

Son reacciones de intercambio de iones. Se dan en sustratos con contenidos en materia orgánica o los de origen arcilloso (arcilla expandida) es decir, aquellos en los que hay cierta capacidad de intercambio catiónico. Estas reacciones provocan modificaciones en el pH y en la composición química de la solución nutritiva por lo que el control de la nutrición de la planta se dificulta (2).

c. Bioquímicas

Son reacciones que producen la biodegradación de los materiales que componen el sustrato. Se producen sobre todo en materiales de origen orgánico, destruyendo la estructura y variando sus propiedades físicas. Esta biodegradación libera CO₂ y otros elementos minerales por destrucción de la materia orgánica (2).

3.1.2.5 Propiedades Biológicas

Cualquier actividad biológica en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas de partida. Generalmente disminuye su capacidad de aireación, pudiéndose producir asfixia radicular. Así las propiedades biológicas de un sustrato se pueden concretar en (2):

a. Velocidad de descomposición.

La velocidad de descomposición es función de la población microbiana y de las condiciones ambientales en las que se encuentre el sustrato. Esta puede provocar

deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición (2).

b. Efectos de los productos de descomposición.

Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos se atribuyen a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa. Una gran variedad de funciones vegetales se ven afectadas por su acción (2).

c. Actividad reguladora del crecimiento.

Es conocida la existencia de actividad auxínica en los extractos de muchos materiales orgánicos utilizados en los medios de cultivo (2).

3.1.3 Características del sustrato ideal

El mejor medio de cultivo depende de numerosos factores como el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas, etc.), especie vegetal, condiciones climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos, etc. Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plántulas, se requieren las siguientes características del medio de cultivo (2):

3.1.3.1 Propiedades físicas

- a. Elevada capacidad de retención de agua.
- b. Suficiente suministro de aire.
- c. Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones anteriores.
- d. Baja densidad aparente.

- e. Elevada porosidad.
- f. Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón del medio) (2).

3.1.3.2 Propiedades químicas

- a. Baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente.
- b. Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- c. Baja salinidad.
- d. Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.
- e. Mínima velocidad de descomposición (2).

3.1.3.3 otras propiedades

- a. Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas.
- b. Reproductividad y disponibilidad.
- c. Fácil de mezclar.
- d. Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- e. Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales (2).

3.1.4 Tipos de sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

3.1.4.1 Según sus propiedades

a. Sustratos químicamente inertes.

Arena granítica o silícea, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, y otros (2).

b. Sustratos químicamente activos.

Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, y otros (2).

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de almacenamiento de nutrientes. Los sustratos químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante. Los sustratos químicamente activos sirven de soporte a la planta pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización. Almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal (2).

3.1.4.2 Según el origen de los materiales

a. Materiales orgánicos:

a.1 De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas).

a.2 De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.) (2).

a.3 Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de

cereales, fibra de coco, orujo de uva, cortezas de árboles, aserrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.) (2).

b. Materiales inorgánicos o minerales:

b.1 De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.) (2).

b.2 Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.).

b.3 Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.).

3.1.5 Descripción general de algunas de las materias primas utilizadas en la elaboración de sustratos.

3.1.5.1 Materias primas naturales

a. Agua

Es común su empleo como portador de nutrientes, aunque también se puede emplear como sustrato (2).

b. Gravas

Suelen utilizarse las que poseen un diámetro entre 5 y 15 mm. Destacan las gravas de cuarzo, la piedra pómez y las que contienen menos de un 10% en carbonato cálcico. Su densidad aparente es de 1,500-1,800 Kg./m³. Poseen una buena estabilidad estructural, su

capacidad de retención del agua es baja si bien su porosidad es elevada (más del 40% del volumen). Su uso como sustrato puede durar varios años. Algunos tipos de gravas, como las de piedra pómez o de arena de río, deben lavarse antes de utilizarse. Existen algunas gravas sintéticas, como la herculita, obtenida por tratamiento térmico de pizarras (2).

c. Arenas

Las que proporcionan los mejores resultados son las arenas de río. Su granulometría más adecuada oscila entre 0.5 y 2 milímetros de diámetro. Su densidad aparente es similar a la grava. Su capacidad de retención del agua es media (20 % del peso y más del 35 % del volumen); su capacidad de aireación disminuye con el tiempo a causa de la compactación; su capacidad de intercambio catiónico es nula. Es relativamente frecuente que su contenido en caliza alcance el 8-10 %. Algunos tipos de arena deben lavarse previamente. Su pH varía entre 4 y 8. Su durabilidad es elevada. Es bastante frecuente su mezcla con turba, como sustrato de enraizamiento y de cultivo en contenedores. (2)

d. Tierra Volcánica

Son materiales de origen volcánico que se utilizan sin someterlos a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación. Están compuestos de sílice, alúmina y óxidos de hierro. También contiene calcio, magnesio, fósforo y algunos oligoelementos. Las granulometrías son muy variables al igual que sus propiedades físicas. El pH de las tierras volcánicas es ligeramente ácido con tendencias a la neutralidad. La capacidad de intercambio catiónico es tan baja que debe considerarse como nula. Destaca su buena aireación, la inercia química y la estabilidad de su estructura. Tiene una baja capacidad de retención de agua, el material es poco homogéneo y de difícil manejo (2).

e. Turbas

La turba es un material orgánico compacto, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Tiene propiedades físicas y químicas variables en función de su origen. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos (14).

La formación de la turba constituye la primera etapa del proceso por el que la vegetación se transforma en carbón mineral. Se forma como resultado de la putrefacción y carbonización parciales de la vegetación en el agua ácida de las turberas. La formación de una turbera es relativamente lenta como consecuencia de una escasa actividad microbiana, debida a la acidez del agua o la baja concentración de oxígeno. El paso de los años va produciendo una acumulación de turba que puede alcanzar varios metros de espesor, a un ritmo de crecimiento entre medio y diez centímetros cada cien años. La composición de la turba es la siguiente: carbono; 59%, hidrógeno: 6%, Oxígeno: 33% y nitrógeno 2% (14).

Hay varios tipos de turbas que se pueden clasificar en dos grupos: turbas rubias y negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas. Las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido de materia orgánica. A pesar que la turba en estado fresco alcanza el 98% de humedad, una vez desecada puede usarse como combustible. La turba también se usa en jardinería para mejorar suelos por su capacidad de retención de agua. Es más frecuente el uso de turbas rubias en cultivos sin suelo, debido a que las negras tienen una aireación deficiente y unos contenidos elevados de sales solubles. Las turbas rubias tienen un buen nivel de retención de agua y de aireación, pero son muy variables en cuanto a su composición ya que depende

de su origen. La inestabilidad de su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfieren en la nutrición vegetal, al presentar un pH que oscila entre 3.5 y 8.5. Se emplea en la producción ornamental y de plántulas hortícolas en semilleros (14).

f. Corteza de Pino

Se pueden emplear cortezas de diversas especies vegetales, aunque la más empleada es la de pino, que procede básicamente de la industria maderera. Las cortezas crudas pueden provocar problemas de deficiencia de nitrógeno y de fitotoxicidad. Las propiedades físicas dependen del tamaño de sus partículas, y se recomienda que el 20-40% de dichas partículas sean con un tamaño inferior a los 0.8 milímetros. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0.11 a 0.45 g/cm³. La porosidad total es superior al 80-85%, la capacidad de retención de agua es de baja a media, siendo su capacidad de aireación muy elevada. El pH varía de medianamente ácido a neutro. La Capacidad de intercambio catiónico es de 55 meq/100 g (2).

g. Fibra de Coco

Este producto se obtiene de fibras de coco. Tiene una capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, un pH ligeramente ácido (6.3-6.5) y una densidad aparente de 200 Kg./m³. Su porosidad es bastante buena y debe ser lavada antes de su uso debido al alto contenido de sales que posee (2).

3.1.5.2 Materias primas artificiales

a. Lana de Roca

Es un material obtenido a partir de la fundición industrial a más de 1600 °C de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y carbón de coke. Finalmente al producto obtenido se le da

una estructura fibrosa, se prensa, endurece y se corta en la forma deseada. En su composición química entran componentes como sílice y óxidos de aluminio, calcio, magnesio, hierro, etc. Es considerado como un sustrato inerte, con una Capacidad de intercambio catiónico casi nula y un pH ligeramente alcalino, fácil de controlar. Tiene una estructura homogénea, un buen equilibrio entre agua y aire, pero presenta una degradación de su estructura, lo que condiciona que su empleo no sobrepase los 3 años (2).

Es un material con una gran porosidad y que retiene mucha agua, pero muy débilmente, lo que condiciona una disposición muy horizontal de las tablas para que el agua se distribuya uniformemente por todo el sustrato (2).

b. Perlita

Material obtenido como consecuencia de un tratamiento térmico a unos 1.000-1.200 °C de una roca silíceo volcánica del grupo de las riolitas. Se presenta en partículas blancas cuyas dimensiones varían entre 1.5 y 6 milímetros, con una densidad baja, en general inferior a los 100 kg/m³. Posee una capacidad de retención de agua de hasta cinco veces su peso y una elevada porosidad; su Capacidad de intercambio catiónico es prácticamente nula (1.5-2.5 meq/100 g); su durabilidad está limitada al tipo de cultivo, pudiendo llegar a los 5-6 años. Su pH está cercano a la neutralidad (7-7.5) y se utiliza a veces, mezclada con otros sustratos como turba o arena (2).

c. Vermiculita

Se obtiene por la exfoliación de un tipo de micas sometido a temperaturas superiores a los 800 °C. Su densidad aparente es de 90 a 140 kg/m³, presentándose en escamas de 5-10 mm. Puede retener 350 litros de agua por metro cúbico y posee buena capacidad de aireación,

aunque con el tiempo tiende a compactarse. Posee una elevada Capacidad de intercambio catiónico. (80-120 meq/l). Puede contener hasta un 8% de potasio asimilable y hasta un 12% de magnesio asimilable. Su pH es próximo a la neutralidad 7-7.2 (2).

d. Arcilla expandida

Se obtiene tras el tratamiento de nódulos arcillosos a más de 100 °C, formándose como unas bolas de corteza dura y un diámetro, comprendido entre 2 y 10 mm. La densidad aparente es de 400 kg/m³ y posee una baja capacidad de retención de agua y una buena capacidad de aireación. Su capacidad de intercambio catiónico es prácticamente nula (2-5 meq/l). Su pH está comprendido entre 5 y 7. Con relativa frecuencia se mezcla con turba, para la elaboración de sustratos (2).

e. Poliestireno expandido

Es un plástico troceado en flóculos de 4-12 mm, de color blanco. Su densidad es muy baja, inferior a 50 Kg/m³. Posee poca capacidad de retención de agua y una buena posibilidad de aireación. Su pH es ligeramente superior a 6. Suele utilizarse mezclado con otros sustratos como la turba, para mejorar la capacidad de aireación (2).

3.1.6 Tecnología del pilón.

Millones de plántulas son producidas anualmente en invernaderos, bajo condiciones controladas, para optimizar la germinación y el crecimiento, lo cual ha sido el principal objetivo de la producción de pilones. Un pilón es una plántula producida en una porción de sustrato contenida en una pequeña celda. Un grupo de celdas esta contenido en una bandeja, y las bandejas pueden ser plásticas o de duroport, y pueden variar en el número de celdas, dependiendo de la plántula que se quiera producir (6).

El pilón tiene cuatro etapas de crecimiento (6).

- a. Emergencia de la radícula
- b. Apertura del cotiledón
- c. Crecimiento de las primeras 4 hojas
- d. Plántula con más de 4 hojas.

La producción de plántulas individuales, fue desarrollada en Estados Unidos y Europa en los años 70's. consiste en que las semillas de las hortalizas u otras plantas, se colocan en pequeñas celdas y luego son trasplantadas al campo. Esta técnica representa muchas ventajas, sin embargo, es necesario tener mayor capital para inversión (4).

Los pilones son plántulas producidas en bandejas, generalmente dentro de un invernadero. Los pilones son plántulas libres de plagas y enfermedades, listas para ser trasplantadas. Tienen la característica que se transportan con el sustrato (4).

3.1.6.1 Ventajas de la bandeja:

- a. Fácilmente apilables, reduciendo el volumen de almacenaje.
- b. Fácil de lavar y limpiar para reutilización, no quedan desechos.
- c. Más económicas que otras alternativas disponibles.
- d. El crecimiento de las raíces se detiene tan rápido como las raíces tocan la superficie interior de la bandeja, promoviendo la mejor formación de raíces que hace más fácil y productivo el transplante manual y mecánico de las plántulas de semillero.
- e. Las plántulas son uniformes al momento del transplante garantizando una buena población.
- f. Se optimiza el uso de la semilla (6).

3.1.6.2 Ventajas de la producción de plántulas en bandejas

- a. Menos cantidad de semillas utilizadas.
- b. Producción de plántulas de excelente calidad (sanas, con buen desarrollo foliar y radicular).
- c. Menor tiempo desde la siembra en el campo hasta la cosecha.
- d. Fácil manejo de las plántulas a la hora del transplante
- e. Disminución de pérdida de plántulas.
- f. No provoca daño a las raíces a la hora del transplante.
- g. Puede transplantarse a cualquier hora del día (4)

3.1.6.3 Desventajas de la producción o utilización de plántulas

- a. Costo de los pilones y la tecnología.
- b. Conocimientos técnicos para producción (2)

3.1.7 Características de los sustratos utilizados

3.1.7.1 Turba de musgo (*Peat Moss*)

La turba de Sphagnum es una planta que se acumula en las turberas pantanosas para formar una masa parecida al musgo: es el Sphagnum moss (ver cuadro 1). Se encuentra en un agua muy ácida, con un pH de 4.0 aproximadamente y poco oxigenada. Son plantas muy pequeñas y genéticamente muy primitivas. Una parte de la planta esta viva y otra esta muerta, la planta va creciendo y únicamente la parte superior, la parte inferior esta parcialmente muerta por la carencia de luz, esto no afecta a la planta en absoluto pues no tienen raíces ni un sistema vascular circulatorio como el resto de plantas, la nutrición de la parte viva de la planta es independiente de la parte muerta. Solo unos pocos centímetros de parte de arriba de la planta esta viva, la parte de abajo solo retiene grandes cantidades de agua , incrementando cada vez mas el nivel de agua que

las rodea, formando pantanos cuando su número es grande. Las células del sphagnum atrapan gran cantidad de nutrientes, más de los que necesitan dejando el agua que les rodea a un nivel de agua destilada, apenas sin nutrientes, absorben rápidamente gran cantidad de magnesio, calcio, etc. del agua de lluvia y mediante el intercambio celular dejan en el agua iones de hidrógeno, estos iones hacen que el agua que les rodea sea muy ácida, sobre un pH de un 3-4, haciendo de su entorno un medio ideal para ellos (muy pobre y ácido) pero muy intransigente para el resto de plantas (13).

La turba de sphagnum se va formando poco a poco. Hay como unos 170 tipos de sphagnum y cada uno tiene un crecimiento diferente. Hay algunos que crecen en verano alrededor de 40 cm. y otros apenas unos milímetros al año pero lo normal son alrededor de unos pocos centímetros. Este crecimiento hace que se vayan acumulando año tras año grandes cantidades de musgo, lo normal son turberas de varios metros. Esta es una de las diferencias (que no la única) del resto de musgos que crecen en las rocas, estos forman turberas de musgo (peat-moss) que son las que se utilizan para cierto tipo de agricultura. La parte de abajo del musgo se descompone parcialmente conservado parte de su morfología pero sobre todo su característica especial es la gran cantidad de agua que puede acumular en su organismo, hasta 20 veces su propio peso.

La turba es una acumulación de plantas parcialmente descompuestas, a diferencia del resto de turbas, la de sphagnum se puede identificar aunque hayan pasado miles de años. El resto de plantas también producen turba cuando se descomponen pero la de Sphagnum es la única que se puede encontrar hasta a 10 metros de profundidad, su altísimo contenido en agua ácida y falta de oxígeno hace que no se descomponga tan rápidamente como el resto y que prácticamente sea estéril de bacterias y microorganismos (13).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del musgo Sphagnum.

Reino	Plantae
División	Briofita
Clase	Briopsida
Subclase	Sphagnidae
Orden	Sphagnales
Familia	Sphagnaceae
Género	Sphagnum

El *Peat Moss* que se utilizó es el Germinating Mix 3 (ver figura 1) de la casa comercial canadiense Sungro, es una mezcla para germinación donde se requiera buena retención de humedad (ver cuadro 2). Contiene turba de musgo de Sphagnum Canadiense de grado fino, Vermiculita, Perlita fina, carga de fertilizante (con elementos mayores y oligoelementos, agente humectante y carbonatos de dolomita para ajustar el pH entre 5.0 y 5.5. Esta mezcla se recomienda para germinación de semillas y producción de transplantes en bandejas con cavidades pequeñas (200 cavidades por bandeja o menos). Esta mezcla se recomienda para la mayoría de especies hortícolas.



Figura 1. Peat moss utilizado, casa comercial Sungro.

Cuadro 2. Componentes del Peat moss.

Porcentaje	Material
55%	Turba canadiense de musgo de sphagnum (fino)
25%	Perlita (fina)
20%	Vermiculita
5%	Fertilizante iniciador y agente humectante.

3.1.7.2 Sustrato alternativo

El sustrato a evaluar se conoce en el área de Salamá y San Jerónimo como “Mantillo”, y es un material que se puede conseguir en cantidad suficiente en cualquier época del año. Este material es originario de los bosques de la región, y es utilizado por viveristas de la región, entre ellos el almácigo de frutales del INAB de San Jerónimo (11).

El análisis de las características físicas realizado para el “Mantillo” en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas y Agua de ANACAFÉ, dio los siguientes resultados (ver cuadro 3):

Cuadro 3. Características físicas del “mantillo”.

Elemento	“Mantillo”
Densidad aparente	0.83 gr / cc
Densidad de partículas	0.91 gr / cc
Porosidad	8.79 %
Ceniza	79 %

Debido a que las características del sustrato alternativo, indican evidentemente que es un sustrato muy pesado y de muy poca porosidad, se tomó la decisión de agregarle 50% en volumen de arena blanca (ver figura 2) cernida con un cedazo, cuya abertura cuadrangular es de 0.006 metros (6 mm).



Figura 2. Mantillo y arena blanca.

Al haber realizado las mezclas de los sustratos a utilizar, se realizó un análisis de las características físicas (ver cuadro 4) de los mismos, en el laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala..

Cuadro 4. Características físicas de las mezclas de los sustratos evaluados.

% de sustituido con Mantillo + Arena Blanca	Densidad real	Densidad aparente	% de porosidad	Materia Orgánica
0 % (peat moss)	1.20	0.18	85.11 %	44.57
25%	1.11	0.25	77.20 %	23.88
50%	1.36	0.53	60.91 %	18.08
75%	1.67	0.71	57.14 %	13.56
100%	1.54	0.82	46.93 %	11.41

3.1.8 Características del estimulador radicular

Raizal 400

El contenido del producto a utilizar (ver cuadro 5) como estimulador radicular es el siguiente.

Este producto es actualmente utilizado por la empresa Pilonés El Obrero.

Cuadro 5. Componentes del Raizal 400.

Componente	%
Nitrógeno total (N)	9.00%
Fósforo disponible (P₂O₅)	45.00%
Potasio (K ₂ O)	11.00%
Magnesio (Mg)	0.60%
Azufre	0.80%
Fitohormonas	0.04%

3.1.9 El fósforo en la planta

El fósforo forma parte de todos los tejidos de la planta, en una proporción cuyo valor medio puede situarse entre el 0.5 y 1.0% de la materia seca (expresada esa proporción en P₂O₅). Es un elemento plástico y también catalítico, puesto que es un constituyente de muchas coenzimas. Participa ampliamente en la construcción de los compuestos encargados del transporte y almacenamiento de la energía precisa para realizar procesos vitales. Al igual que el nitrógeno, es un elemento que interviene prácticamente en todos los procesos importantes del metabolismo (5).

Las plantas absorben la mayor parte del fósforo bajo la forma de PO₄H₂⁻, y en menor proporción, bajo la forma de PO₄H⁻². En pequeñas cantidades también se puede absorber en forma de fosfatos orgánicos solubles (5).

Dado que el fósforo interviene en los procesos de crecimiento y síntesis de los componentes de las plantas, su deficiencia ocasiona un desarrollo débil, tanto del sistema radical como de la parte aérea. Las hojas son de menor tamaño que en circunstancias normales, con los nervios poco pronunciados y coloración anormal: tonalidad azul verdosa oscura con tintes bronceados o púrpuras. Las hojas más viejas son la que presentan mayores síntomas de deficiencia, debido a que este elemento se mueve con rapidez dentro de la planta y emigra desde las hojas más viejas a las más jóvenes. La madurez del fruto

se retrasa y disminuye el rendimiento de la cosecha. Aquellas cosechas que se recolectan por su semilla reducen su rendimiento drásticamente (5).

Las alteraciones por exceso no suelen darse en la práctica. Únicamente en caso de aportaciones masivas y reiteradas de fertilizantes fosfóricos se pueden presentar deficiencias de hierro, por insolubilidad de este último elemento en el suelo (5).

3.1.10 Fitohormonas

El desarrollo normal de una planta depende de la interacción de factores externos: luz, nutrientes, agua y temperatura, entre otros, e internos: hormonas (7).

Las [hormonas](#) se han definido como compuestos naturales que poseen la propiedad de regular procesos fisiológicos en concentraciones muy por debajo de la de otros compuestos (nutrientes, vitaminas) y que en dosis más altas los afectarían (7).

Regulan [procesos de correlación](#), es decir que, recibido el estímulo en un órgano, lo amplifican, traducen y generan una respuesta en otra parte de la planta (7).

Interactúan entre ellas por distintos mecanismos:

- a. Sinergismo: la acción de una determinada sustancia se ve favorecida por la presencia de otra.
- b. Antagonismo: la presencia de una sustancia evita la acción de otra.
- c. Balance cuantitativo: la acción de una determinada sustancia depende de la concentración de otra

Tienen además, dos características distintivas de las hormonas animales, a) ejercen efectos [pleiotrópicos](#), actuando en numerosos procesos fisiológicos y b) su síntesis no se relaciona con una glándula, sino que están presentes en casi todas las células y existe una variación cuali y cuantitativa

según los órganos. Las hormonas y las [enzimas](#) cumplen funciones de control químico en los organismos multicelulares (7).

Las fitohormonas pueden promover o inhibir determinados procesos. Dentro de las que promueven una respuesta existen 4 grupos principales de compuestos que ocurren en forma natural, cada uno de los cuales exhibe fuertes propiedades de regulación del crecimiento en plantas. Se incluyen grupos principales: auxinas, giberelinas, citocininas y etileno (7).

Dentro de las que inhiben: el ácido abscísico, los inhibidores, morfictinas y retardantes del crecimiento, Cada uno con su estructura particular y activos a muy bajas concentraciones dentro de la planta (7).

3.1.10.1 Auxinas

El nombre auxina significa en griego 'crecer' y es dado a un grupo de compuestos que estimulan la elongación de las células. El ácido indolacético (AIA) es la forma natural predominante, actualmente se sabe que también son naturales (7):

- a. el IBA (ácido indol butírico),
- b. ácido feniácético,
- c. el ácido 4 cloroindolacético y
- d. el ácido indol propiónico (IPA),

Existe gran cantidad de auxinas sintéticas siendo las más conocidas:

- a. ANA (ácido naftalenacético),
- b. IBA (ácido indolbutírico),
- c. 2,4-D (ácido 2,4 diclorofenoxiacético),
- d. NOA (ácido naftoxiacético)

- e. 2,4-DB (ácido 2,4 diclorofenoxibutilico)
- f. 2,4,5,-T (ácido 2,4,5 triclorofenoxiacético)

a. Biosíntesis

Aunque las auxinas se encuentran en toda la planta, las concentraciones más altas se localizan en las regiones meristemáticas, las cuales están en crecimiento activo, siendo éste el sitio de síntesis. Su síntesis puede derivar del triptofano, que por transaminación y descarboxilación da origen al AIA o de la triptamina por oxidación (7).

Se le encuentra tanto como molécula libre que es la forma activa o en formas conjugadas (con proteínas solubles), inactivas. La forma conjugada es la forma de transporte, de almacenamiento en semillas en reposo, y de evitar la oxidación por acción de la AIA oxidasa. Este proceso de conjugación parece ser reversible (7).

La concentración de auxina libre en plantas varía de 1 a 100 µg/kg peso fresco. En contraste, la concentración de auxina conjugada ha sido demostrada en ocasiones que es sustancialmente más elevada (7).

b. Traslado

Una característica sorprendente de la auxina es la fuerte polaridad exhibida en su transporte a través de la planta. La auxina es transportada por medio del parénquima que rodea los haces vasculares, sin penetrar en los tubos cribosos. Su movimiento es lento y basipéto, alejándose desde el punto apical de la planta hacia su base, aún en la raíz, y requiere energía. Este flujo de auxina reprime el desarrollo de brotes axilares laterales a lo largo del tallo, manteniendo de esta forma la dominancia apical. El movimiento de la auxina fuera de la lámina foliar hacia la base del pecíolo parece también prevenir la abscisión. Las auxinas

asperjadas sobre las hojas, en concentraciones bajas, pueden ser absorbidas, penetran en los elementos cribosos, pero posteriormente se trasladan al parénquima vascular, las auxinas sintéticas, aplicadas en altas concentraciones, se trasladan por floema, junto a los fotoasimilados (7).

c. Modo de Acción

Existe acuerdo en que las auxinas actúan a nivel génico al no reprimir o reprimir la expresión de los genes. El AIA se liga a un receptor de naturaleza proteica, formando un complejo receptor-hormona de carácter reversible, específico, con alta afinidad y saturable. Este complejo activa un promotor que controla la expresión de los genes que codifican la síntesis de las enzimas catalizadoras de los compuestos de la pared (7).

El efecto inicial preciso de la hormona que subsecuentemente regula este arreglo diverso de eventos fisiológicos no es aún conocido. Durante la elongación celular inducida por la auxina se piensa que actúa por medio de un efecto rápido sobre el mecanismo de la bomba de protones ATPasa en la membrana plasmática, y un efecto secundario mediado por la síntesis de [enzimas](#) (7).

d. Efectos Fisiológicos

La acción fisiológica de las auxinas puede resumirse como (7):

- a. Actúan en la Mitosis.
- b. Alargamiento celular.
- c. Formación de raíces adventicias.
- d. Dominancia Apical
- e. Herbicida

- f. [Partenocarpia](#)
- g. Gravitropismo
- h. Diferenciación de xilema
- i. Regeneración del tejido vascular en tejidos dañados
- j. Inhibición del crecimiento radical en concentraciones bajas
- k. Floración,
- l. [Senectud](#),
- m. [Geotropismo](#),
- n. Retardan la caída de hojas, flores y frutos jóvenes
- o. [Dominancia apical](#)

3.1.11 Tomate

3.1.11.1 Origen

El origen del género *Lycopersicum* (ver cuadro 6) se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecería como mala hierba entre los huertos. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero por entonces ya habían sido llevados a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá (9).

Cuadro 6. Clasificación taxonómica del tomate.

Reino	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Lycopersicum
Especie	L. esculentum

3.1.11.2 Morfología del tomate

a. Tallo principal

Oscila entre 2-4 cm. en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (9).

b. Hoja

Compuesta e imparipinada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal (9).

c. Flor

Es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racemoso (dicasio), generalmente en número de 3 a 10; es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del cortex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (9).

d. -Fruto

Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo, o bien puede separarse por la zona peduncular de unión al fruto (9).

3.1.11.3 Requerimientos edafoclimáticos

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno de estos incide sobre el resto (9).

a. Temperatura:

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 1 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35°C afectan a la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta (9).

A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas (9).

b. Humedad:

La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (9).

c. Luminosidad

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (9).

d. Suelo

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego (9).

3.1.12 Maíz Dulce

3.1.12.1 Descripción general del cultivo

El maíz (ver cuadro 7) Es un cultivo anual, originario de América, específicamente de la parte central de México y de la cordillera de Los Andes en Perú y Bolivia. Se ha adaptado a gran variedad de condiciones climáticas, que van de climas tropicales a climas fríos de alturas de 0 a 3000 metros sobre el nivel del mar. Es una planta monoica de polinización cruzada, tiene separadas las flores femeninas y masculinas. La inflorescencia masculina estaminada, llamada espiga, aparece en el extremo del tallo primario; las mazorcas o inflorescencias femeninas pistiladas, están ubicadas en la porción basal de las hojas que envuelven el tallo, una planta produce entre 1 a 2 mazorcas y en ocasiones hasta tres (11).

Cuadro 7. Clasificación taxonómica del maíz dulce.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Andropogoneae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Z. mays</i>

En el caso del maíz dulce (*Zea mays* Var. *rugosa*), la floración masculina se presenta de los 48 a los 54 días, y la espiga tiene como función principal producir grandes cantidades de polen para fecundar las flores femeninas o jilotes, que al desarrollar, se convierten en los elotes (estado lechoso) o mazorcas cuando llegan a su madures fisiológica (11).

Las primeras raíces en estado de plántula son las seminales y sirven para su afianzamiento y la absorción de agua y nutrientes. Luego surgen las raíces principales, encima de las raíces seminales. La altura de la planta de maíz dulce es de 1.63 a 2.20 metros (3).

Los elotes de maíz dulce para consumo como verdura fresca, se cosechan en estado lechoso entre los 68 a los 74 días después de la siembra, su tamaño no debe ser mayor de 7 pulgadas, con líneas rectas totalmente llenas de granos sin daños de ninguna naturaleza y libres de insectos. La mejor época de siembra es al inicio de la temporada de lluvias (mayo a julio); sin embargo con riego pueden obtenerse buenos rendimientos y calidad en verano (3).

3.1.12.2 Aspectos agroecológicos ideales

a. Clima

Se adapta a regiones de clima cálido durante el día y noches con temperaturas bajas .
(20-24 °C) (3).

b. Suelo

Franco arenoso, franco limoso, sueltos, con buen contenido de materia orgánica y ligeros. pH: De 5.5 a 6.5; sin embargo, tolera rangos de pH de 5.0 a 7.0 (3).

c. Precipitación pluvial

440 a 600 mm desde la siembra a la formación del elote (3).

d. Altitud

0 a 1000 metros sobre el nivel del mar (3).

e. Pendientes del terreno

De 0 a 25% (3).

f. Temperatura y humedad relativa

De 15 a 30 °C, y de 50 a 70% de humedad (3).

3.2 Marco Referencial

3.2.1 San Jerónimo, Baja Verapaz

El municipio de San Jerónimo Departamento de Baja Verapaz, de conformidad con el Código Municipal, es considerado el Municipio como de Cuarta Categoría, situado a 15°, 03' y 40" latitud Norte y 90°, 14', 25" longitud Oeste, y esta a una elevación de 940 metros sobre el nivel del mar, tiene un clima agradable (ver cuadro 8), colinda al norte con el municipio de Salamá, al sur con el municipio de Morazán el Progreso, al Este colinda con los Municipios de San Agustín Acasaguastlán y Morazán

del Departamento de El Progreso, y al lado Poniente colinda con el Municipio de Salamá. Distancia de la ciudad capital Guatemala de 151 Kms. Con una extensión de 474 Kilómetros cuadrados, cuenta con 2 Barrios en el Área Urbana, 18 Aldeas y 13 Caseríos, su topografía es netamente quebrada (10).

Cuadro 8. Características climáticas de San Jerónimo, Baja Verapaz.

Temperatura media	21° C.
Temperatura máxima promedio	29° C.
Temperatura mínima promedio	15° C.
Precipitación anual	900 mm.
Días de lluvia promedio anual	105
Humedad relativa promedio	75%

Actualmente, el censo de población del 2,002 (ver cuadro 9) reporta los siguientes datos de población para el departamento de Baja Verapaz (8):

Cuadro 9. Población del departamento de Baja Verapaz.

Baja Verapaz	Población
Salamá	47,274
San Miguel Chicaj	23,201
Rabinal	31,168
Cubulco	43,639
Granados	11,338
El Chol	8,460
San Jerónimo	17,469
Purulhá	33,366

3.2.2 Sitio Experimental

La empresa Pilonos “El Obrero” se encuentra en la cabecera del municipio (ver figura 4) cuenta con 3 invernaderos de 20 metros de largo por 5 metros de ancho cada uno (ver figura 3).



Figura 3. Vista interior del invernadero.

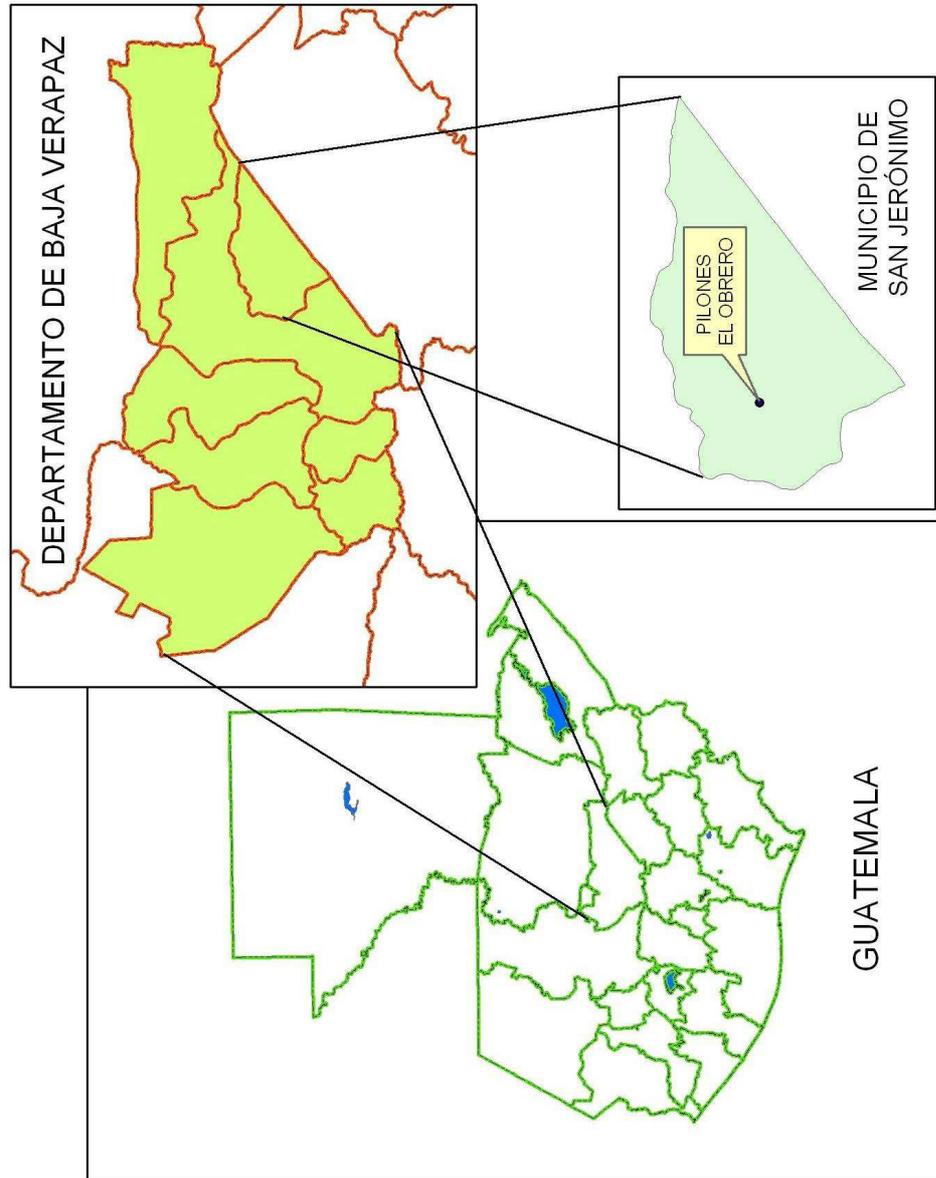


Figura 4. Ubicación de Pilonos El Obrero.

4. Objetivos

4.1 Evaluar el efecto de la sustitución *peat moss* con una mezcla en proporción “1:1 de Mantillo con arena blanca” y la aplicación de un estimulador radicular, sobre el desarrollo radicular y foliar de pilones de maíz dulce y tomate.

4.2 Evaluar el efecto de la interacción entre el sustrato y el estimulador radicular sobre el desarrollo radicular y foliar de pilones de maíz dulce y tomate.

5. Hipótesis

No existe diferencia significativa en el peso seco radicular, peso seco foliar, altura de plántula o diámetro del tallo, de los pilones de maíz dulce, por causa de la sustitución parcial o total, (0, 25, 50, 75 o 100%) de *peat moss* como sustrato, de la aplicación de estimulador radicular o de la interacción entre el sustrato y el estimulador radicular.

No existe diferencia significativa en el peso seco radicular, peso seco foliar, altura de plántula o diámetro del tallo, de los pilones de tomate, por causa de la sustitución parcial o total, (0, 25, 50, 75 o 100%) de *peat moss* como sustrato, de la aplicación de un estimulador radicular, o de la interacción entre el sustrato y el estimulador radicular.

6. Metodología

6.1 Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en la empresa “Pilonos El Obrero”, San Jerónimo, Baja Verapaz. El tiempo de producción de los pilones de maíz dulce, es de 14 días, mientras que el tiempo para producir pilones de tomate es de 35 días.

6.2 Tratamientos

Los tratamientos que se evaluaron (ver cuadro 10) son los derivados de la combinación de los porcentajes de sustitución del *peat moss* con la mezcla en proporción 1:1 de “mantillo con arena blanca”. Las proporciones que se evaluaron fueron: 0, 25, 50, 75 y 100%.

En complemento a los porcentajes de sustitución se evaluó la aplicación del fertilizante rico fósforo como estimulador radicular a los pilones. También se detalla el costo de los tratamientos (ver cuadros 11, 12 y 13)

Cuadro 10. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Factor A		Factor B
	Turba de Musgo	Sustrato propuesto 1:1 “Mantillo + arena blanca”	aplicación de Raizal 400
A ₁ B ₁	100 %	0 %	Con
A ₂ B ₁	75 %	25 %	
A ₃ B ₁	50%	50 %	
A ₄ B ₁	25 %	75 %	
A ₅ B ₁	0 %	100 %	
A ₁ B ₂	100 %	0 %	Sin
A ₂ B ₂	75 %	25 %	
A ₃ B ₂	50%	50 %	
A ₄ B ₂	25 %	75 %	
A ₅ B ₂	0 %	100 %	

Cuadro 11. Costo por metro cúbico de los materiales y mano de obra.

Material	costo por metro cúbico	bandejas llenas por metro cúbico	Costo por bandeja	relación porcentual con el peat moss
peat moss	Q 2,200.00	275	Q 8.00	100
Mantillo	Q 300.00	275	Q 1.09	14
arena blanca	Q 250.00	275	Q 0.91	11
mantillo + arena blanca	Q 475.00	275	Q 1.73	22
mano de obra preparación de sustrato	Q 200.00			

Cuadro 12. Costo de la aplicación del estimulador radicular.

material	costo 1 kg	bandejas aplicadas por kg	costo por bandeja
Raizal 400	45	200	Q 0.23
Mano de obra aplicación	15	200	Q 0.075
		total	Q 0.30

Cuadro 13. Costo por bandeja de los tratamientos.

Tratamiento	Factor A		Factor B	COSTO DEL TRATAMIENTO POR BANDEJA
	Turba de Musgo	Sustrato propuesto 1:1 "Mantillo + arena blanca"	aplicación de enraizal	
A ₁ B ₁	100%	0%	Con	Q 8.30
A ₂ B ₁	75%	25%		Q 6.73
A ₃ B ₁	50%	50%		Q 5.17
A ₄ B ₁	25%	75%		Q 3.60
A ₅ B ₁	0%	100%		Q 2.03
A ₁ B ₂	100%	0%	Sin	Q 8.00
A ₂ B ₂	75%	25%		Q 6.43
A ₃ B ₂	50%	50%		Q 4.87
A ₄ B ₂	25%	75%		Q 3.30
A ₅ B ₂	0%	100%		Q 1.73

Los diez tratamientos se evaluaron en la producción de plántulas de tomate y maíz dulce.

6.3 Unidad experimental

La unidad experimental utilizada consistió en una bandeja de plástico de 105 celdas (ver figura 5), de las cuales se seleccionó una muestra aleatoria de 10 plántulas para la toma de datos (1).

La dimensión de la bandeja a utilizar es de 54.4 x 28.2 centímetros, y sus características son (ver cuadro 14):

Cuadro 14. Características de la bandeja utilizada.

Tipo	Config. Celda	Profundidad mm.	Diámetro Superior mm.	Diámetro Inferior mm.	Volumen de Celda cc.
105 cavidades	7*15	48	32	18	32



Figura 5. Bandeja utilizada.

6.4 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un Completamente al azar con arreglo bifactorial con diez tratamientos, con una estructura factorial 5*2 y cuatro repeticiones, para dos cultivos, con un total de 40 unidades experimentales por cultivo (1).

6.5. Manejo del experimento

6.5.1 Preparación de sustratos

Se realizaron las mezclas de turba de musgo con “mantillo + arena blanca 50/50”, en las proporciones que señalan los tratamientos, para llenar las 40 bandejas que corresponden a las 4 repeticiones de los 10 tratamientos. Los porcentajes de las mezclas de sustratos en los tratamientos se realizaron en base a volumen, utilizando una cubeta. Para realizar las mezclas de los sustratos se colocó un plástico en el suelo para evitar que los sustratos se mezclaran con otro tipo de materia.

6.5.2 Remojo del sustrato

Se remojó las mezclas de sustrato elaboradas hasta que la humedad fuera homogénea, para que favoreciera la germinación uniforme de la semilla (humedad tal que al apretar la mezcla, no debía escurrir agua).

6.5.3 Desinfección de sustratos

Se realizó a las bandejas ya llenas con las diferentes mezclas de sustrato, una aplicación con una mezcla de piretroide + carbamato + benzimidazol. Para evitar presencia de insectos y de hongos.

6.5.4 Siembra

La semilla se colocó en el centro de la celda; a una profundidad de 0.5 cm para el tomate, y 1.5 cm de profundidad para el maíz dulce. La siembra se realizó manualmente, por el personal que labora en el invernadero (ver figura 6).



Figura 6. Siembra de semilla.

6.5.5 Riego

El riego estuvo a cargo del personal que labora en el invernadero, se realizaba una inspección de la humedad en la mañana, y una por la tarde, y dependiendo de la humedad presente se aplicaba riego.

6.5.6 Cubrimiento de las bandejas

Esta práctica muy importante porque evitó el contacto directo de las gotas del agua de riego sobre el sustrato (ver figura 7), evitando que en algún momento quedara expuesta la semilla. La cobertura se colocó inmediatamente después de la siembra de la semilla, hasta que germinó la semilla. Para tal efecto se utilizó una tela tipo malla, con aberturas de 1 * 1 milímetros.



Figura 7. Bandejas cubiertas.

6.5.7 Fertilización

La fertilización se realizó con nitrato de potasio y con nitrato de magnesio, a razón de 2 libras por cada 10,000 pilones. Esta práctica se realizó únicamente en el cultivo de tomate.

6.6 Variables de respuesta

- a. Biomasa del sistema radicular (gr): Se obtuvo por medio del peso seco de la raíz de las plántulas listas para trasplante, después de secar el material de raíz a 65°C, durante 48 horas.
- b. Biomasa de la parte aérea de la plántula (gr): Se obtuvo por medio del peso seco de las plántulas listas para trasplante, después de secar el material de hojas y tallo a 65°C, durante 48 horas.
- c. Altura de la plántula (cm): Se midió la altura de la plántula desde la base del tallo o cuello hasta el meristemo apical de la misma, en el momento de estar listo para su transplante.
- d. Diámetro del tallo (mm): Se midió el diámetro de la base del tallo de la plántula, en el momento de estar listo el pilón para transplante.

6.7 Análisis de la información

Para el análisis de la información se tomaron 10 plántulas por bandeja o unidad experimental, de las cuatro repeticiones de cada tratamiento.

6.7.1 Análisis estadístico

6.7.1.1 Modelo estadístico

Debido a que el diseño que se utilizó es un completamente al azar con arreglo bifactorial, el modelo estadístico para la realización del análisis de varianza es el siguiente (1):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = variable de respuesta de la ij-esima unidad experimental

μ = media general

α_i = efecto de la i-ésimo porcentaje de sustitución de *Peat moss*

β_j = efecto de j-ésimo dosis de estimulador radicular

$\alpha\beta_{ij}$ = interacción entre porcentaje de sustitución de *Peat Moss* y número de aplicaciones.

ε_{ij} = error experimental asociado a la ij-esima unidad experimental.

6.7.1.2 Análisis postandeva

Si el análisis de varianza mostró que hay efecto significativo para alguna de las variables o la interacción, se realizó un análisis de regresión o una comparación de medias de Tukey.

7. Resultados y discusión

7.1 Tomate

7.1.1 Altura de plántula

Para la altura de las plántulas de tomate, el análisis de varianza (ver cuadro 15) indica que hay diferencia significativa en las combinaciones de sustratos evaluadas, y en la aplicación de estimulador radicular, mientras que para la interacción entre sustratos y estimulador radicular, no hay diferencia significativa. En base al resultado obtenido (ver cuadro 16), se procedió a realizar un análisis de regresión (ver figura 8) para determinar que % de *Peat Moss* es el óptimo a sustituir. Con la aplicación de estimulador radicular se obtiene significativamente menor altura (ver cuadro 17), pero esta diferencia desde el punto de vista práctico carece de sentido, ya que los resultados de la variable peso seco de hojas (ver cuadro 22), el análisis de varianza para esa variable indica que no hay diferencia significativa para la aplicación del estimulador radicular.

Cuadro 15. Tomate. Análisis de Varianza para variable altura.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustratos	4	165.153	41.288	90.649	2.63E-16
Estimulador radicular	1	19.678	19.678	43.203	2.85E-07
Interacción sustratos * estimulador radicular	4	0.432	0.108	0.237	0.914
Error experimental	30	13.664	0.455		
Total	39	198.928			

Cuadro 16. Tomate. Datos de los valores medios de altura de plántula, para el análisis de regresión.

<i>% de sustitución de peat moss</i>	<i>MEDIA DE ALTURA</i>
0% Mantillo	20.23
25% Mantillo	22.28
50% Mantillo	21.15
75% Mantillo	19.26
100% Mantillo	16.31

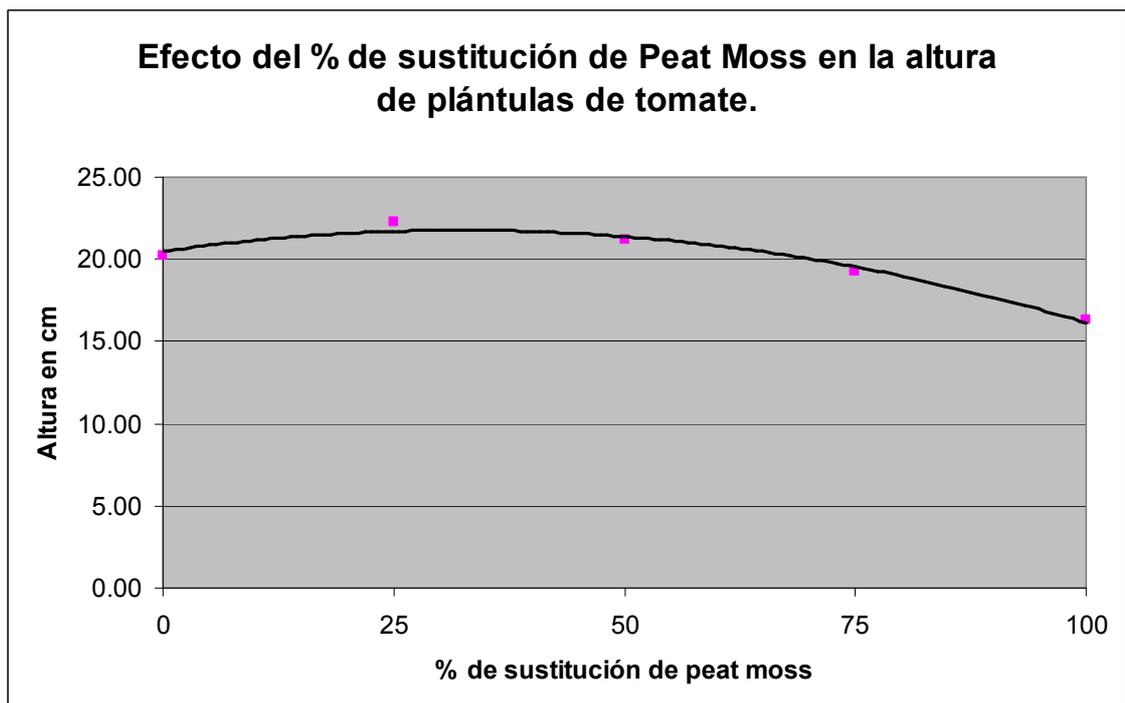


Figura 8. Tomate. Efecto del % de sustitución de peat moss en la altura de plántulas.

El análisis de regresión nos da la siguiente estimación con un valor $R^2 = 0.9732$, lo cual indica que es un modelo muy confiable.

$$\text{Altura} = -0.0012x^2 + 0.0797x + 20.478$$

Siendo “x” el porcentaje de *peat moss* a sustituir, al obtener la primera derivada de dicho modelo, e igualarla a cero, nos indica que el porcentaje de sustitución ideal para favorecer la altura de plántula es de 33.

Cuadro 17. Tomate. Promedios de la altura de plántula de tomate para el efecto del estimulador radicular.

ESTIMULADOR RADICULAR	Promedio
NO APLICACIÓN	20.55
APLICACIÓN	19.14

Las medias indican (ver figura 9) que la altura se ve favorecida por la “no aplicación” de estimulador radicular, pero esta diferencia es mínima y no se ve reflejada en el peso seco de las hojas..

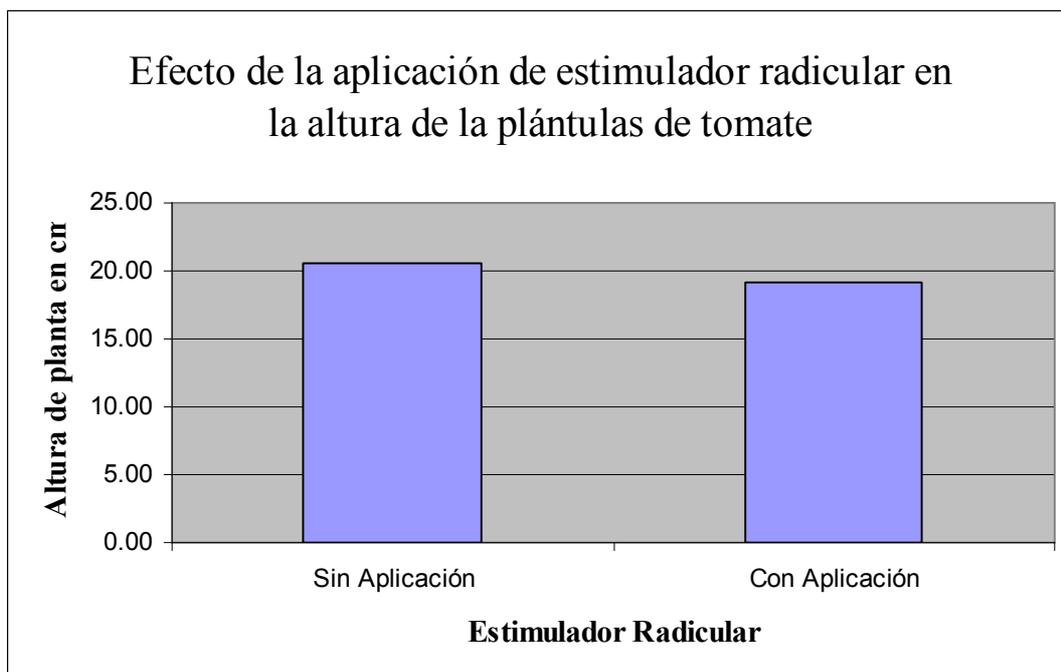


Figura 9. Tomate. Efecto de la aplicación de estimulador radicular en la altura de plántula.

7.1.2 Diámetro del tallo

El análisis de varianza del diámetro de tallo (ver cuadro 18), indica que existe diferencia significativa para la interacción entre el % de sustitución de *Peat Moss* y la aplicación de estimulador radicular. Para dichos resultados (ver figura 10) Se realizó una comparación de medias de Tuyek (ver cuadro 19).

Cuadro 18. Tomate. Análisis de varianza para el diámetro del tallo

<i>Fuente de variación</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustratos	4	153.589	38.397	20.952	2.48E-08
Estimulador radicular	1	13.829	13.829	7.546	0.010
Interacción sustratos * estimulador radicular	4	27.900	6.975	3.806	0.012
Error experimental	30	54.978	1.832		
Total	39	250.297			

Cuadro 19. Tomate. Comparación de medias de Tukey para diámetro del tallo. Interacción entre sustrato y estimulador radicular.

Tratamiento			Promedio de diámetro	1	2	3
% peat moss	% Mantillo	Estimulador radicular				
75	25	Con	3.03	a		
75	25	Sin	2.95	a	b	
100	0	Con	2.89	a	b	
100	0	Sin	2.88	a	b	
50	50	Con	2.80	a	b	
25	75	Sin	2.80	a	b	
25	75	Con	2.80	a	b	
50	50	Sin	2.75	a	b	
0	100	Con	2.63		b	
0	100	Sin	2.19			c

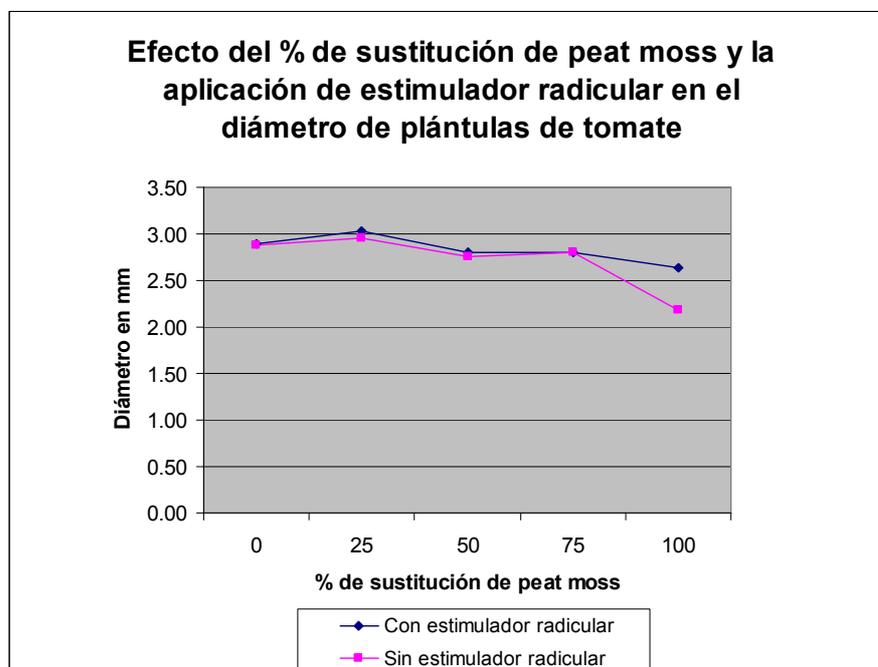


Figura 10. Tomate. Interacción entre el % de sustitución y el fertilizante en el diámetro del tallo.

En la comparación de medias del diámetro del tallo, para la interacción entre los sustratos y la dosis de estimulador radicular, el mejor tratamiento es con 25% de *peat moss* sustituido con aplicación de estimulador radicular.

7.1.3 Peso seco de raíz

El análisis de varianza (ver cuadro 20) indica que existe diferencia significativa en el peso seco de la raíz, por el efecto del porcentaje de *peat moss* sustituido. En base a lo anterior, se utilizaron los valores promedio (ver cuadro 21), y se procedió a realizar un análisis de regresión para determinar el % de sustitución óptimo.

Cuadro 20. Tomate. Análisis de varianza para peso seco de raíz

<i>Fuente de variación</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustratos	4	0.00645	0.00161	6.64958	0.00058
Estimulador radicular	1	1.1044E-05	1.1044E-05	0.04551	0.83251
Interacción sustratos – estimulador radicular	4	0.00054	0.00013	0.56148	0.69236
Error experimental	30	0.00728	0.00024		
Total	39	0.01429			

Cuadro 21. Tomate. Promedio del peso seco de raíz. Efecto del sustrato.

<i>% DE SUSTITUCIÓN DE PEAT MOSS</i>	<i>PROMEDIO DE PESO SECO DE RAÍZ EN GRAMOS</i>
0% Mantillo	0.05889
25% Mantillo	0.07986
50% Mantillo	0.06945
75% Mantillo	0.05749
100% Mantillo	0.04192

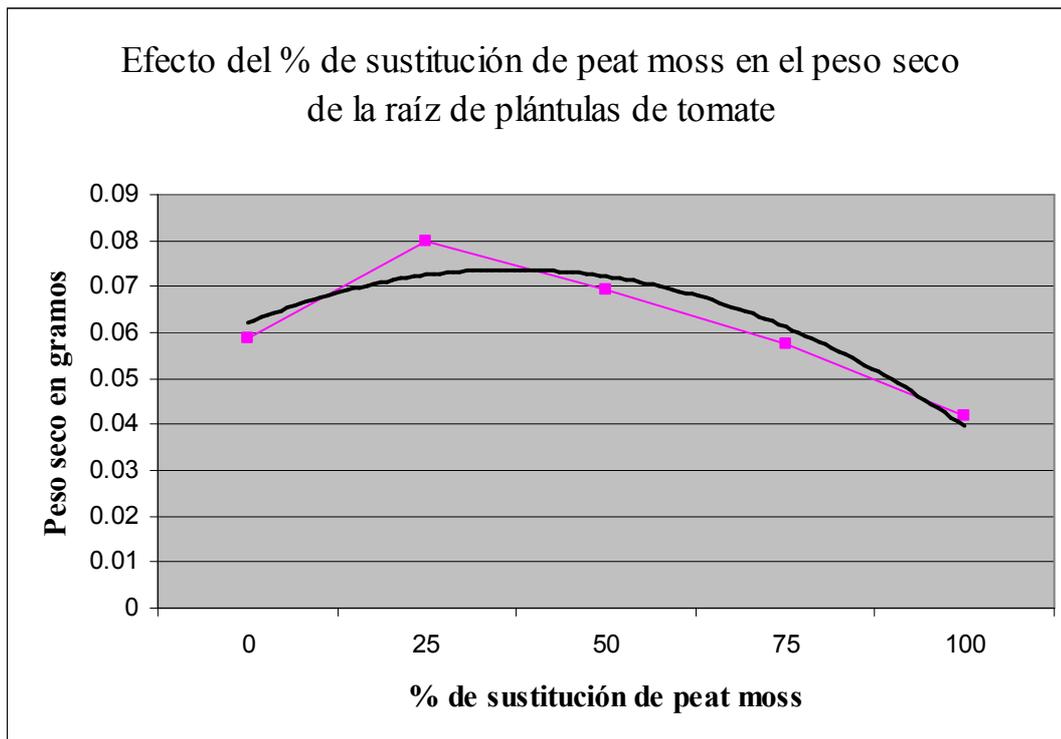


Figura 11. Tomate. Resultados del peso seco de raíz.

El análisis de regresión (ver figura 11) nos da la siguiente fórmula con un valor $R^2 = 0.8864$, lo cual indica que es un modelo confiable.

$$\text{Peso seco de raíz} = -0.0000085x^2 + 0.00063x + 0.0621$$

Siendo “X” el porcentaje de peat moss a sustituir, al obtener la primera derivada de dicho modelo, e igualarla a cero, nos indicó el porcentaje de sustitución ideal para favorecer el peso seco de la raíz es de 36.

7.1.4 Peso seco hojas

El análisis de varianza (ver cuadro 22) para el peso seco de las hojas, indica que no hay diferencia significativa por el efecto del sustrato, la aplicación de estimulador radicular ni la interacción entre sustratos y estimulador radicular. Eso indica que en cuestión de peso seco de las hojas, todos los tratamientos producen resultados estadísticamente iguales, y que las plántulas en la parte aérea, se

desarrollan igual bajo cualquier tratamiento evaluado. El promedio general del peso seco de las hojas de las plántulas de tomate es de 0.0887 gramos.

Cuadro 22. Tomate. Análisis de varianza para el peso seco hojas

<i>Fuente de variación</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustratos	4	0.00358	0.000896	2.37	0.074
Estimulador radicular	1	5.041E-06	5.041E-06	0.01	0.908
Interacción sustratos – estimulador radicular	4	0.00142	0.000357	0.94	0.450
Error experimental	30	0.01131	0.000377		
Total	39	0.01633			

7.1.5 Análisis integrado

Las plántulas de tomate se desarrollaron muy bien a la vista, bajo los 5 sustratos evaluados, esto se reflejó en la variable peso seco de hojas, la cual dio resultados no significativos para el % de sustitución de peat moss, para la aplicación de estimulador radicular y para la interacción entre ambos. Analizando únicamente esa variable, indica que el peat moss podría ser sustituido 100% por la mezcla 1:1 mantillo con arena blanca. Ahora las variables altura de planta y diámetro del tallo indican que el peat moss podría ser sustituido 33 y 25% respectivamente para cada variable. En cuanto al peso seco de raíz, el análisis indica que el peat moss podría ser sustituido hasta 36%. Ahora la aplicación del estimulador radicular da diferencias no significativas para el peso seco de hojas y raíz, lo cual se atribuye a que las plántulas de tomate pasan 35 días en el invernadero, antes de ser trasladadas al campo definitivo, en ese período reciben un programa de fertilización completo, por lo que la aplicación de un estimulador radicular puede ser obviada, ya que se obtendrán plántulas de la misma calidad con o sin aplicación. Al sustituir el peat moss hasta 35%, las características físicas como

densidad aparente y porosidad, tendrán valores de 0.4 gr/ml y 71% respectivamente, lo cual son buenas características para el desarrollo radicular.

7.2 Maíz Dulce

7.2.1 Altura de plántula

En la variable altura de plántulas, el análisis de varianza (ver cuadro 23) indica que si hay diferencia significativa en los sustratos y en la aplicación del estimulador radicular, y en la interacción entre ambas indica que no hay diferencia significativa. Para identificar que sustrato favorece más la altura de plántula, en base a los valores promedio (ver figura 12) se realizó una comparación de medias de Tukey (ver cuadro 24).

Cuadro 23. Maíz dulce. Análisis de varianza para altura de plántulas

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustrato	4	30.9192	7.7298	9.8628	3.2381E-05
Estimulador radicular	1	25.4562	25.4562	32.4807	3.2409E-06
Interacción sustrato – estimulador radicular	4	6.3467	1.5867	2.0245	0.1162
Error experimental	30	23.5120	0.7837		
Total	39	86.2340775			

Cuadro 24. Maíz dulce. Comparación de medias por efecto del sustrato para altura de plántula.

<i>% de sustitución de peat moss</i>	<i>Promedio altura</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
0	11.206	a		
25	10.758	a	b	
50	9.534		b	c
75	9.167			c
100	9.028			c

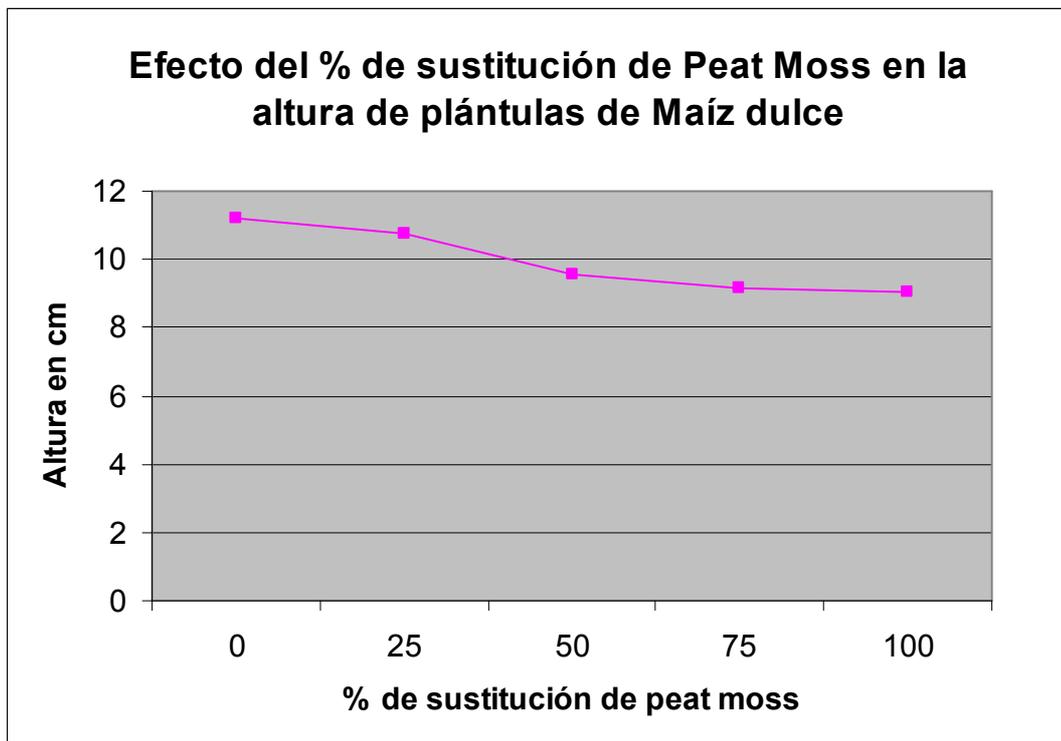


Figura 12. Maíz dulce. Promedio de altura de plántula bajo el efecto del % de sustitución de peat moss.

La comparación de medias nos indica claramente que puede realizarse una sustitución hasta del 25% del *peat moss* con Mantillo, ya que estadísticamente la altura de la plántula es igual a la altura obtenida utilizando únicamente *peat moss*. En cuanto a al efecto de la aplicación de estimulador radicular en la altura de la plántula, los resultados (ver cuadro 25) indican que la altura se ve favorecida por la aplicación del estimulador radicular, esta diferencia es mínima (ver figura 13), y al ver los resultados del peso seco de la parte aérea de la plántula (ver cuadro 30), indican que no hay diferencia significativa para esa variable, por lo que no tiene sentido ganar altura sin ganar peso seco.

Cuadro 25. Maíz dulce. Promedio de altura de plántulas bajo el efecto del estimulador radicular

Estimulador radicular	Promedio de altura en cm
Con Aplicación	10.74
Sin Aplicación	9.14

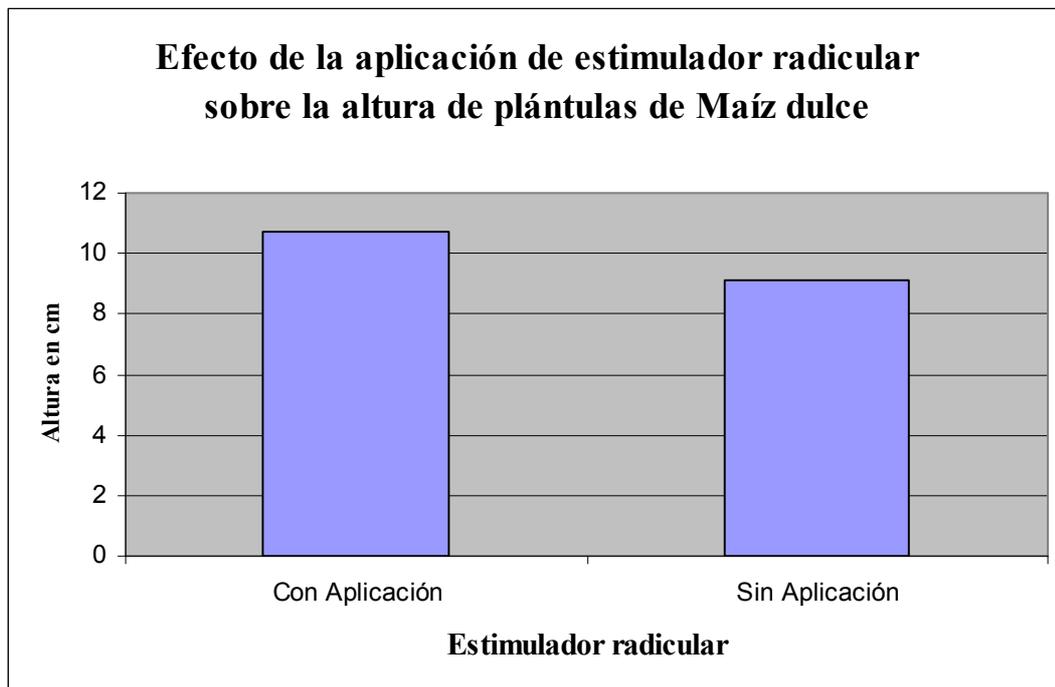


Figura 13. Maíz dulce. Promedio de altura de plántula bajo el efecto de la aplicación del estimulador radicular.

7.2.2 Diámetro del tallo

El análisis de varianza para la variable diámetro del tallo (ver cuadro 26), indica que hay diferencia significativa por efecto de algún sustrato evaluado (ver figura 14). Para la aplicación de estimulador radicular y para la interacción entre sustratos y estimulador radicular, el efecto sobre el diámetro del tallo es no significativo. En base a los resultados por el efecto de % de sustitución de peat moss, se realizó una comparación de medias de Tukey (ver cuadro 27), la cual indica que se puede sustituir hasta un 25% el *peat moss*, ya que presenta las mismas características que utilizando únicamente *peat moss*.

Cuadro 26. Maíz dulce. Análisis de Varianza para la variable diámetro del tallo.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustrato	4	0.5855	0.1464	4.2962	0.0072
Estimulador radicular	1	0.0024	0.0024	0.0705	0.7924
Interacción sustrato - estimulador radicular	4	0.1335	0.0334	0.9794	0.4335
Error experimental	30	1.0222	0.0341		
Total	39	1.7436			

Cuadro 27. Maíz dulce. Comparación de medias por efecto del sustrato para el diámetro del tallo.

% de sustitución de peat moss	Promedio del diámetro del tallo	1	2
0	2.030	a	
25	1.795	a	b
50	1.739		b
100	1.731		b
75	1.691		b

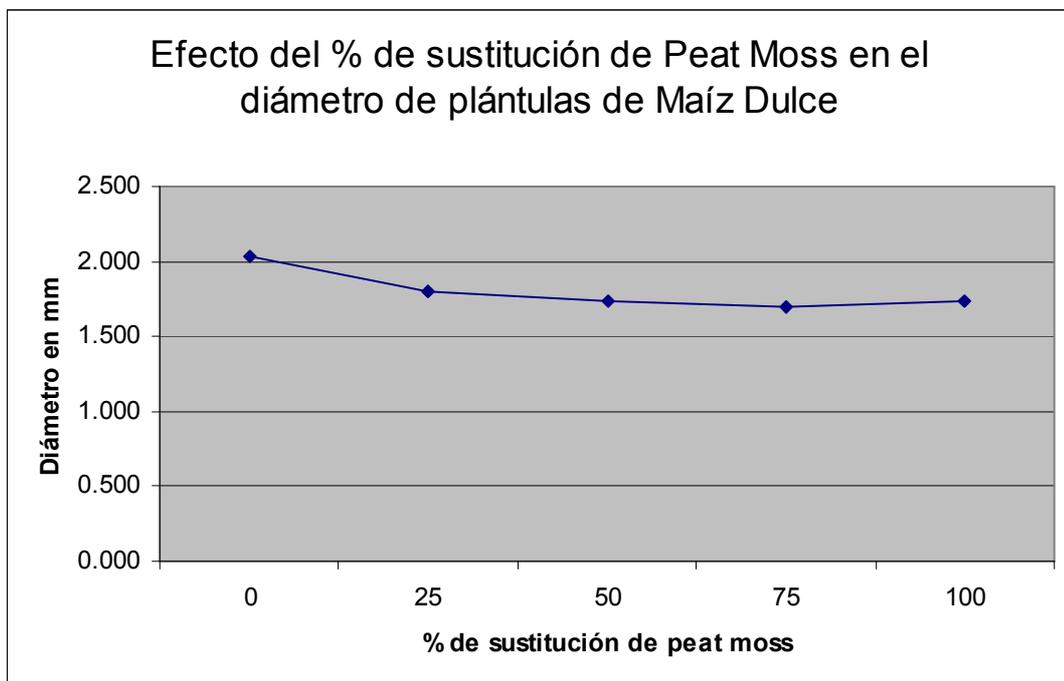


Figura 14. Maíz dulce. Efecto del % de sustitución de peat moss en el diámetro de plántulas.

7.2.3 Peso seco de raíz.

El análisis de varianza para la variable peso seco de raíz (ver cuadro 28), indica que existe diferencia significativa para la aplicación de estimulador radicular (ver cuadro 29). Para el sustrato y para la interacción, no hay diferencia significativa.

Cuadro 28. Maíz dulce. Análisis de Varianza para la variable peso seco de raíz.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustrato	4	0.0064	0.002	2.689	0.050
Estimulador radicular	1	0.0027	0.003	4.598	0.040
Interacción sustrato – estimulador radicular	4	0.0026	0.001	1.107	0.371
Error experimental	30	0.0178	0.001		
Total	39	0.0295			

Cuadro 29. Maíz dulce. Valores promedio del diámetro del tallo bajo efecto del estimulador radicular.

Estimulador Radicular	Promedio de diámetro en mm
Con estimulador radicular	1.136
Sin Estimulador radicular	0.971

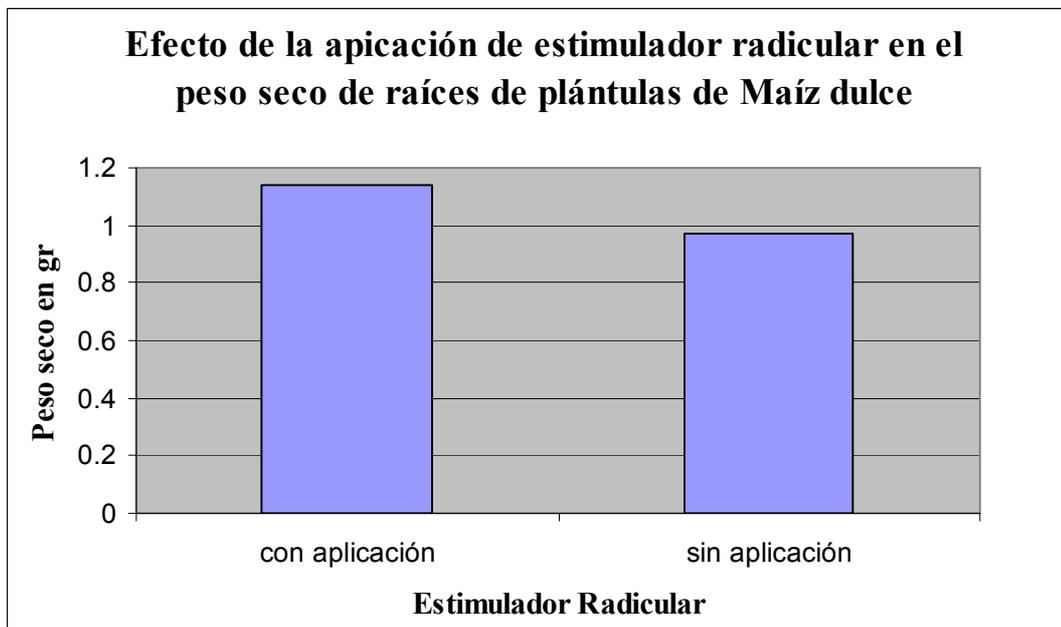


Figura 15 Maíz dulce. Efecto del estimulador radicular en el peso seco de raíz.

Es evidente que el peso seco de la raíz se ve favorecido por la aplicación de estimulador radicular (ver figura 15). El hecho que el Análisis de Varianza indique que no hay diferencia significativa en los sustratos utilizados, se puede decir que todos los sustratos influyen de igual manera en el peso.

7.2.4 Peso seco de hojas.

El Análisis de Varianza (ver cuadro 30) indica que no hay diferencia significativa en el peso seco de la parte aérea de la plántula, por el efecto de los diferentes sustratos, la aplicación de estimulador radicular o la interacción entre sustrato y estimulador radicular, es decir, que ningún tratamiento favoreció o perjudicó en alguna manera la parte aérea de la plántula. Para esta variable sería posible sustituir 100% el peat moss para la producción de plántulas. El valor medio del peso seco de hojas fue de 0.0315 gramos.

Cuadro 30. Maíz dulce. Análisis de Varianza para la variable peso seco de hojas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Sustrato	4	0.000211	0.000053	2.195	0.093
Estimulador radicular	1	0.000003	0.000003	0.142	0.709
Interacción entre sustrato y estimulador radicular	4	0.000071	0.000018	0.739	0.573
Error experimental	30	0.000722	0.000024		
Total	39	0.001008			

7.2.5 Análisis integrado

Para maíz dulce, el desarrollo de plántulas a la vista, al igual que es tomate, presentaban características muy uniformes, lo cual también se reflejó en la variable peso seco de hojas, la cual dio diferencias no significativas para efecto del sustrato, el efecto del estimulador radicular y para el efecto de la interacción entre ambos. Para las variables de altura y diámetro de plántulas, si hubo diferencias significativas por efecto del sustrato, y las comparaciones de medias indican que es posible sustituir hasta 25% el peat moss utilizado. A diferencia del tomate, las plántulas de maíz dulce, pasan en el invernadero 14 días antes de ser trasladadas al campo definitivo, y en este caso, la aplicación de fertilizante rico en fósforo como estimulador radicular, si favoreció la altura de planta y el peso seco de raíz, lo cual indica que mejor desarrollo radicular favoreció el crecimiento de la plántula. También las características físicas de sustrato con 25% de sustitución de peat moss, tienen valores de densidad aparente y porosidad de 0.25 gr / ml y 77% respectivamente, las cuales son buenas características para el desarrollo radicular de plántulas.

8. Conclusiones

- 8.1 Para la producción de plántulas de tomate, es posible sustituir el peat moss con 35% del sustrato compuesto por la mezcla 1:1 mantillo con arena blanca, ya que la plántula presentará igual desarrollo que al producirla únicamente con peat moss, además se produce un ahorro de Q440.00 por cada 20,000 plántulas producidas, cantidad necesaria para sembrar una hectárea.
- 8.2 Para la producción de plántulas de tomate, el utilizar un fertilizante rico en fósforo como estimulador radicular, no presentó diferencias significativas en el peso seco de raíz, por lo que la plántula se desarrolla de igual manera con o sin aplicación del mismo.
- 8.3 Para la producción de plántulas de maíz dulce, es posible sustituir el peat moss con 25% del sustrato compuesto por 1:1 mantillo con arena blanca, con el cual se obtendrá plántulas de igual calidad que al utilizar únicamente peat moss, además se produce un ahorro de Q450.00 por cada 42,000 plántulas producidas, cantidad necesaria para sembrar una hectárea.
- 8.4 En la producción de plántulas de maíz dulce, el utilizar un fertilizante rico en fósforo, como estimulador radicular, si favoreció significativamente el peso seco de raíz.

9. Recomendaciones

- 9.1 Promover prácticas de conservación de los bosques de la región, ya que es ahí dónde se extrae el “mantillo” para su uso en la propagación de plantas. De esa manera garantizar dicho recurso en el mediano y largo plazo.

- 9.2 Evaluar la eficacia otros fertilizantes ricos en fósforo, que sirvan como estimuladores del crecimiento radicular, en la producción de plántulas de hortalizas.

- 9.3 Evaluar el rendimiento de la cosecha en el campo, de las plántulas producidas de tomate y maíz dulce bajo los diferentes sustratos evaluados en esta investigación.

10. Bibliografía

1. Cochran, WG; Cox, GM. 1978. Diseños experimentales. 2 ed. México, Trillas. 661 p.
2. El mundo de los Picus, US. 2006. Los sustratos (en línea). US. Consultado 10 jul 2006. Disponible en <http://www.tarjeplanta.com>
3. FAO, HN. 2004. Manual técnico, económico financiero, para rubros seleccionados en la zona de influencia del pacto (en línea). Consultado 18 jul 2005. Disponible en <http://www.fao-sict.un.hn>.
4. Food and Fertilizer Technology Center, US. 2006. Single-cell-plant production (plug production) of vegetable seedlings, 2006 (en línea). US. Consultado 7 jul 2006. Disponible en <http://www.fftc.agnet.org>
5. Fuentes, J. 1999. El suelo y los fertilizantes. Madrid, España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 352 p.
6. Hartmann, H; Kester, D. 2002. Plant propagation: principles and practices. 7 ed. US, Prentice Hall. 880 p.
7. Hipertextos del área de la biología, AR. 2006. Hormonas vegetales (en línea). Argentina. Consultado 28 oct 2006. Disponible en <http://www.biología.edu.ar>
8. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. IX censo de población y vi censo de habitación. Guatemala. 1 CD.
9. Infoagro.COM, ES. 2006. El cultivo de tomate (en línea). España. Consultado 28 oct 2006. Disponible en <http://www.infoagro.com>
10. Inforpress Centroamericana, GT. 2006. San Jerónimo (en línea). Guatemala. Consultado 29 oct 2006. Disponible en <http://www.inforpressca.com>
11. Marroquín, H. 2005. Producción de pilones y almácigos (entrevista). Salamá, Baja Verapaz, Guatemala, Secretaría de la Obras Sociales de la Primera Dama de la Nación, Secretaría de Seguridad Alimentaria.
12. Protekta, CL. 2004. Sistemas de cultivo, bandejas plásticas termoformadas (en línea). Chile. Consultado 17 jul 2005. Disponible en <http://www.protekta.cl>
13. Wikipedia, la Enciclopedia Libre, US. 2001. Sphagnum (en línea). Consultado 15 ago 2006. Disponible en <http://www.wikipedia.org>
14. _____. 2001. Turba (en línea). Consultado 15 ago 2006. Disponible en <http://www.wikipedia.org>